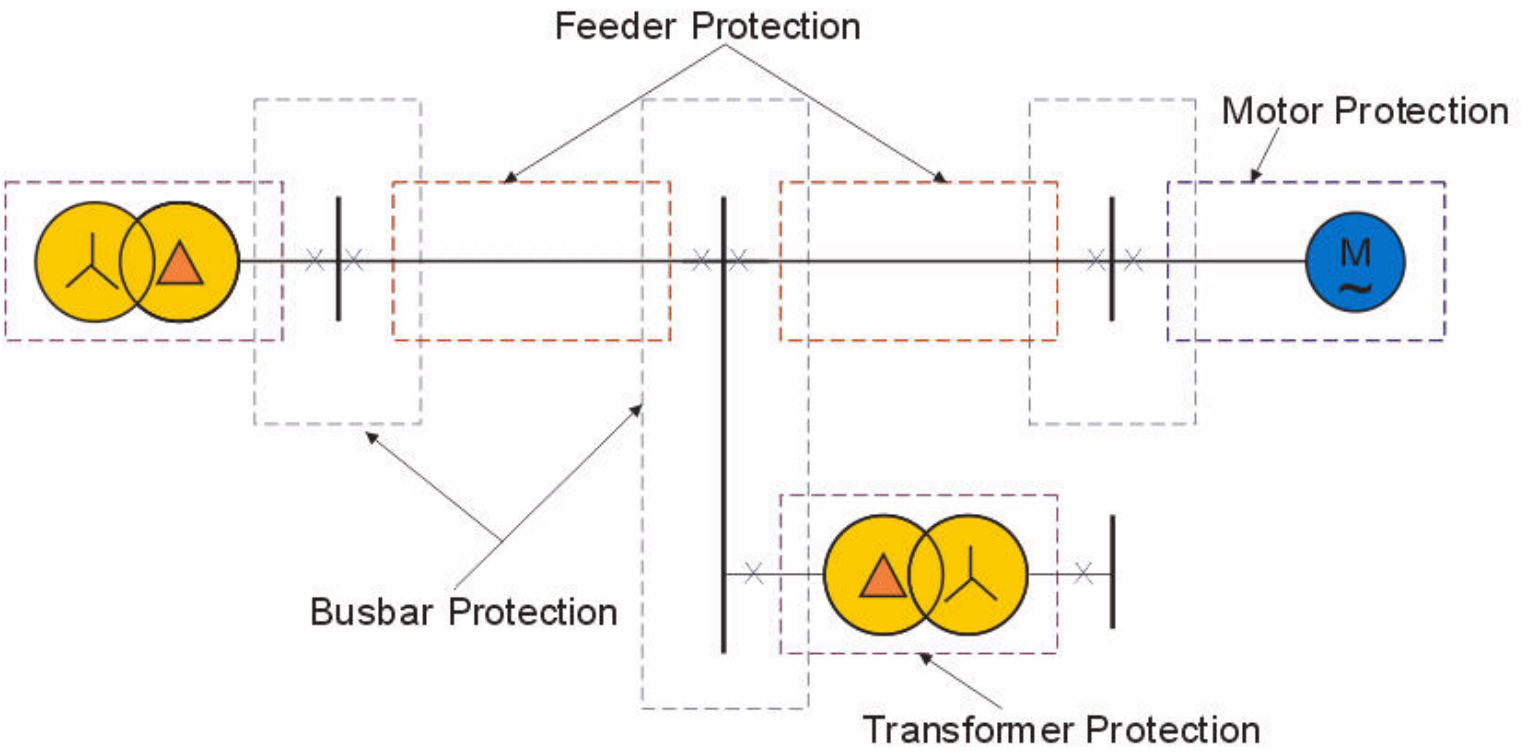
Tema 1: Protección del sistema de energía



La necesidad de protección

El relé de protección es el *Ciencias* o *Arte* de detectando fallas en sistemas de energía y aclarando esas fallas de el sistema de poder como lo mas rapido posible.

Equipo de protección o relé de protección se usa en un poder red para detectar, discriminar y aislar los equipo defectuoso en la red.

Requisitos básicos de protección del sistema de energía

1. para asegurar la continuidad del suministro.
2. para minimizar daños y costos de reparación.
3. para garantizar la seguridad del personal.

Efectos de los cortocircuitos

Si se permite que persistan cortocircuitos en un sistema durante un período prolongado, es probable que se produzcan los siguientes efectos:

- **Estabilidad reducida** márgenes para el sistema eléctrico.
- **Daño** al equipo que se encuentra en las proximidades de la falla debido a fuertes corrientes, o bajas tensiones producidas por el cortocircuito.
- **Explosiones** en equipos que contienen aceite aislante, provocar un incendio.
- **Ruptura** en toda el área de servicio del sistema eléctrico.

Atributos de la protección del sistema de energía

Cualidades basicas

Los Relés de Protección deben tener las siguientes características:

1. Selectividad: Para detectar y aislar solo el artículo defectuoso.

2. Sensibilidad: Para detectar incluso los valores más pequeños de corriente de falla o anomalías del sistema y operar correctamente en su configuración antes de que la falla cause daños irreparables.

3. Velocidad: Operar con rapidez cuando sea necesario, minimizando así los daños al entorno y garantizando la seguridad del personal.

4. Estabilidad: Dejar todos los circuitos sanos en continuidad o suministro.

seguro

Energía de falla eléctrica

¿Por qué la velocidad es importante?

Energía liberada en la falla = I^2 X R X t

dónde I = Corriente de falla

R = Resistencia del arco de falla

t = Tiempo en segundos cuando la falla es SOBRE.

Por lo tanto, cuanto más rápido sea el tiempo de eliminación de fallas, menor será la energía liberada.

La necesidad de velocidad

- Corriente de falla = 4000 amperios
- Tiempo de liquidación = 350 milisegundos (0,35 s)
- Suponga resistencia al ARC de 1 -
- Energía de falla = I^2 X R X t = 4000 x 4000 x 1 x 0,35

  = 5,6 mega julios
- Si el tiempo de aclaramiento se reduce a 100 milisegundos (0,1 s)
- Energía de falla = 4000 x 4000 x 1 x 0.1

  = 1,6 mega julios
- **¡POR LO QUE UNA REDUCCIÓN DEL 70%!**
- Si se pudieran tomar medidas para reducir también el nivel de corriente de falla, se harían grandes avances.

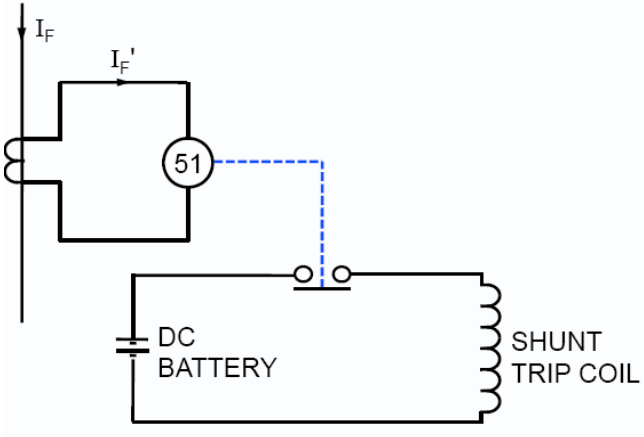
Componentes de los esquemas de protección

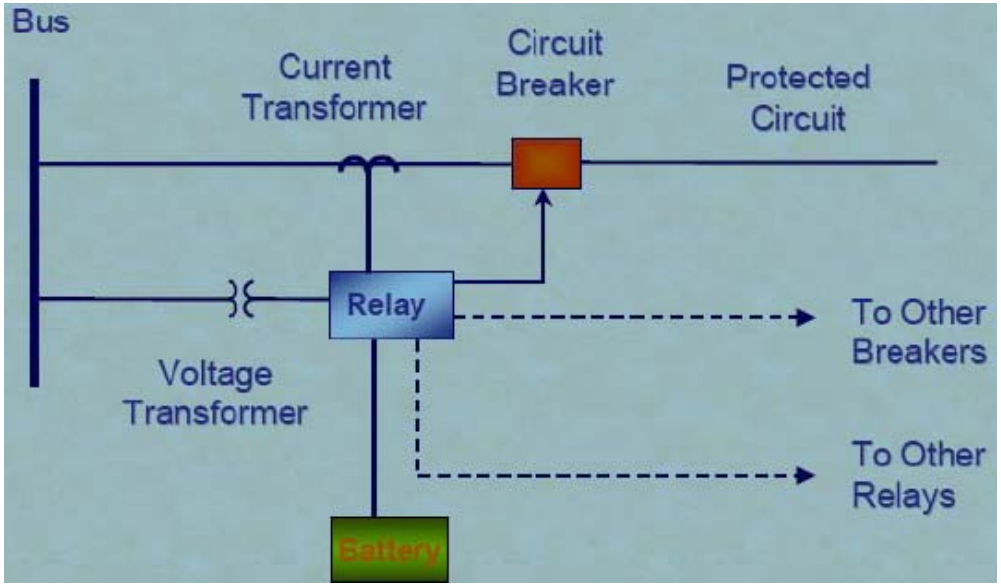
- Cada esquema de protección del sistema de energía se compone de los siguientes componentes:

1. Relés de detección o medición de fallas.2. Disparo y otros relés auxiliares.

3. Rompedores de circuito.

4. Transformadores de corriente un5

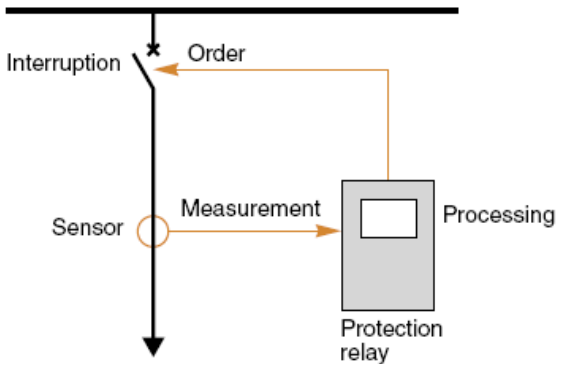


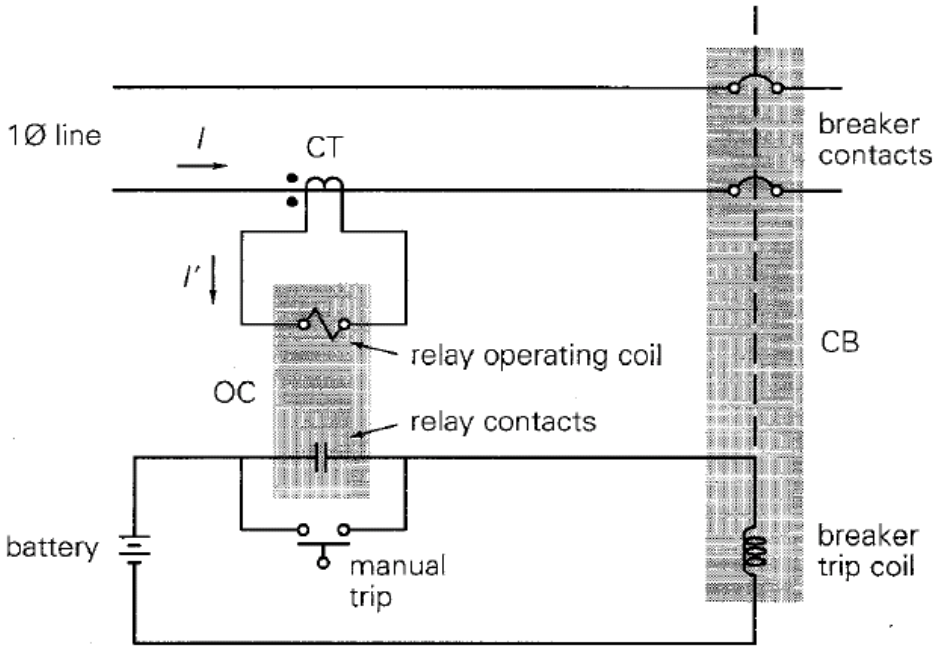


Componentes de los esquemas de protección

- Todos los elementos del sistema de energía están equipados con uno o más esquemas de protección para detectar fallas en el sistema.
- Cuando los relés de protección han detectado una falla, envían señales de disparo al interruptor de circuito.

cle sistema





Esquema de cableado de relés y disyuntores (1 de 3 fases)

Tecnología de relés

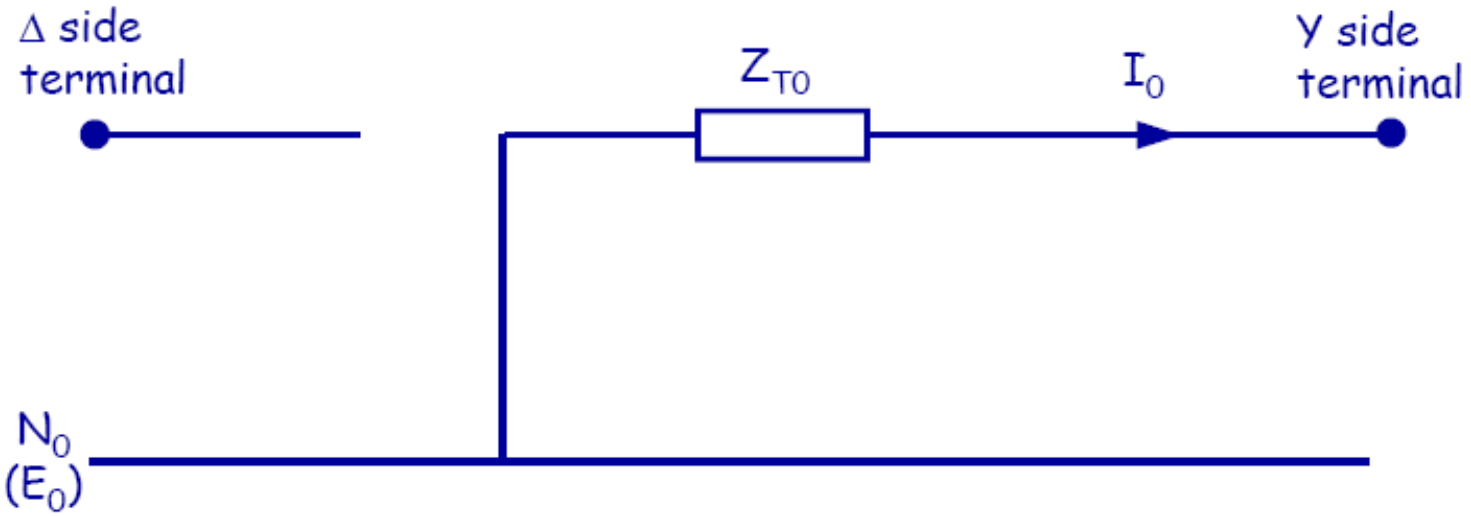
Prote

Electromecánica: Un diseño de relé de protección que utiliza fuerza magnetomotriz en su etapa de toma de decisiones y tiene partes móviles.

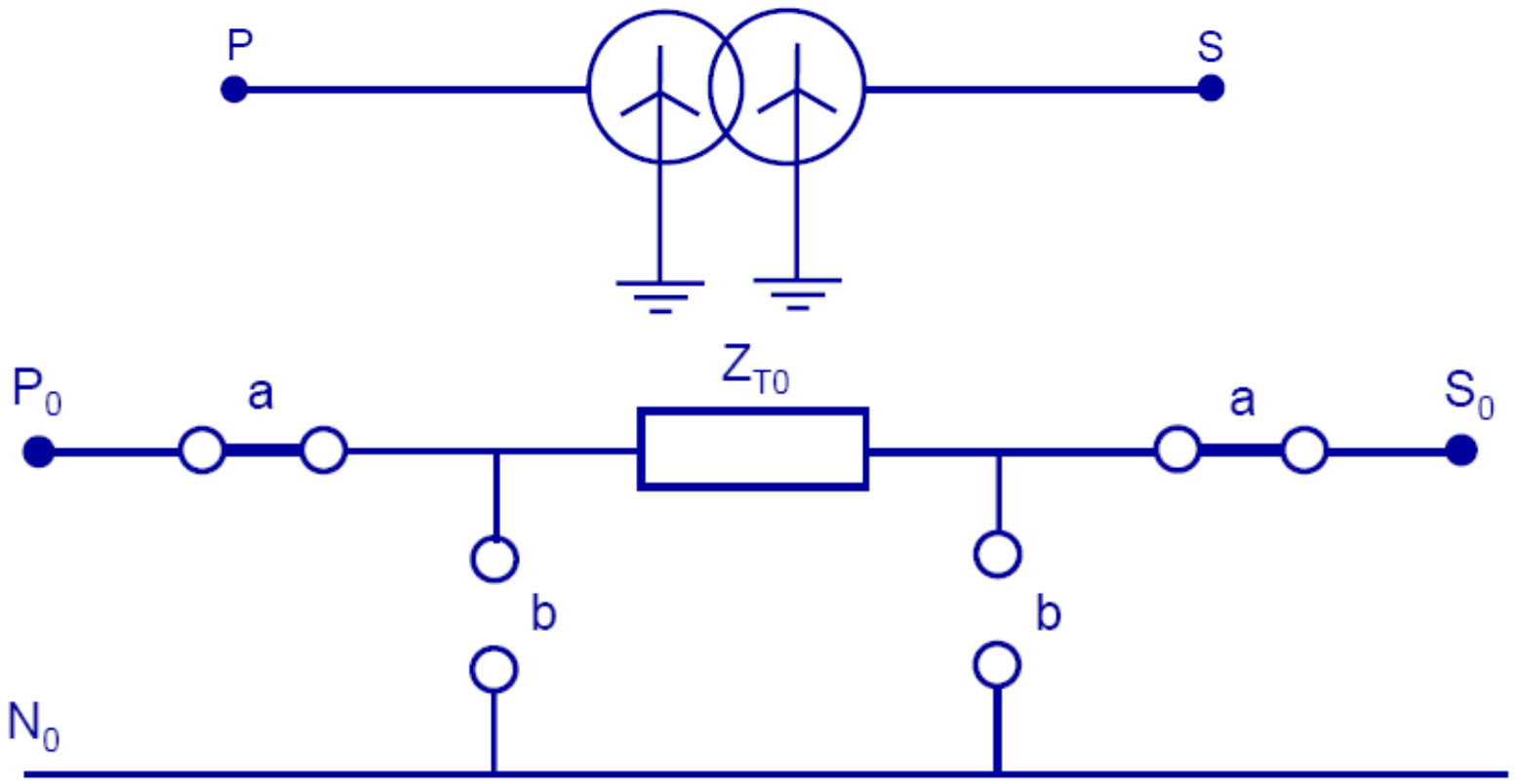
Estático: Un diseño de relé de protección que no tiene ninguna parte móvil en la etapa de toma de decisiones.

Circuito equivalente de secuencia cero para Transformador "Dy"

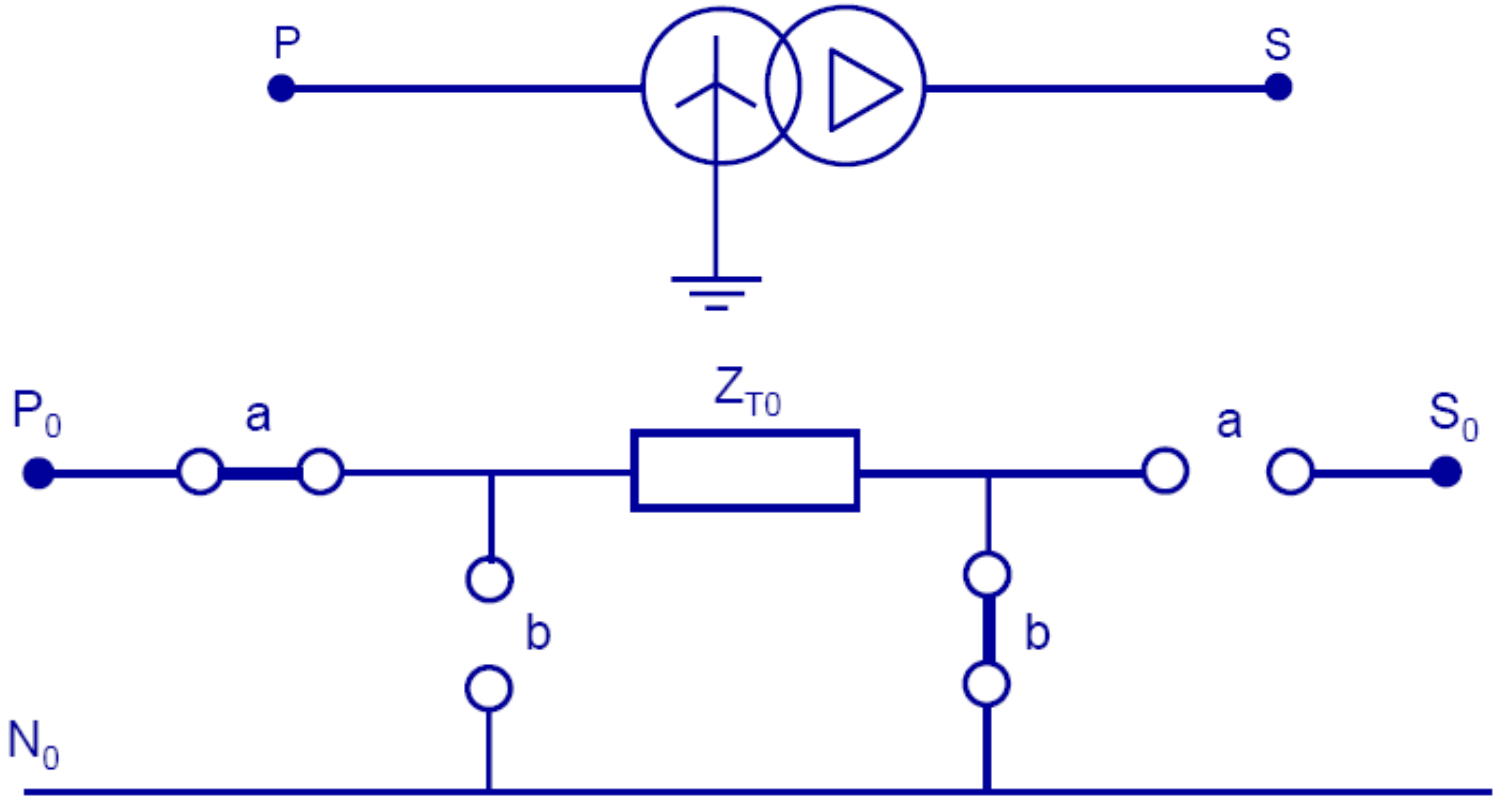
Por lo tanto



Circuito equivalente de secuencia cero para

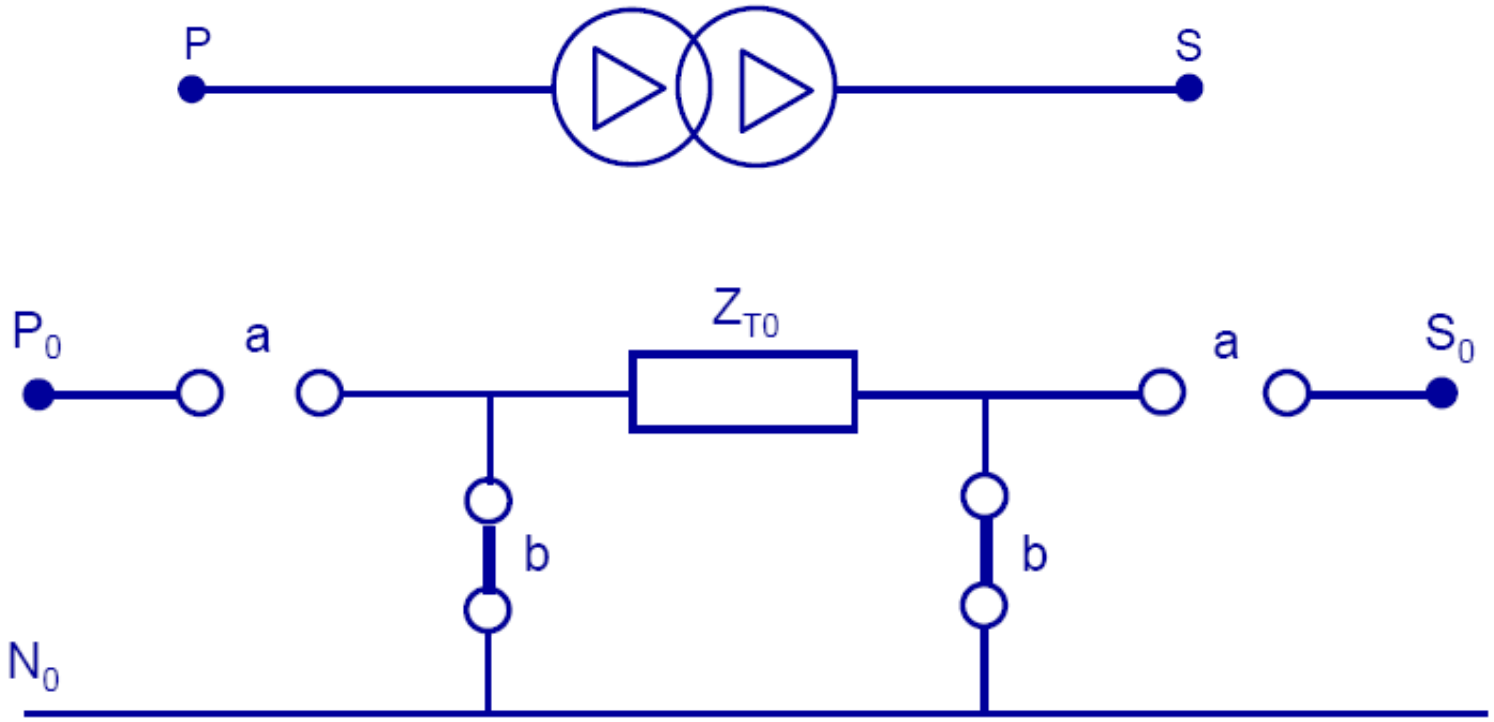


Circuito equivalente de secuencia cero para

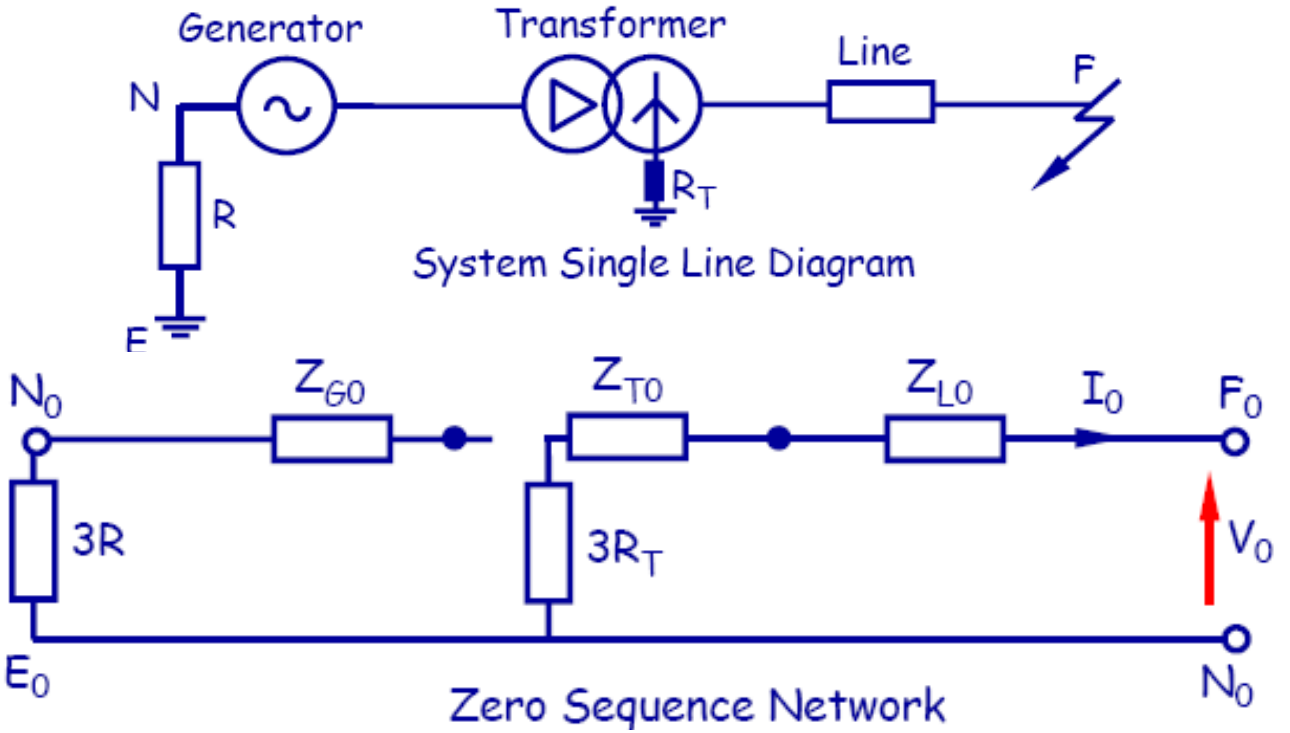


Circuito equivalente de secuencia cero para

Transformador "Dd"



Ze



V_0 = Voltaje Ph-E de secuencia cero en el punto de falla I_0

= Corriente de secuencia Zer0 que fluye hacia F_0

$$V_0 = -I_0 (Z_{T0} + Z_{L0})$$

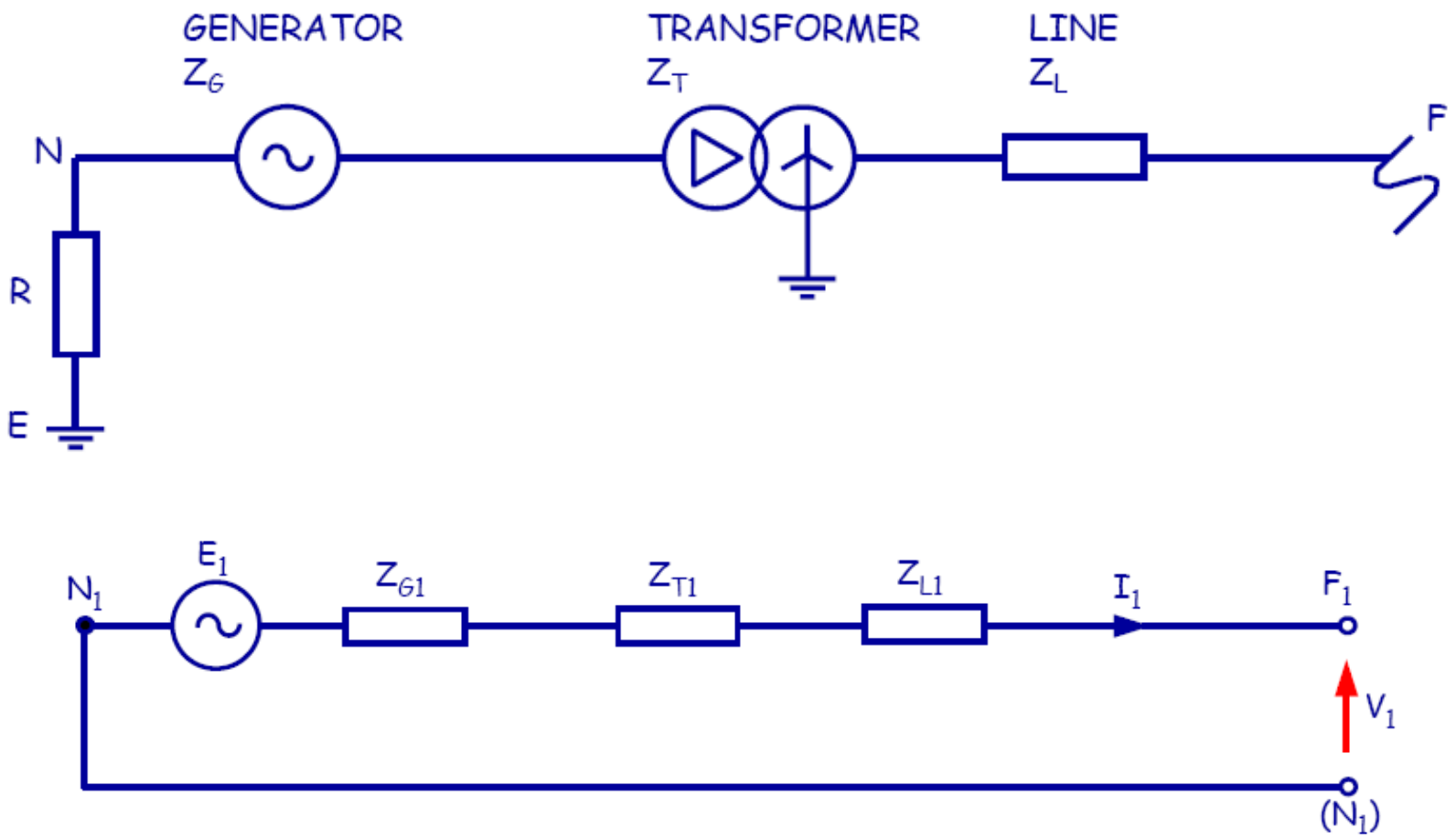


Diagrama de secuencia positiva

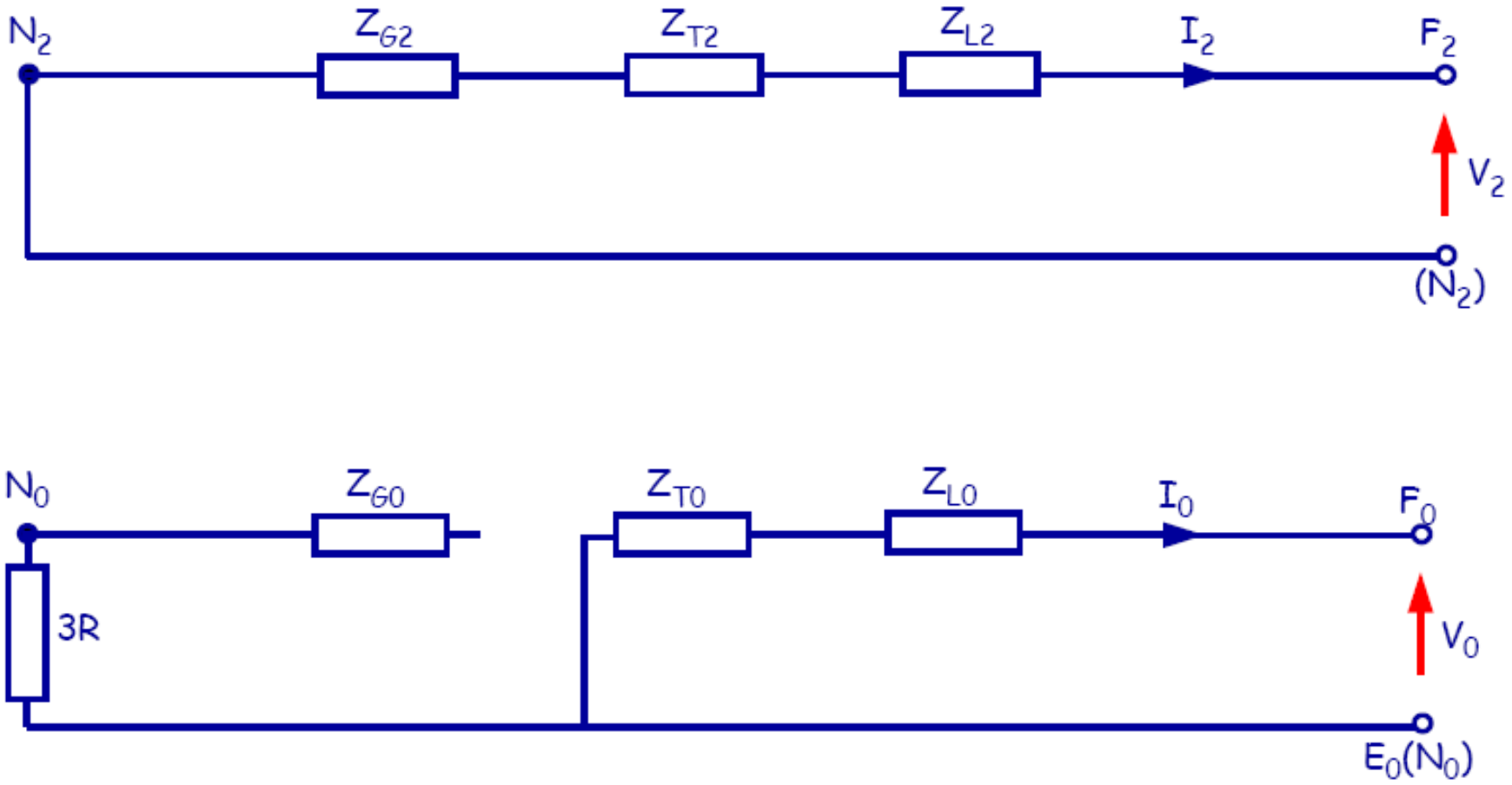
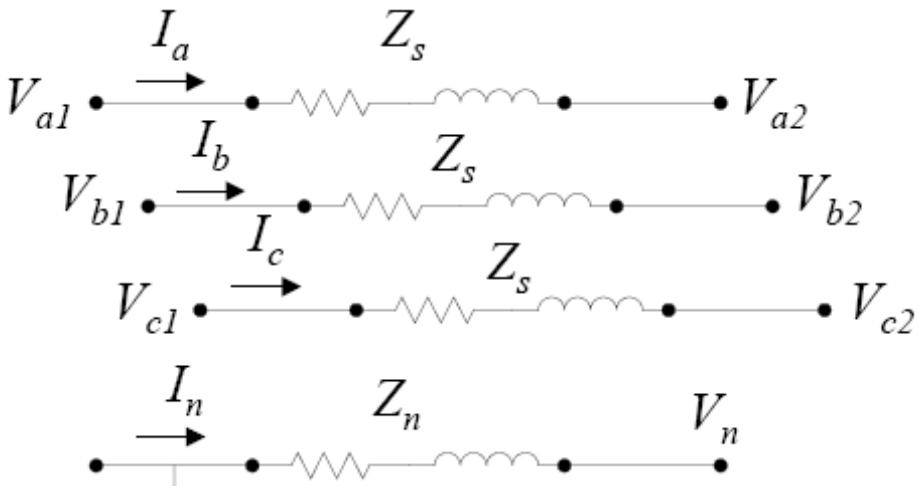


Diagrama de secuencia cero

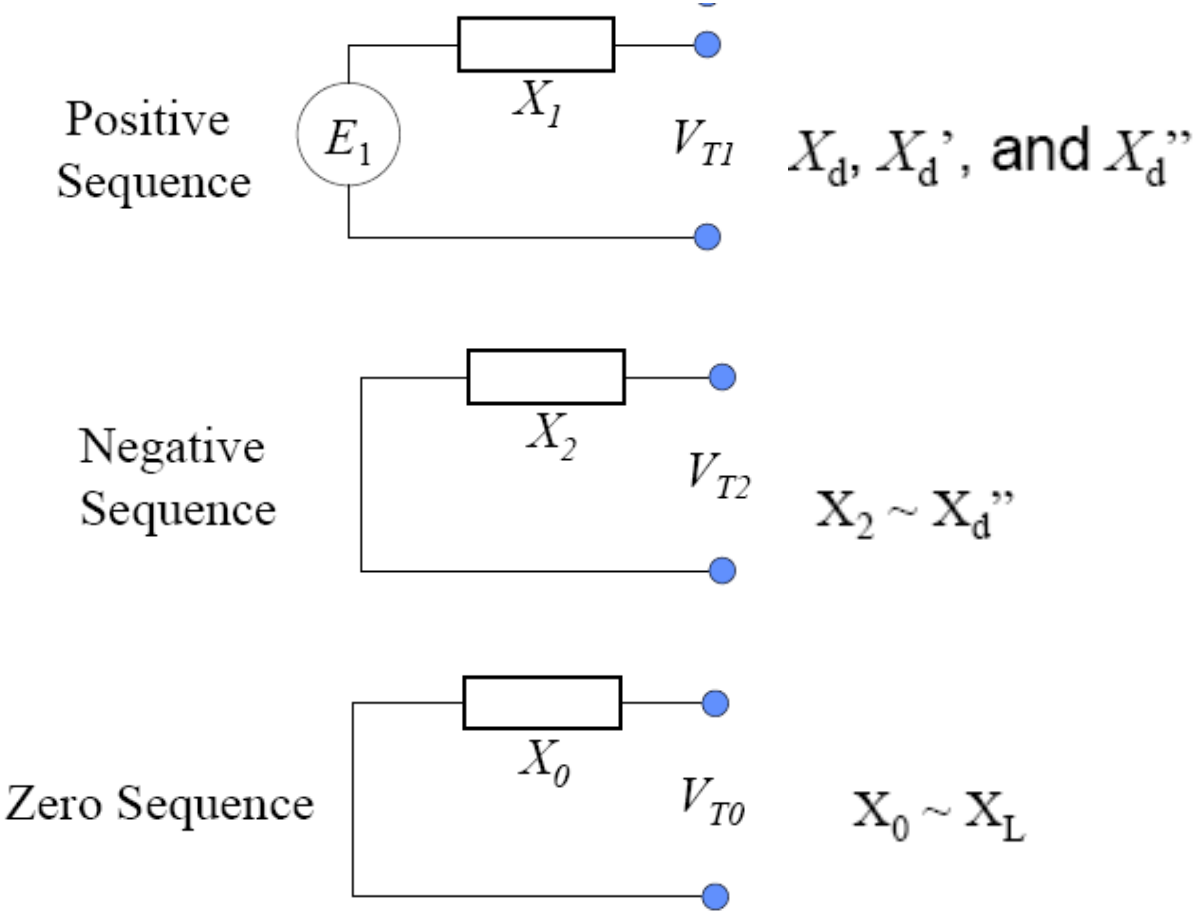


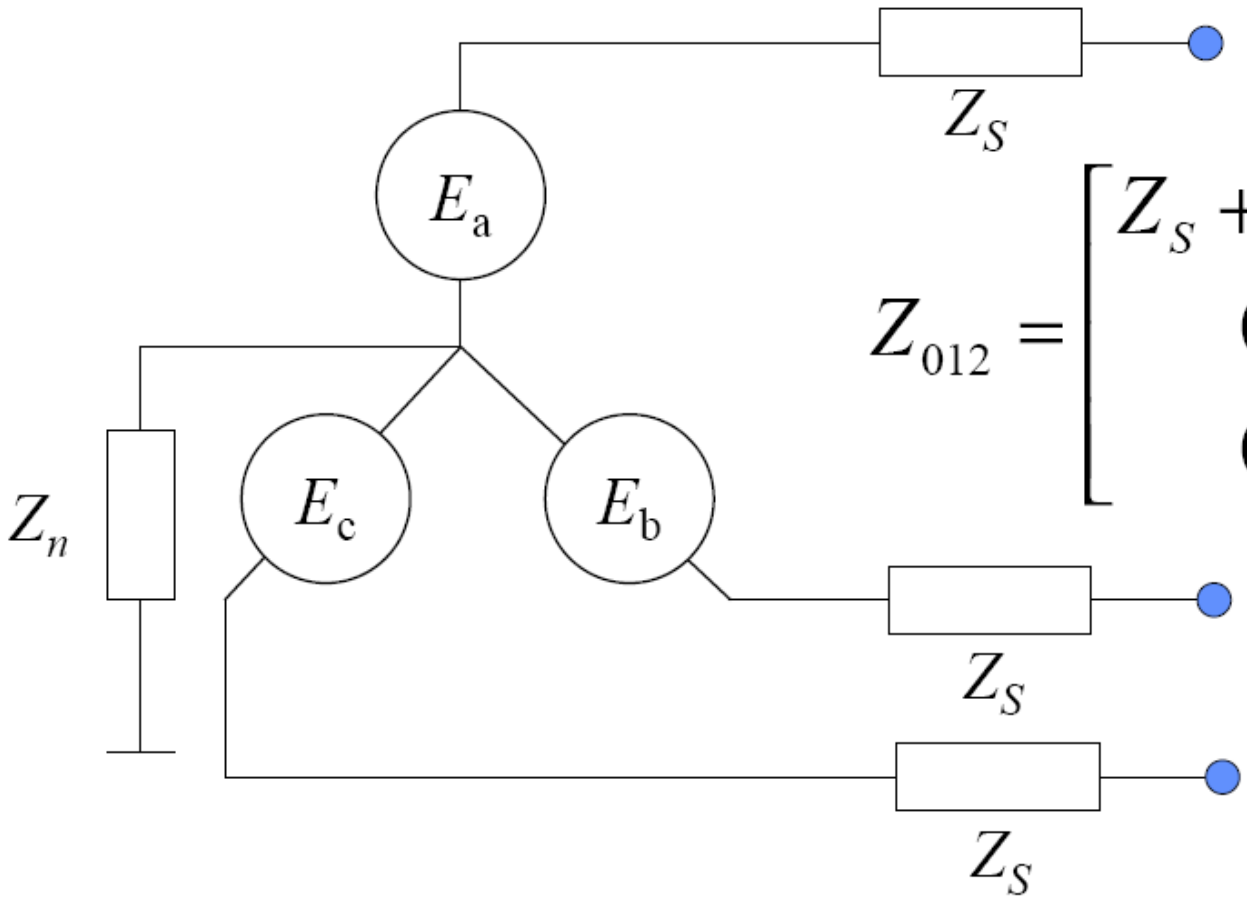
$$\mathbf{Z}_{012} = \mathbf{A}^{-1}\mathbf{Z}_{abc}\mathbf{A}$$

$$= \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}\begin{bmatrix} Z_S + Z_n & Z_n & Z_n \\ Z_n & Z_S + Z_n & Z_n \\ Z_n & Z_n & Z_S + Z_n \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} Z_S + 3Z_n & 0 & 0 \\ 0 & Z_S & 0 \\ 0 & 0 & Z_S \end{bmatrix}$$

s-generadores





$$Z_{012} = \begin{bmatrix} Z_S + 3Z_n & 0 & 0 \\ 0 & Z_S & 0 \\ 0 & 0 & Z_S \end{bmatrix}$$

$$Z_0 = Z_1 = Z_2 = Z_\ell$$

- **Wye-delta transformers create a phase shifting pattern for the various sequences**
  - the positive sequence quantities rotate by +30 degrees
  - the negative sequence quantities rotate by -30 degrees
  - the zero sequence quantities can not pass through the transformer
- **USA standard**
  - independent of the winding order (Δ-Y or Y- Δ)
  - the positive sequence line voltage on the HV side leads the corresponding line voltage on the LV side by 30°
  - consequently, for the negative sequence voltages the corresponding phase shift is -30°

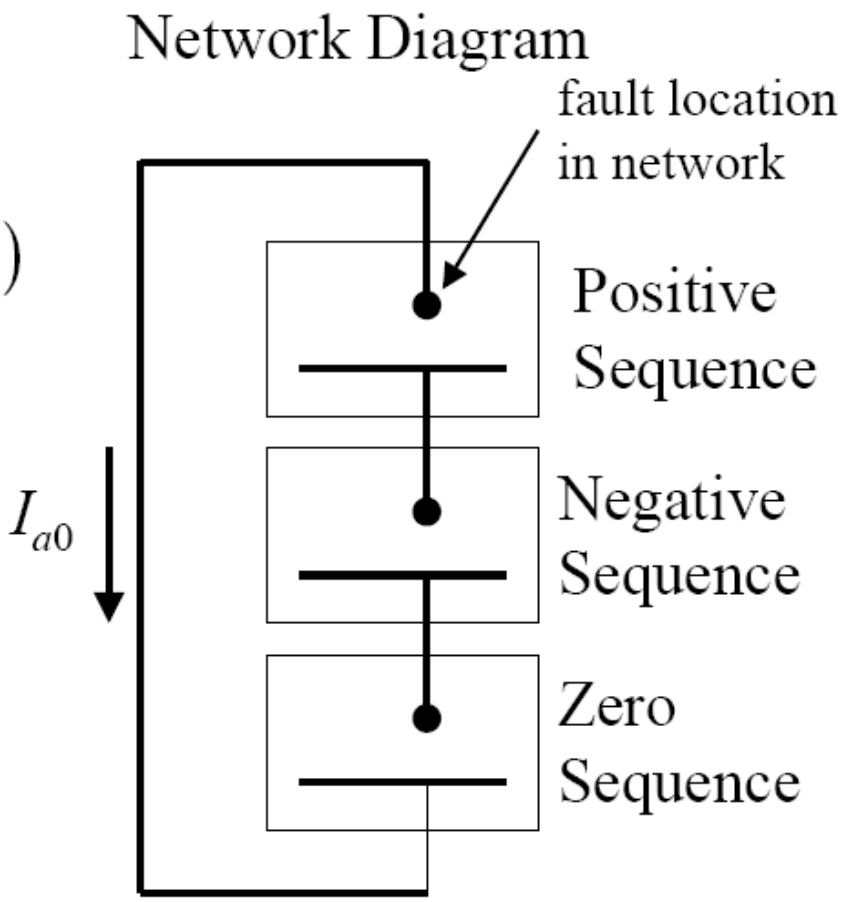
Fallos comunes de red no balanceada

$$V_a = E_a - Z_a I_a = 0$$
$$= E_a - A\left(Z_{012} I_{012}\right)$$
$$= E_a - \left(Z_{a0} I_{a0} + Z_{a1} I_{a1} + Z_{a2} I_{a2}\right)$$
$$= E_a - \left(Z_{a0} + Z_{a1} + Z_{a2}\right) I_{a0}$$

$$I_{a0} = \frac{E_a}{\left(Z_{a0} + Z_{a1} + Z_{a2}\right)}$$

$$I_{a0} = I_{a1} = I_{a2}$$

$$I_f = 3\, I_{a0}$$



Fallos comunes de red no balanceada

$$I_{a1} = \left(1 + \frac{Z_1}{Z_0} + \frac{Z_1}{Z_2}\right) = V_{a1}\frac{Z_2 + Z_0}{Z_2 Z_0}$$

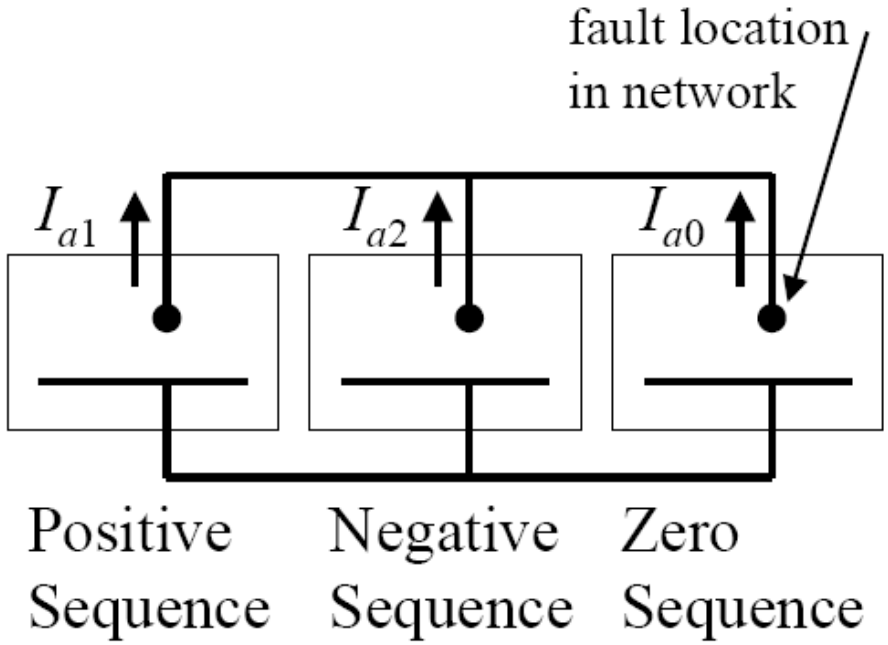
$$I_{a1} = \frac{V_{a1}(Z_0 + Z_2)}{(Z_1 Z_0 + Z_2 Z_0 + Z_1 Z_2)}$$

$$I_{a0} = \frac{V_{a1}}{\left(Z_1 + \dfrac{Z_0 Z_2}{Z_0 + Z_2}\right)}$$

$$I_{a0} = -\frac{V_{a0}}{Z_0}, \quad I_{a2} = -\frac{V_{a2}}{Z_2}$$

$$I_f = 2\,I_{a0} - (I_{a1} + I_{a2})$$

Network Diagram



$$\begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 0 \\ I_b \\ -I_b \end{bmatrix}$$

$$I_{a0} = 0$$

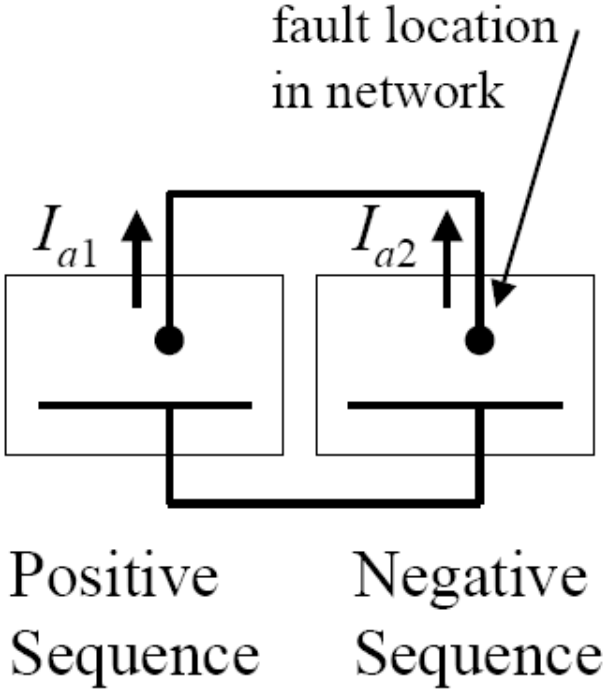
$$I_{a1} = \tfrac{1}{3}\left(a - a^2\right) I_b$$

$$I_{a2} = \tfrac{1}{3}\left(a^2 - a\right) I_b$$

$$I_{a1} = -I_{a2}$$

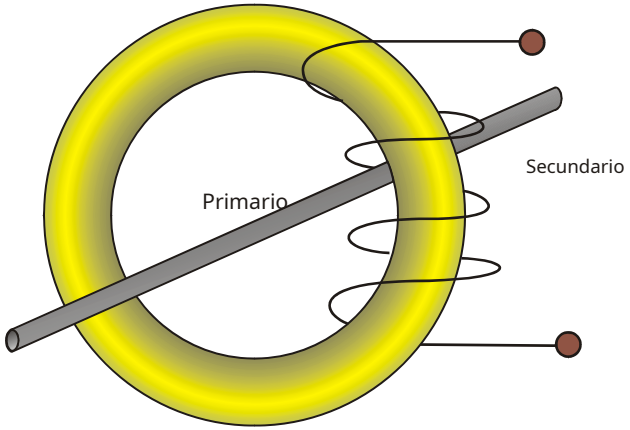
$$I_k^{a1} = \frac{V_{k,pre-f}^{a}}{Z_k^1 + Z_k^2}$$

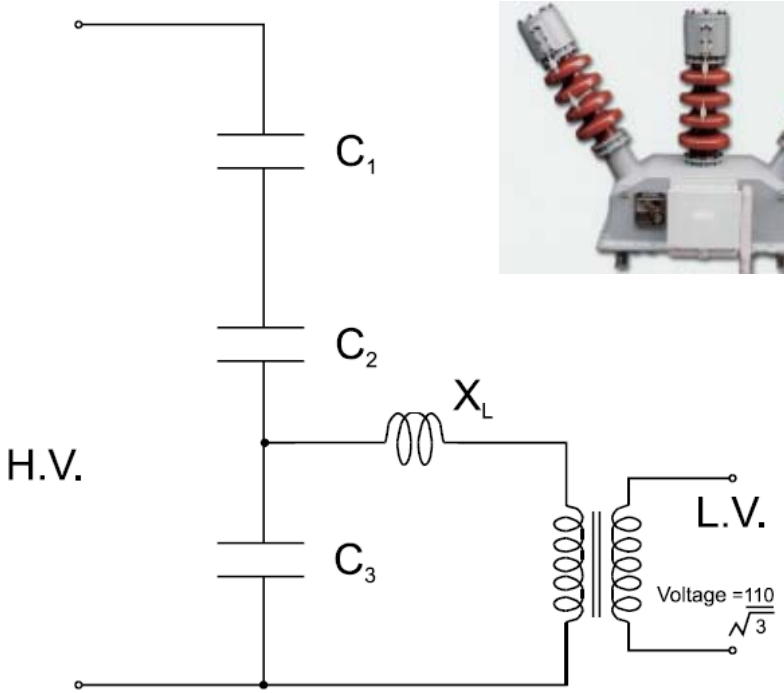
Network Diagram



Tema 1: Protección del sistema de energía

1.3: Transformadores de instrumentos





Transformador de instrumento (VT)

Las principales tareas de **transformadores de medida** están:

- Para transformar ***corrientes*** *o* ***voltajes*** de un valor generalmente alto a un valor apropiado para relés e instrumentos (1 o 5 amperios)

- Aislar los relés, medidores e instrumentos del sistema primario de alta tensión.

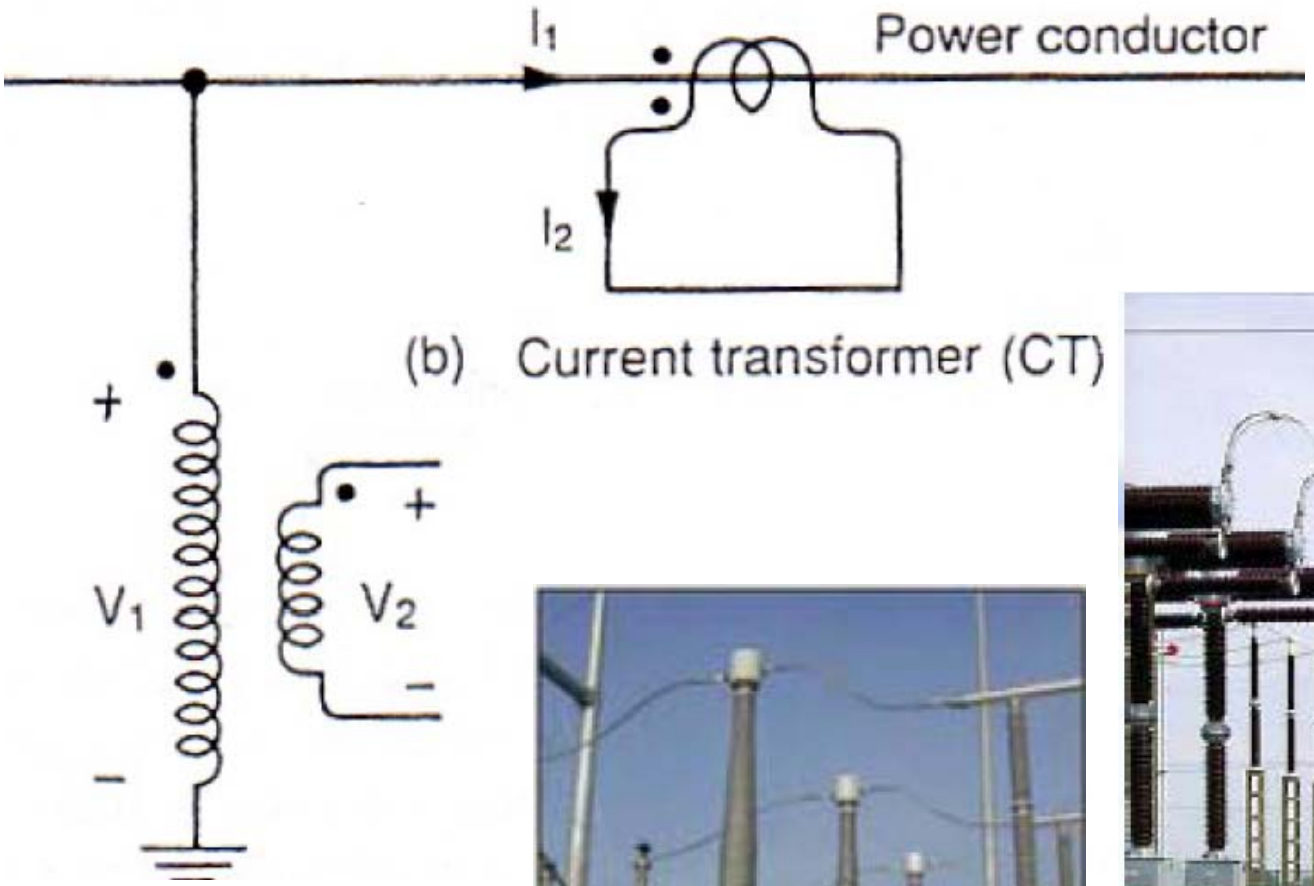
- Proporcionar posibilidades de estandarizar los relés e instrumentos, etc. a unas pocas corrientes y tensiones nominales.

teoría de operación

- Sigue el principio básico del transformador para convertir el voltaje en el primario a un valor apropiado en el secundario a través de un núcleo magnético común.

- **Transformadores de voltaje** - Conectado a través de los extremos de circuito abierto del punto de medición

- **Transformadores de corriente** - Conectado en serie para transportar la corriente nominal / de cortocircuito completa del circuito bajo medición


I_1
Power conductor
I_2
(b) Current transformer (CT)
+
V_1
−
+
V_2
−

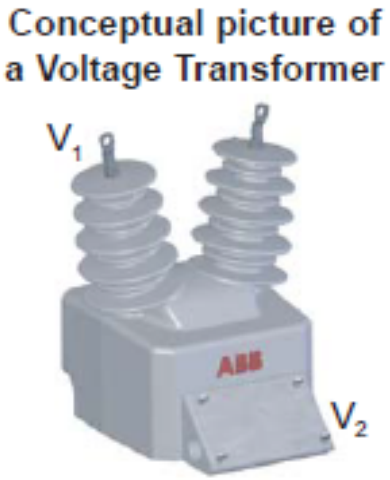
1. Transformadores de voltaje

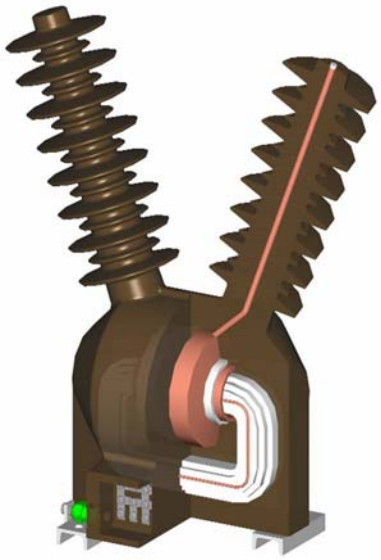
Transformadores de voltaje (**Vermont**) se utilizan para escalonar el voltaje primario del sistema de energía de, digamos 132 kV o 33 kV para 120 voltios fase a fase, o 69 voltios fase a tierra.

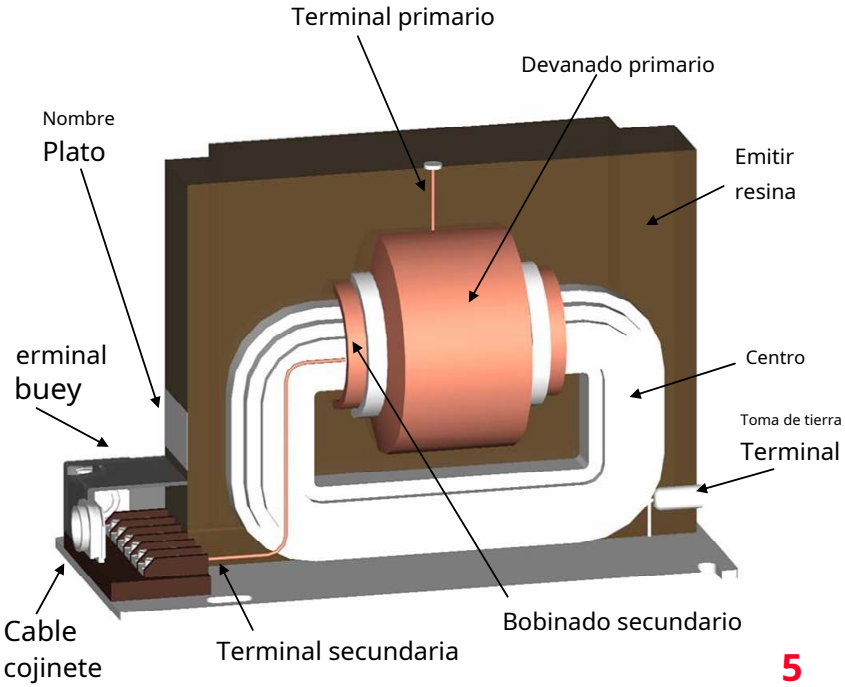
Es esta secundaria

aplicado a la detección de fallas

.



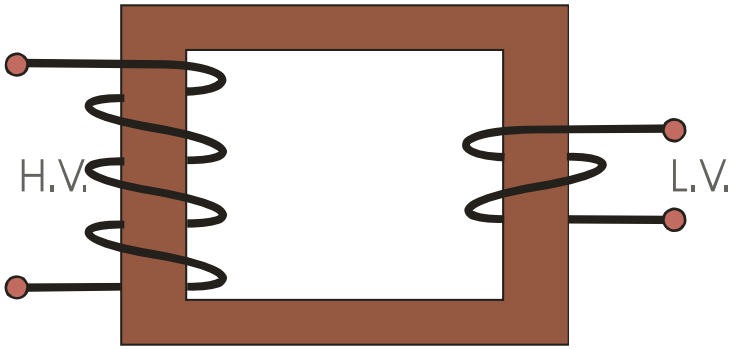


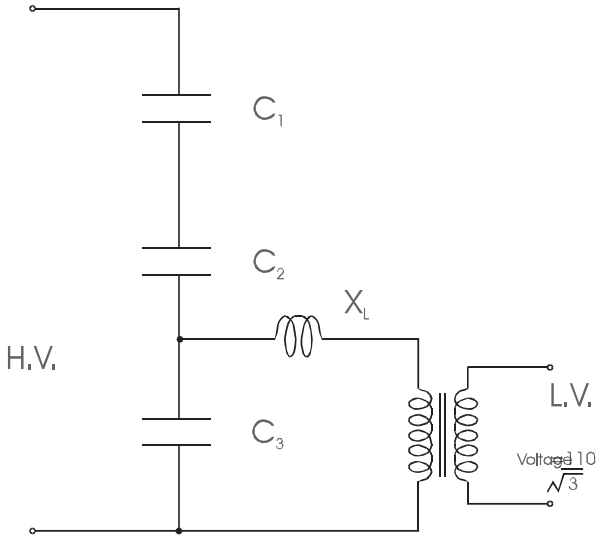


1. Transformadores de voltaje

Los transformadores de voltaje en estos voltajes primarios de 50 kV y 33 kV son normalmente del **HERIDA** escribe. Es decir, un transformador de dos devanados en un tanque de acero lleno de aceite, con una relación de vueltas de416,6: 1 o 275: 1.

En sistemas de voltaje más alto, como 132 kV, 220 kV y 400 kV, **TRANSFORMADORES DE TENSIÓN CON CAPACITOR**(**CVT**) se utilizan normalmente.



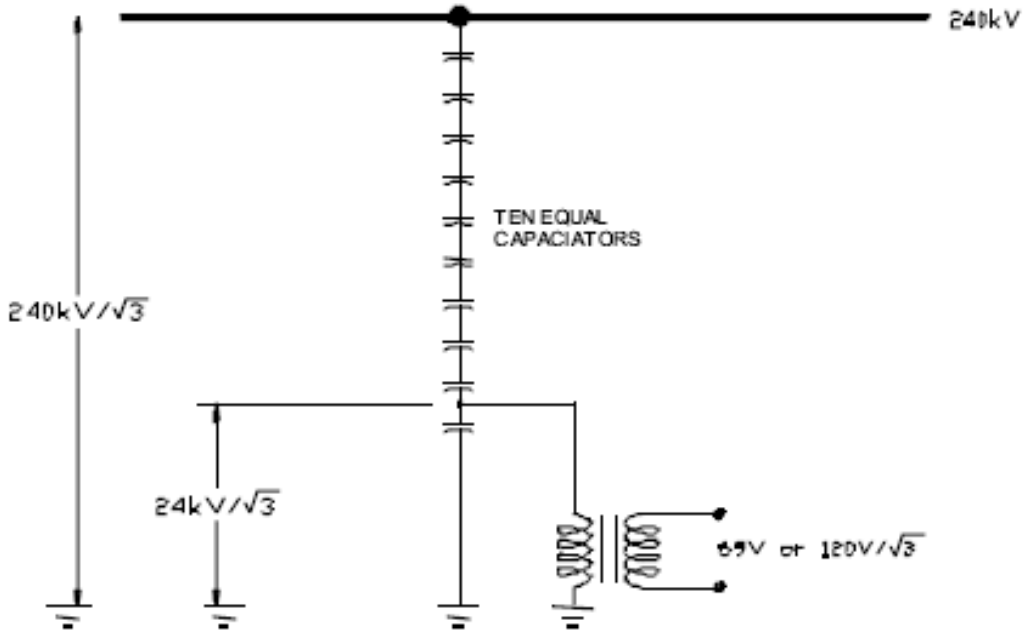


1. Transformadores de voltaje

A **CVT** está compuesto por un divisor de capacitores compuesto por 10 capacitores iguales, conectados en serie desde el conductor de fase a tierra, con un transformador de voltaje conectado a través del capacitor inferior.

Este VT
en el dia

tage, como il

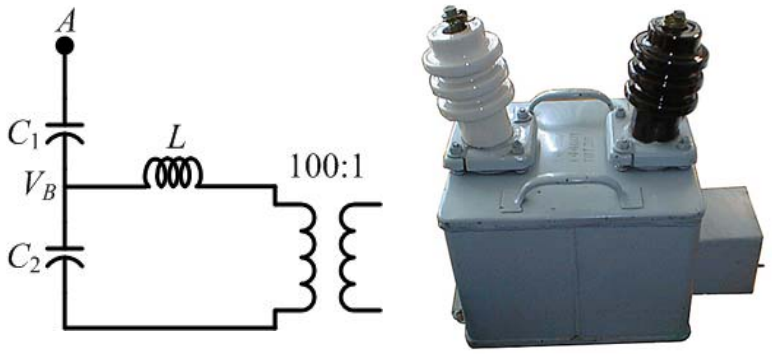


Transformadores de voltaje electromagnéticos

Valores de C_1 y C_2 tal que no haya desplazamiento de fase entre el voltaje de línea y la salida de la CVT

Considere el circuito de CVT. El voltaje de circuito abierto en C_2 es dado por

$$V_B = \frac{V_A(1/j\omega C_2)}{1/j\omega C_1 + 1/j\omega C_2} = V_A \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$



Además, la corriente de cortocircuito es

$$I_{\text{Carolina del Sur}} = \frac{V_A}{1/j\omega C_1} = j\omega C_1 V_A$$

La impedancia de la vena viene dada por

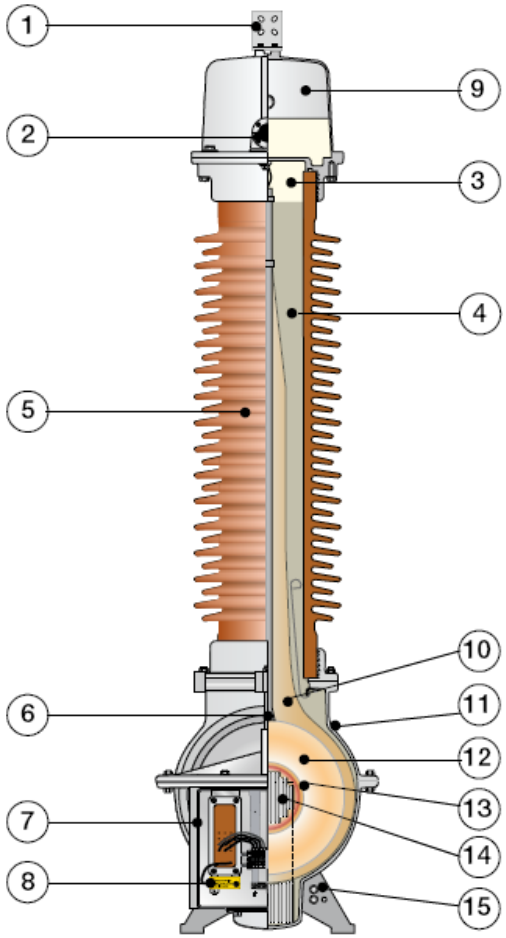
$$Z_{TH} = \frac{V_{\text{Carolina del Sur}}}{I_{\text{Carolina del Sur}}} = \frac{1}{j\omega(C_1 + C_2)}$$

Supongamos L para ser la impedancia de fuga del transformador. Ahora elijamos C_1 y C_2 tal que

$$\omega L = \frac{1}{\omega(C_1 + C_2)} \quad L = \frac{1}{\omega^2(C_1 + C_2)}$$

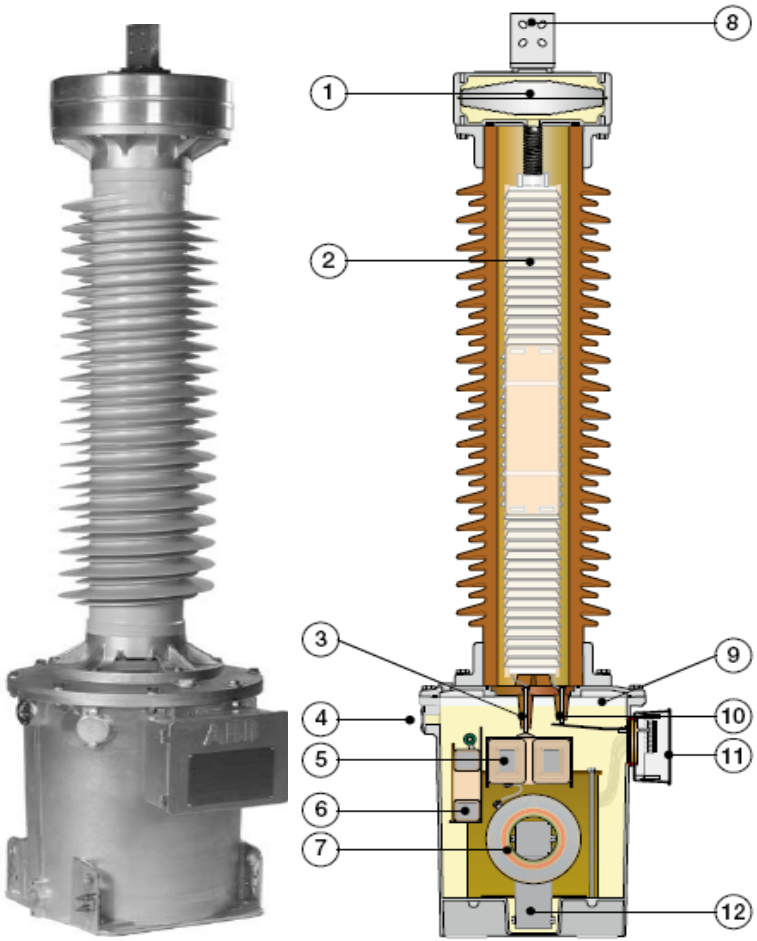
mamá

Transformadores



1. **Terminal primario**
2. Mirilla de nivel de aceite
3. **Petróleo**
4. Relleno de cuarzo
5. **Aislante**
6. Orejeta de elevación
7. Caja de terminales secundaria
8. Terminal de extremo neutro
9. Sistema de expansión
10. Aislamiento de papel
11. Tanque
12. **Devanado primario**
13. **Bobinados secundarios**
14. Centro

transformadores de edad



Divisor de voltaje del condensador

1. Sistema de expansión

2. Elementos condensadores

3. Buje de tensión intermedia

8. **Terminal primario, Al-pad plano de 4 orificios**

10. **Terminal LV (para uso de frecuencia portadora)**

Unidad electromagnética

4. Vidrio de nivel de aceite

5. Reactor de compensación

6. Circuito de amortiguación de ferrorresonancia

7. Bobinados primarios y secundarios

9. Cojín de gas

11. Caja de terminales

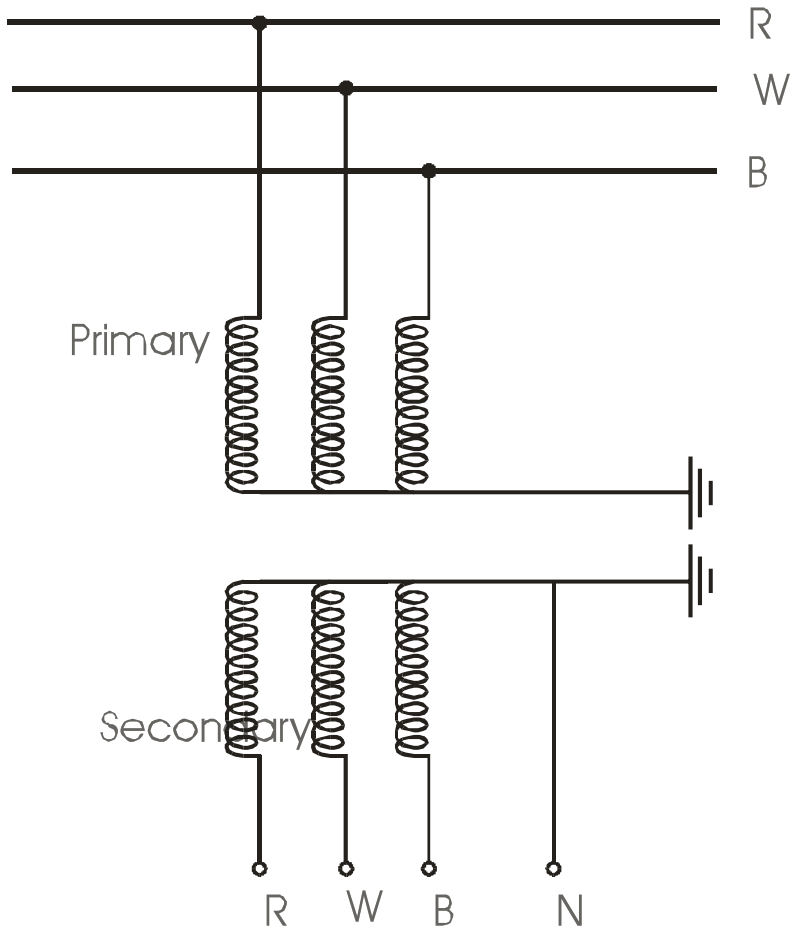
12. Núcleo

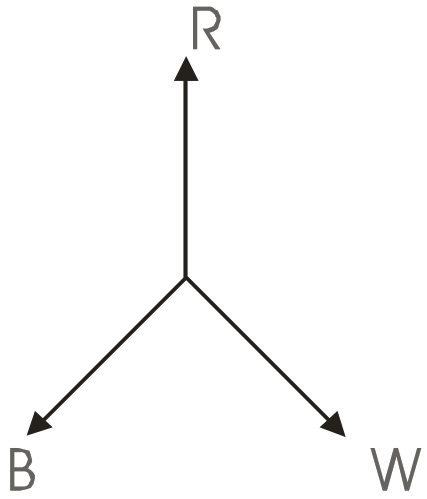
- VT ratios:
  - ratio of the high voltage/secondary voltage

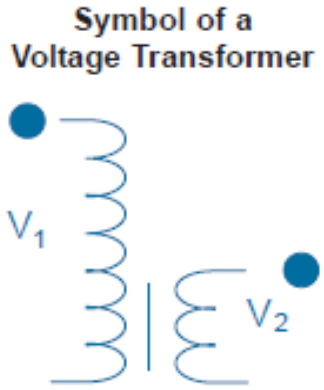
1:1	2:1	2.5:1	4:1
5:1	20:1	40:1	60:1
80:1	100:1	200:1	300:1
400:1	600:1	800:1	1000:1
2000:1	3000:1	4500:1	

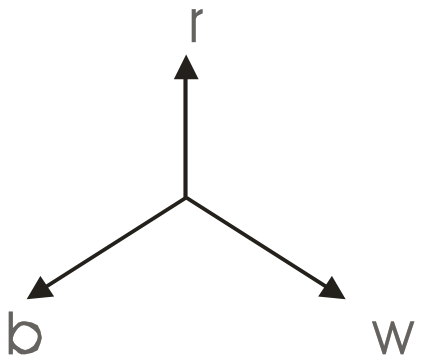
Conexión de VT's

- Los TT se pueden conectar entre fases o entre fase y neutro (solo fase del CVT - tierra)







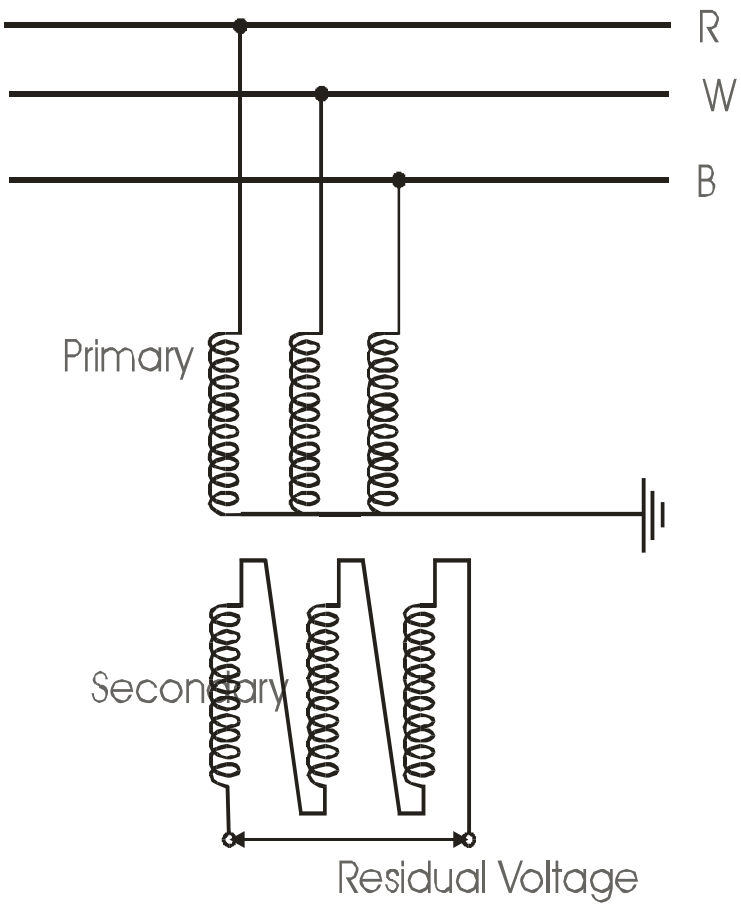


Conexión de tensión residual

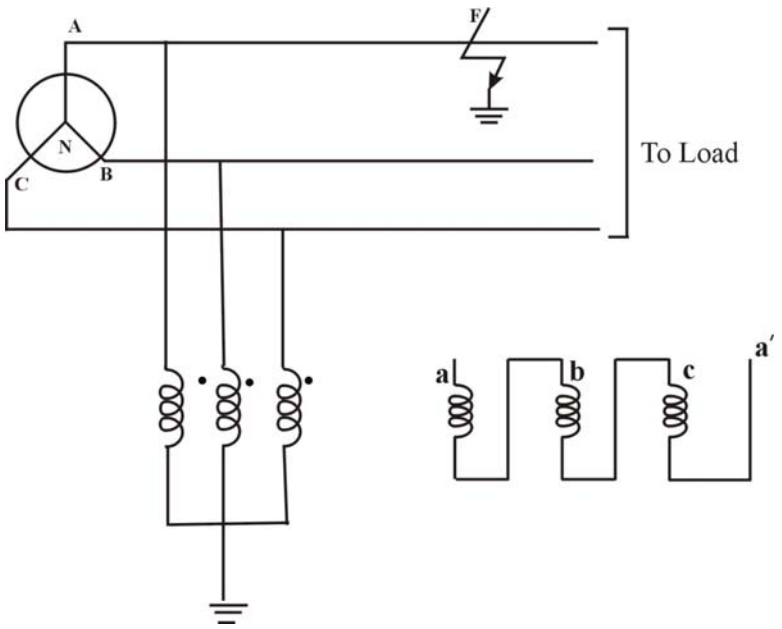
- Normalmente se utiliza para la detección de fallas a tierra.

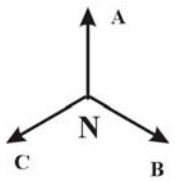
- Los TT están conectados en delta abierto en el primario y la suma vectorial de los voltajes trifásicos aparecerá en la salida secundaria.

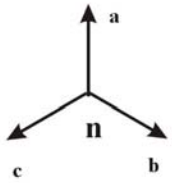
- cuando hay una falla a tierra presente, la tensión residual será distinta de cero

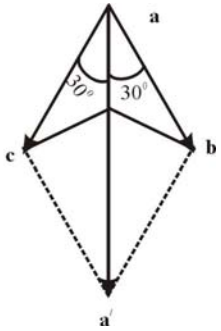


ge









When there is an Earth fault in line A it assumes Earth Potential.

Therefore Voltage across PT primary windings become

$$V_A = 0 \ , \quad V_B = V_{BA,} \ , \ V_c = V_{CA}$$

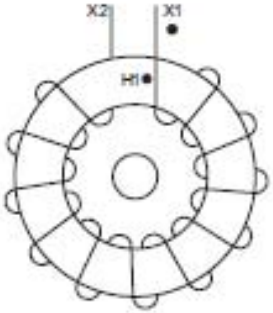
Thus Secondary Vectors are

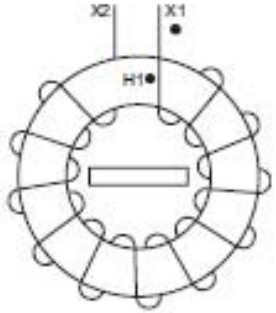
$$V_a = 0, \quad V_b = V_{ba} \ , \ V_c = V_{ca}$$

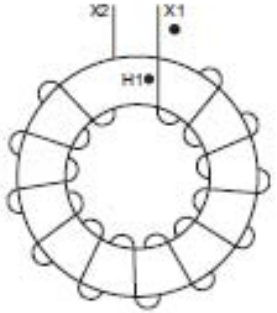
Window-type

Bar-type

Wound

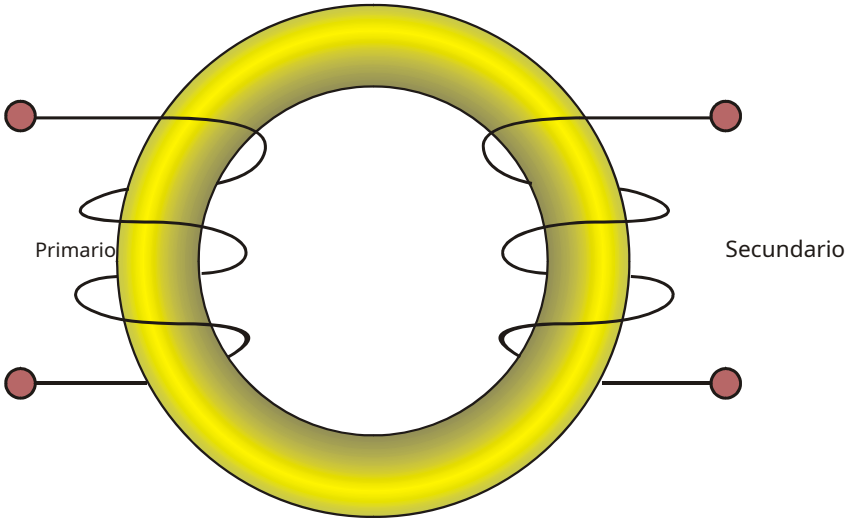




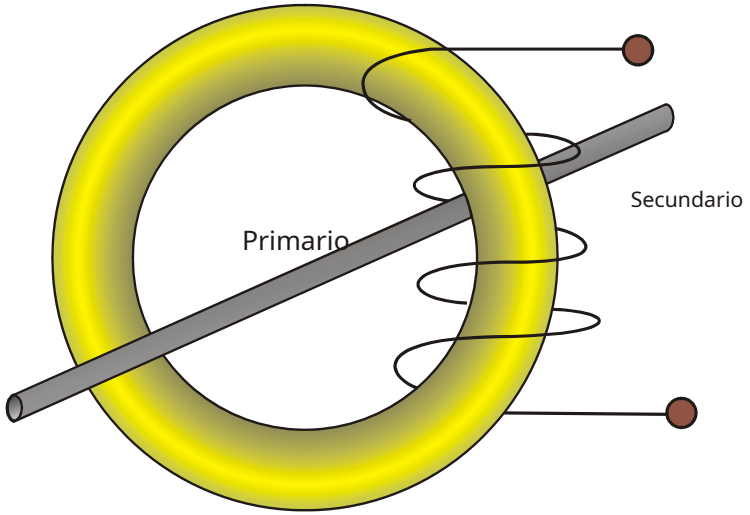


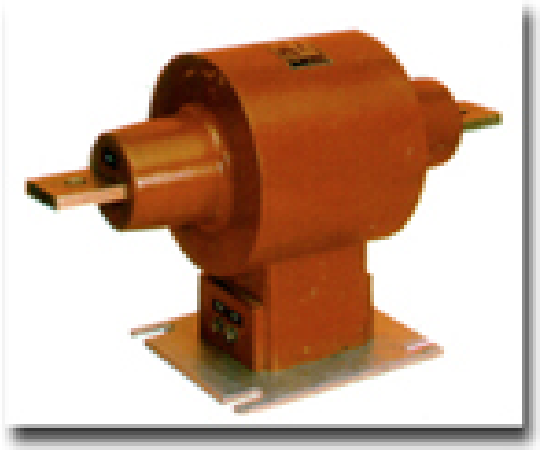
Tipos de transformadores de corriente

1. Herida primaria



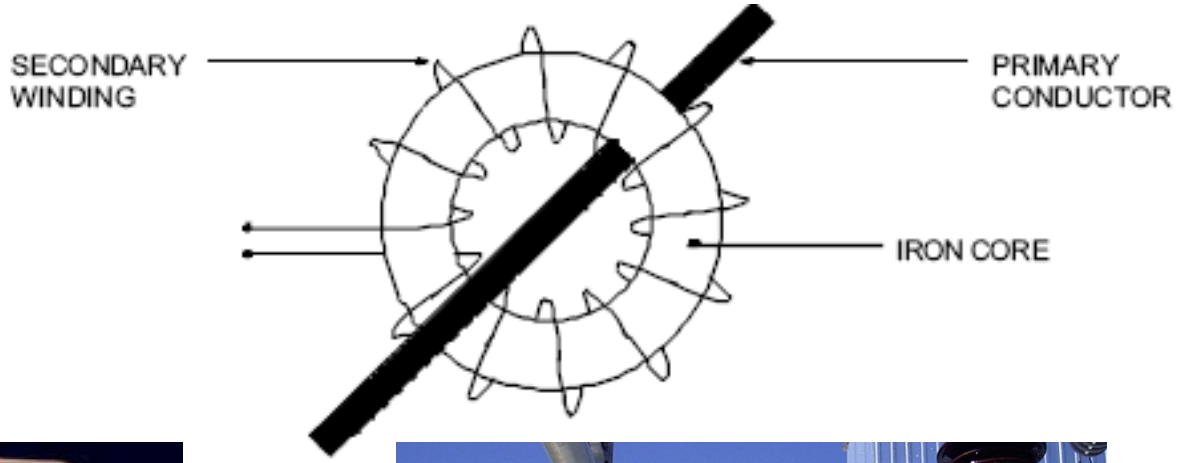
2. Barra primaria

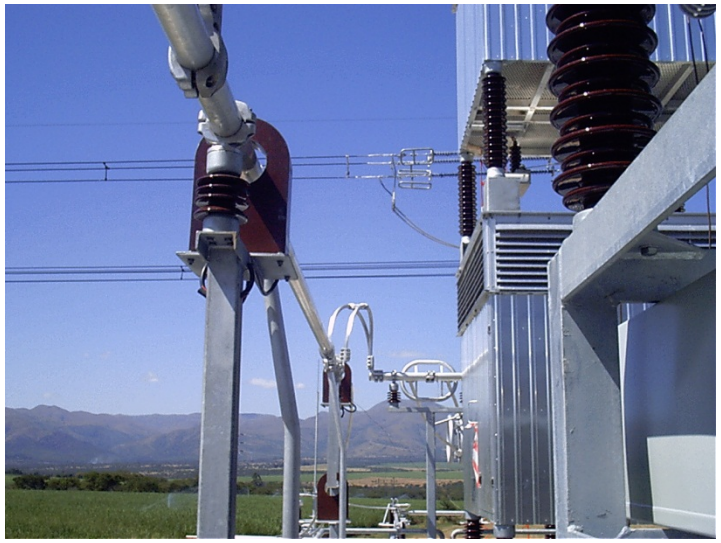




Donut CT

El tipo más común de construcción de TC es el **ROSQUILLA**' escribe. Se construye transformador y es wo

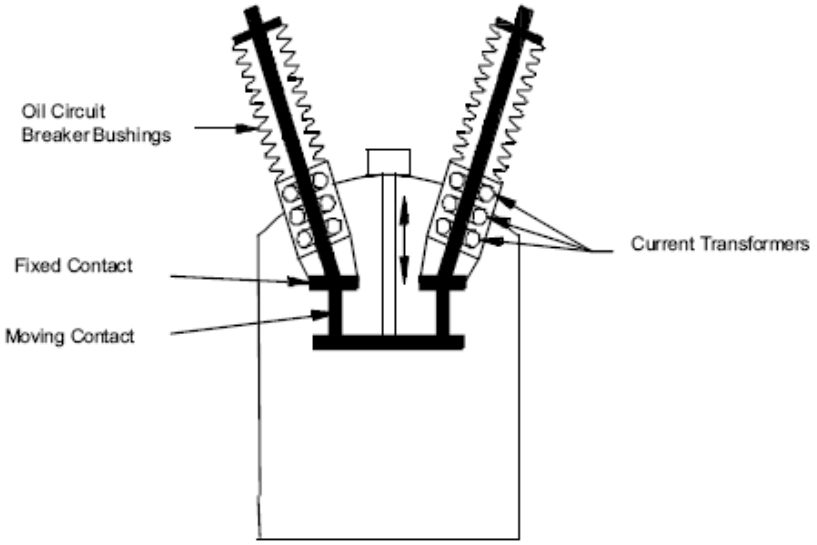




Transformadores de instrumentos CT

Este tipo de '*rosquilla*'CT se usa más comúnmente en disyuntores y transformadores. La C

ro

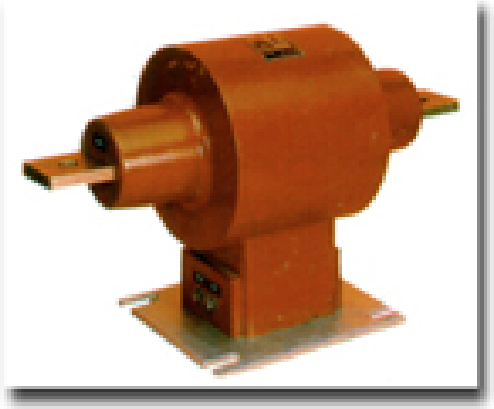


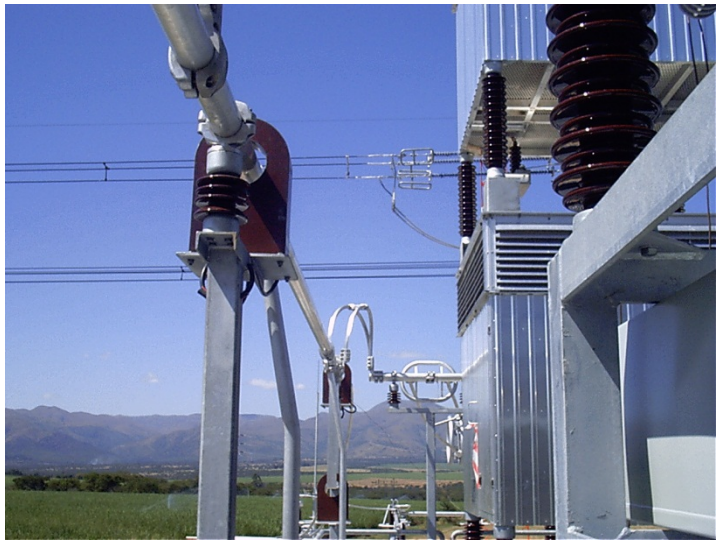
CT de tipo buje instalados en los bujes del disyuntor de tanque muerto de 66 kV

Transformadores de instrumentos CT

los **toroide**, enrollado con vueltas secundarias, se encuentra en el **tanque vivo** en el **cima** de El Connecticut. Por supuesto, debe proporcionarse aislamiento de alto voltaje entre el conductor primario de AT y el devanado secundario, que funcionan
potencial de tierra.

Los transformadores de corriente de este tipo se utilizan a menudo a tensión
33kV y 13,8 kV.

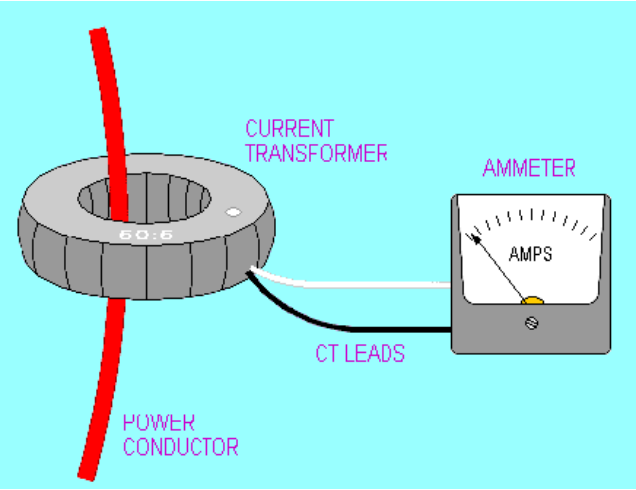


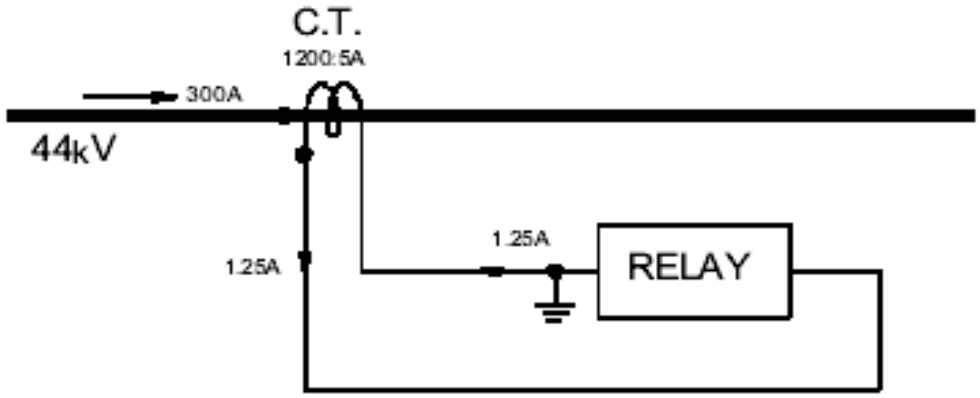


Transformador de instrumento CT

los *rosquilla'* encaja sobre el conductor primario, que constituye una vuelta primaria. Si el toroide se enrolla con 240 vueltas secundarias, entonces la relación del CT es240: 1 o 1200: 5A

La clasificación continua del devanado secundario es normalmente**5 amperios** en América del Norte, otro

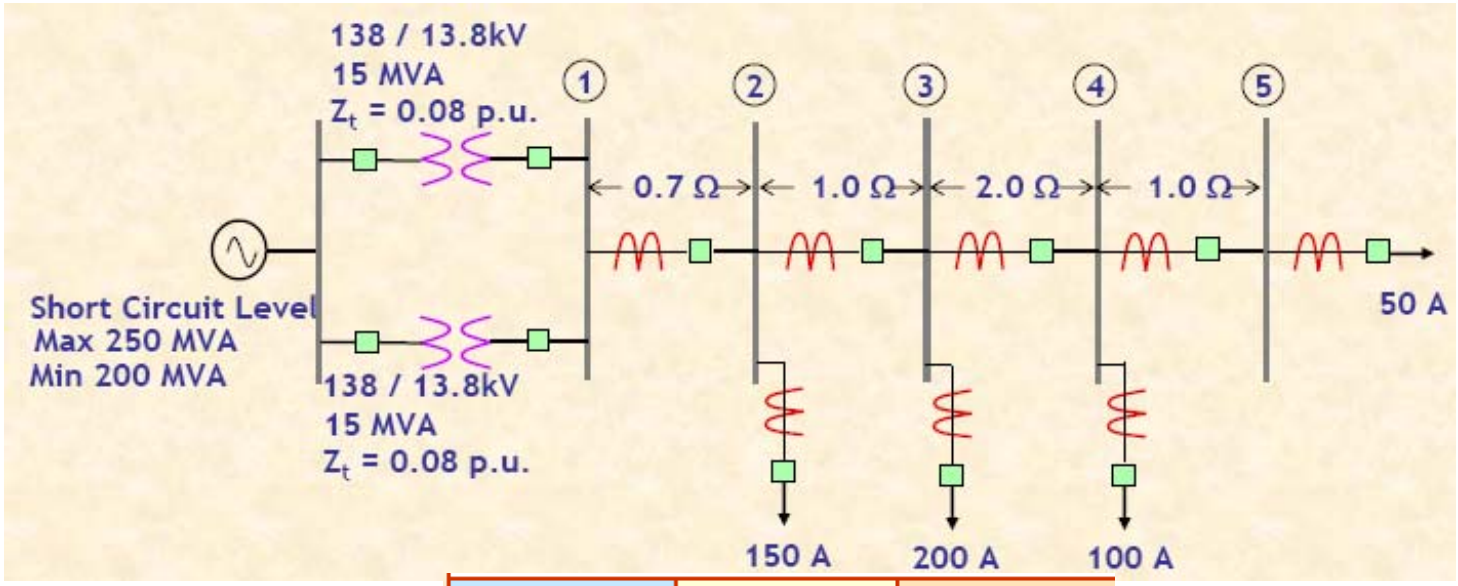




- CTs ratio(secondary current rating is 5A)

50:5	100:5	150:5	200:5
250:5	300:5	400:5	450:5
500:5	600:5	800:5	900:5
1000:5	1200:5		

- CTs also available with the secondary rating of 1A



$I_{Connecticut} = 1{,}25 \cdot I_L$

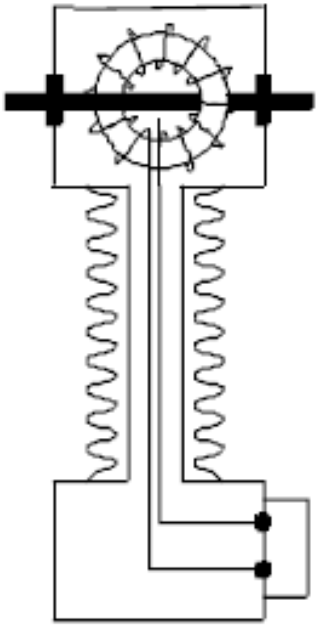
Relay Location Bus	Maximum Load Current (A)	CT Ratio Selected
1	500	800/5
2	350	500/5
3	150	200/5
4	50	100/5
5	50	100/5

Otros tipos de construcción de CT

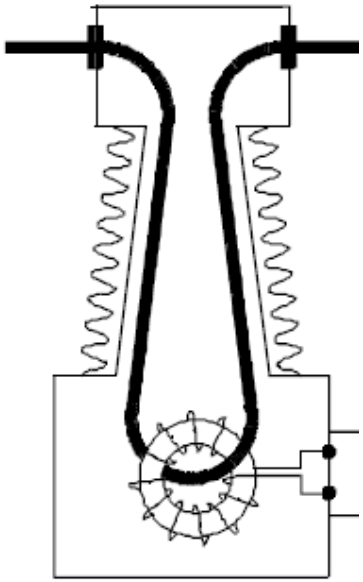
El otro tipo principal de construcción de TC es el ***P.***

Sta mi. cualquiera ***Recta-T***

o sobre

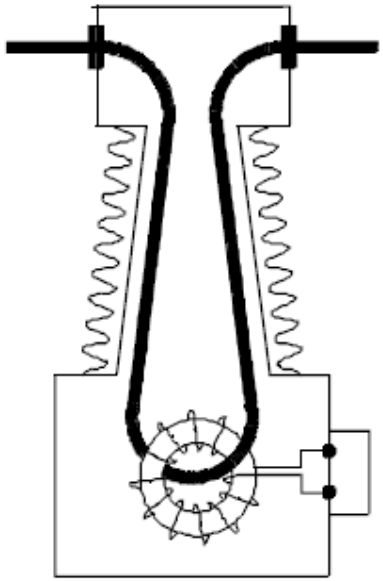


Directo



Horquilla

El segundo tipo de ***De pie*** o ***Correo*** tipo transf de corriente ***irpin*** construcción como se muestra a continuación:



los ***HORQUILLA*** CT recibe su nombre de la forma del conductor primario dentro de la porcelana. Con este tipo, el tanque que aloja el toroide está a potencial de tierra. El conductor primario está aislado para el voltaje de línea completo a medida que pasa al tanque y a través del toroide.

Transformador de instrumento CT

Los transformadores de corriente de este tipo se utilizan comúnmente en sistemas de transmisión de alta tensión a niveles de voltaje de 500kV y 230 kV.

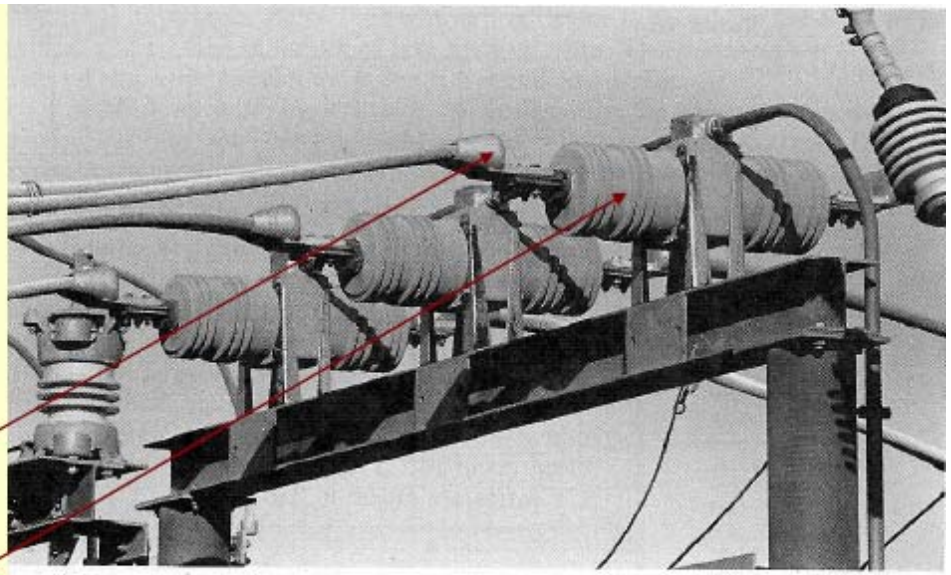
Los transformadores de corriente autónomos son muy caros y solo se utilizan donde está no posible instalar Donut 'CT's en Oil Breakers o torretas de bujes de transformadores.

Por ejemplo, los TC no se pueden acomodar fácilmente en los disyuntores Air Blast o en algunos SF6 rompedores.

Por lo tanto, los transformadores de corriente autónomos deben utilizarse con estos tipos de aparamenta. Los transformadores de corriente a menudo tienen múltiples relaciones. Esto se logra teniendo tomas en varios puntos del devanado secundario, para proporcionar las diferentes relaciones de espiras.

High Voltage CTs

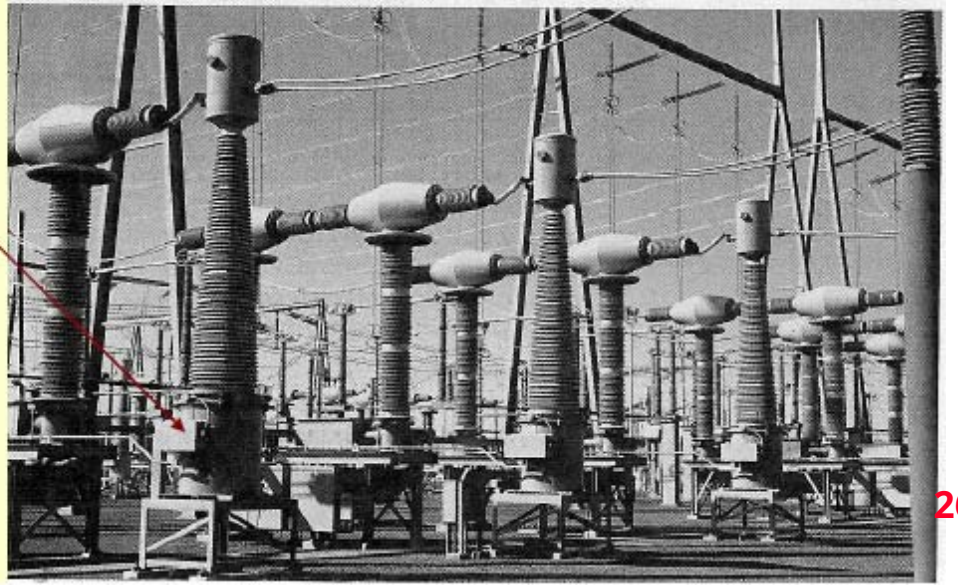
33kV single bar primary type CTs



Bar primary

Secondary coil

500kV "hairpin" single bar primary type CTs, with SF6 CB's behind



Transformadores de corriente - CT

- Como con todos los transformadores-amperios-vueltas, se debe lograr el equilibrio

- por ejemplo, 1000 amperios - 1 vuelta (barra primaria)

  = 1 amperio - 1000 vueltas (lado secundario)

- Error introducido en la medición por magnetizar la corriente

- **Los transformadores de corriente para fines de relés de protección deben reproducir la corriente primaria con precisión para todas las corrientes de falla esperadas.**

Transformadores de instrumentos CT

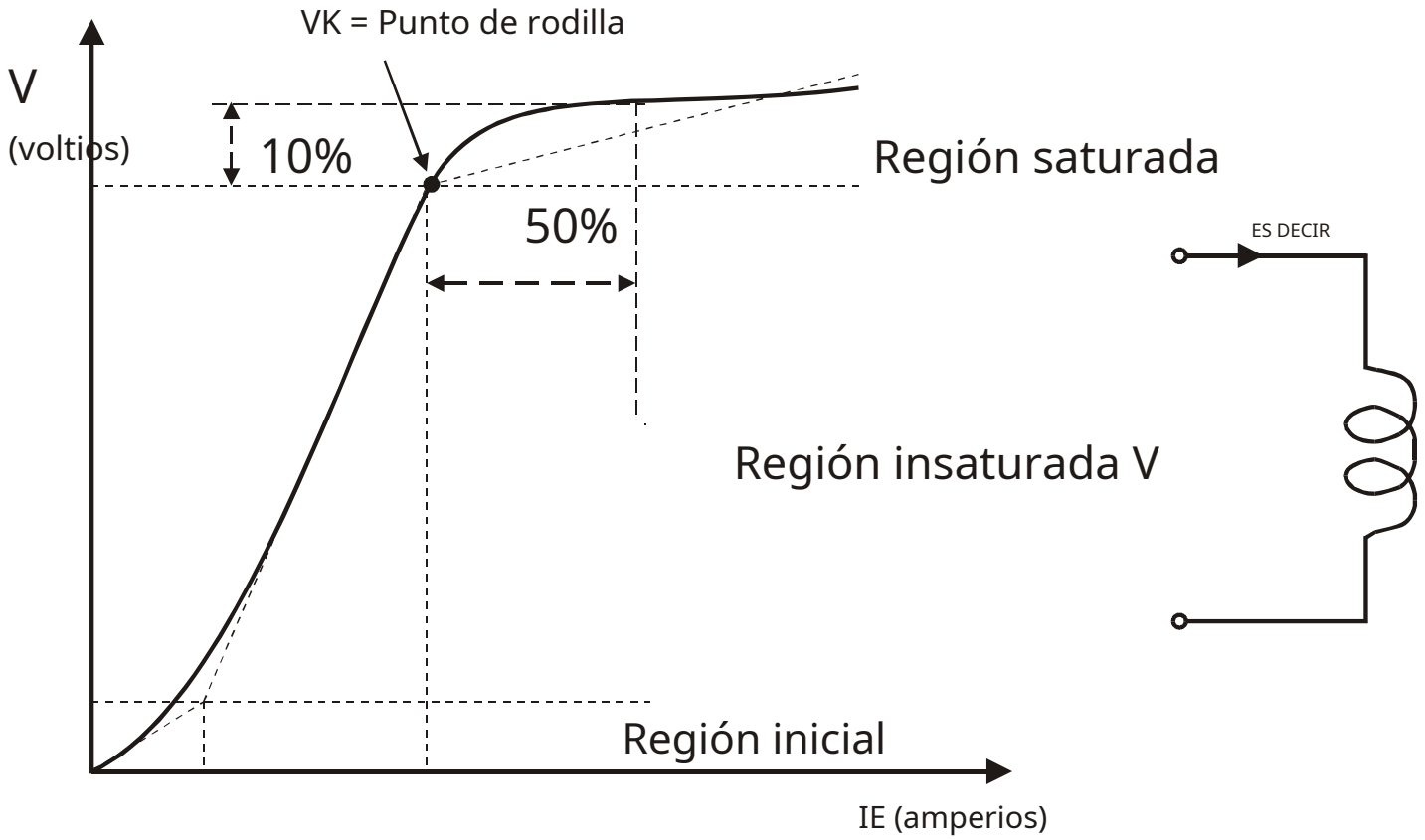
Si tenemos un CT de 33 kV con una relación de 1200: 5A, el devanado secundario tiene una capacidad nominal continua de 5 amperios.

Si la corriente de falla máxima que puede fluir a través del CT es de 12,000 amperios, entonces el CT debe producir con precisión una corriente secundaria de 50 amperios para fluir a través del relé durante esta condición de falla.

Esta corriente, por supuesto, fluirá solo durante aproximadamente 0,2 segundos, hasta que la corriente de falla sea interrumpida por el disparo del disyuntor.

Características de excitación CT

El CT debe diseñarse de manera que el núcleo de hierro no se sature para corrientes por debajo de la corriente máxima de falla. Para una TC típica



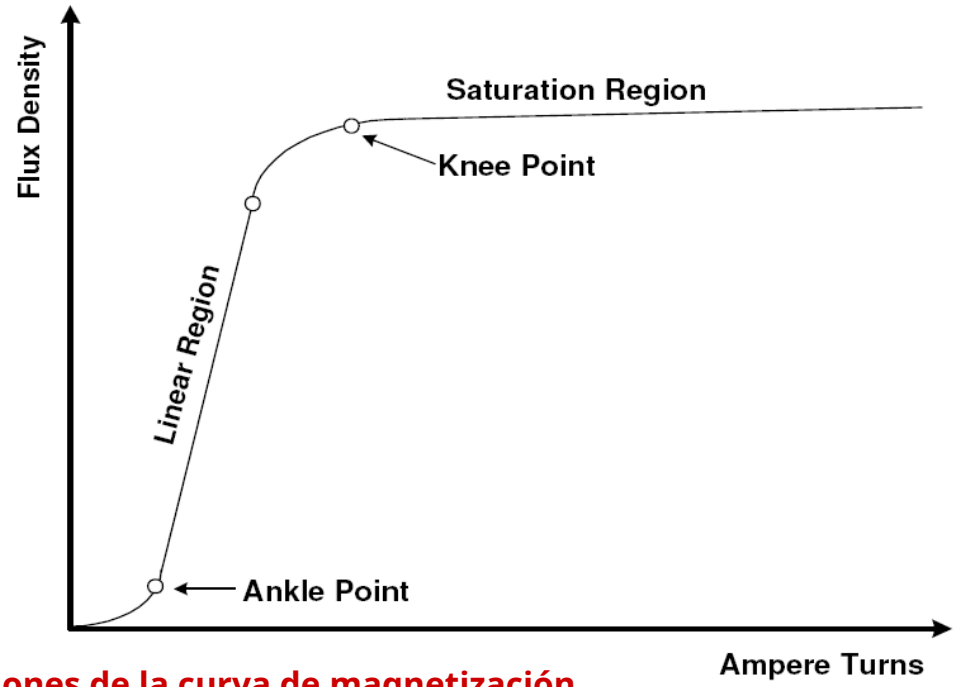
Características de excitación CT

Para que un CT funcione satisfactoriamente a las corrientes de falla máximas, debe operar en la parte lineal de la curva de magnetización.

es decir, por debajo del punto en el que se produce la saturación, que se conoce como**PUNTA DE LA RODILLA.** los **PUNTA DE LA RODILLA** Se define como:

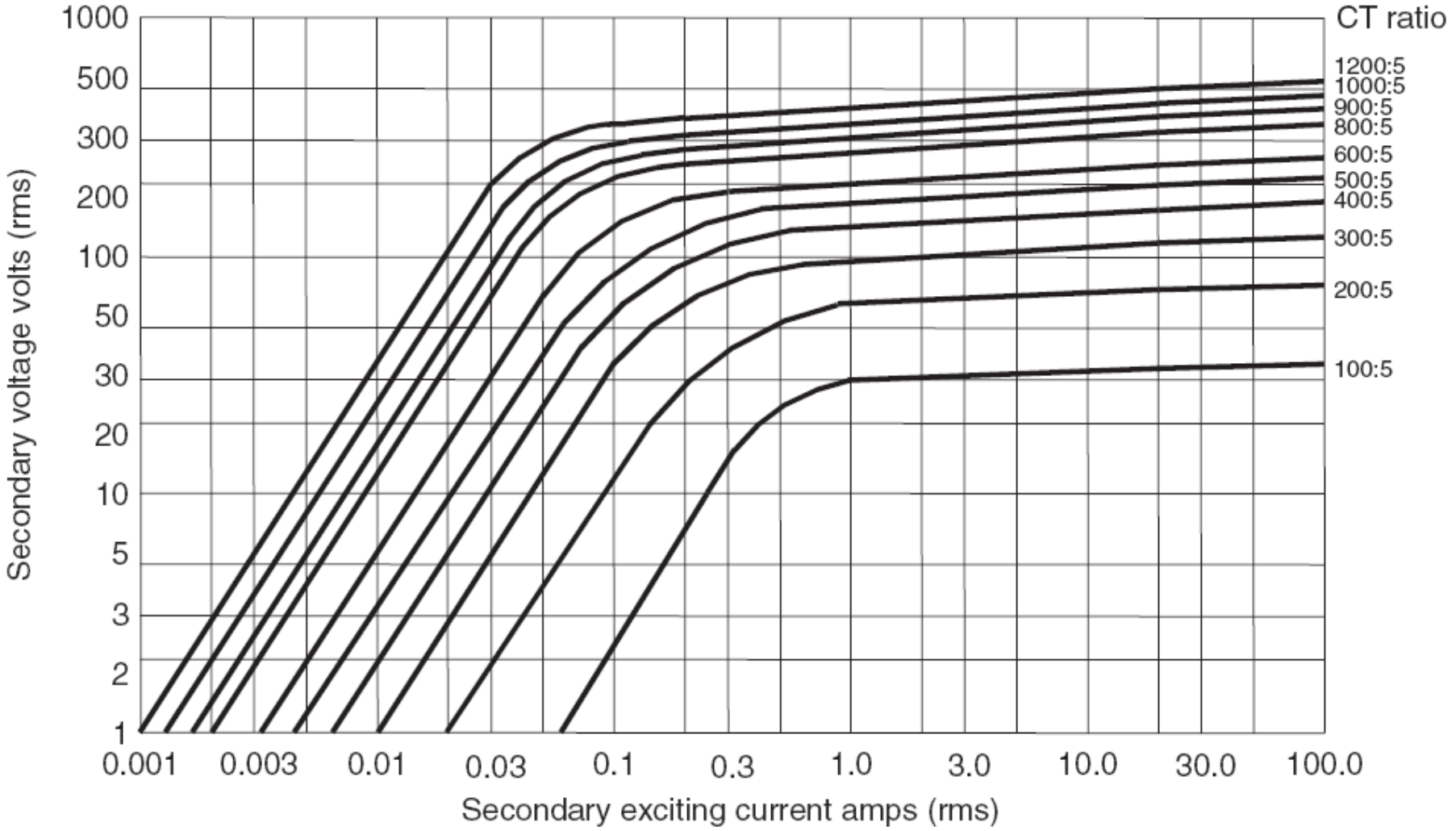
<***el punto en el que una corriente de magnetización del 10% i****.>*

e en



Diferentes regiones de la curva de magnetización

Características de excitación CT



Característica de magnetización de un TC típico

Dos tipos principales de TC

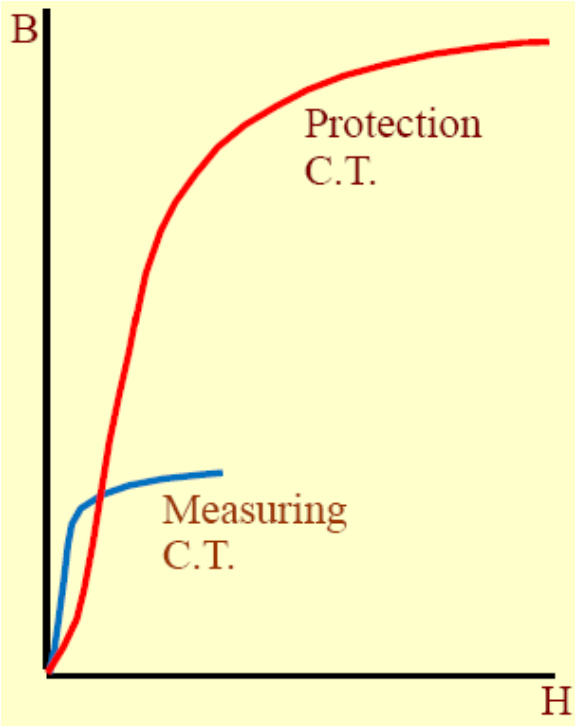
- CT de medición (tipo 'METRO')
- Protección CTS (tipo 'PAG')

Clase de medida CT

- Diseñado para operar a corriente nominal

Clase de protección CT

- Diseñado para operar con corriente de falla

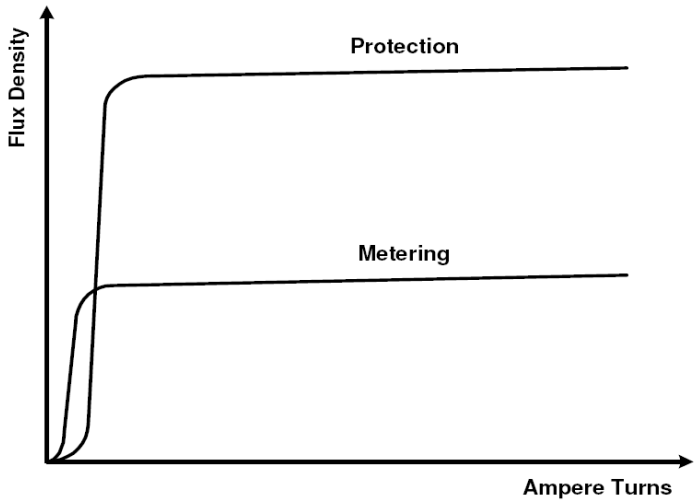


Las características y especificaciones son muy diferentes.

Protección frente a TC de medición

- Proteccion CT tener que medir corrientes de falla muchas veces superiores a la corriente de carga completa sin saturar para activar los relés para que se disparen; la precisión no es tan importante

- Medida CT deben ser precisos, ya que se facturará a los clientes según la información proporcionada por soy el medida CT - aleaciones especiales a se t saturan rápidamente

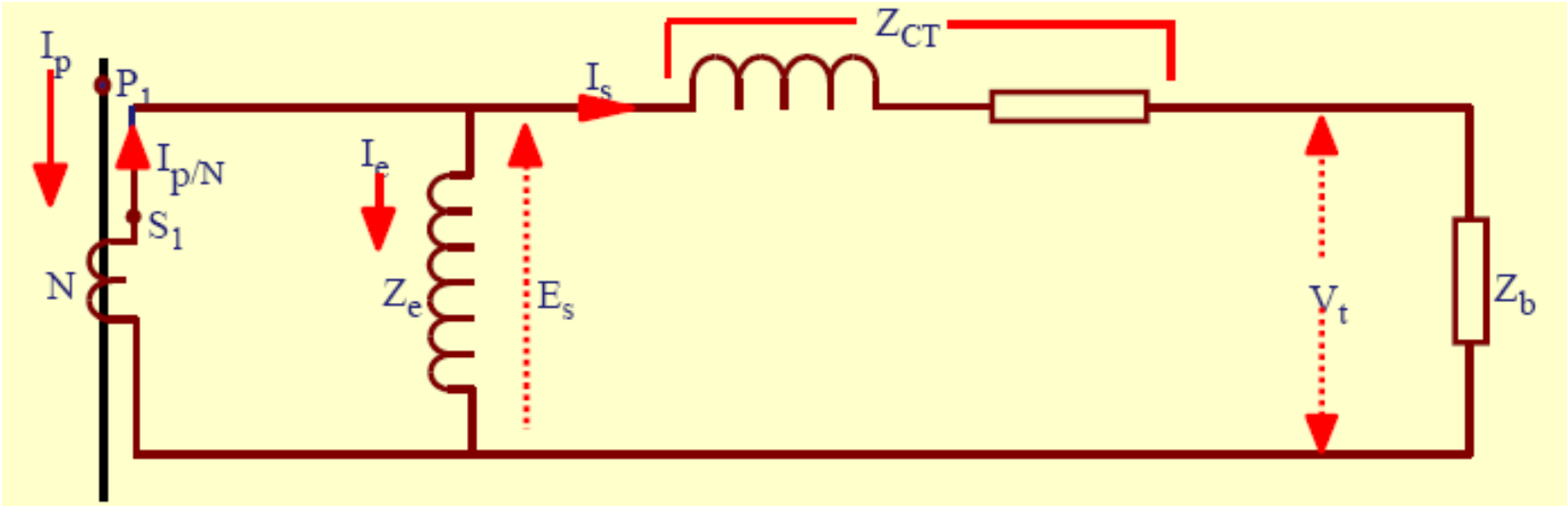


Protección frente a TC de medición

Cuando CT se utilizan para propósitos de medición, deben tener un alto grado de precisión solo en **CARGA** corrientes. es decir, secundario de 0 a 5 amperios.

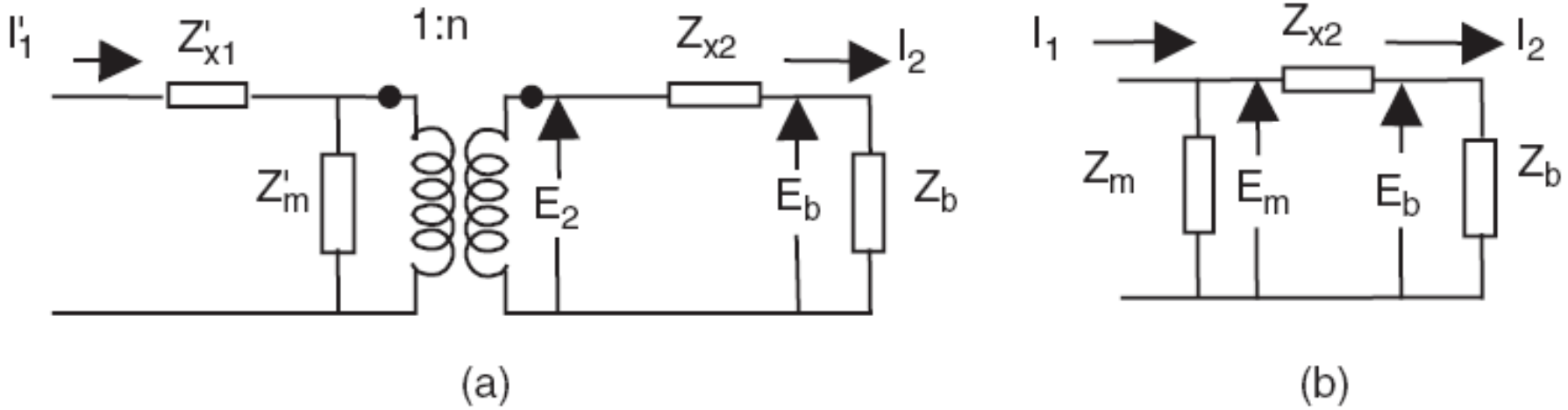
No es necesario un alto grado de precisión para las corrientes de falla, y es bastante aceptable para una medición. Connecticut para saturar cuando la corriente de falla fluye a través de él.

Obrar en representación de protector Los propósitos de retransmisión normalmente pueden tener un***punto de rodilla*** a 500 voltios, mientras que un medida Connecticut. puede saturar muy por debajo100 voltios.



I_p	=	Primary rating of C.T.	I_e	=	Secondary excitation current
N	=	C.T. ratio	I_s	=	Secondary current
Z_b	=	Burden of relays in ohms (r+jx)	E_s	=	Secondary excitation voltage
Z_{CT}	=	C.T. secondary winding impedance in ohms (r+jx)	V_t	=	Secondary terminal voltage across the C.T. terminals
Z_e	=	Secondary excitation impedance in ohms (r+jx)			

C



Dado que el devanado primario de un CT está conectado en serie con la red eléctrica, su corriente primaria I_1 es dictado por la red. En consecuencia, la fuga impedanc inding Z_{X1} no tiene ningún efecto sobre la y actuación del tr se puede omitir.

$$I_1 = \frac{I_1'}{n} \qquad E_m = E_b + Z_{x2} I_2$$

$$Z_m = n^2 Z_m'$$

y la corriente magnetizante I_{metro} es dado por

$$I_m = \frac{E_m}{Z_m}$$

CT- Circuito equivalente y su simplificación

La corriente primaria I_1 (referido

$$I_1 = I_2 + I_m$$

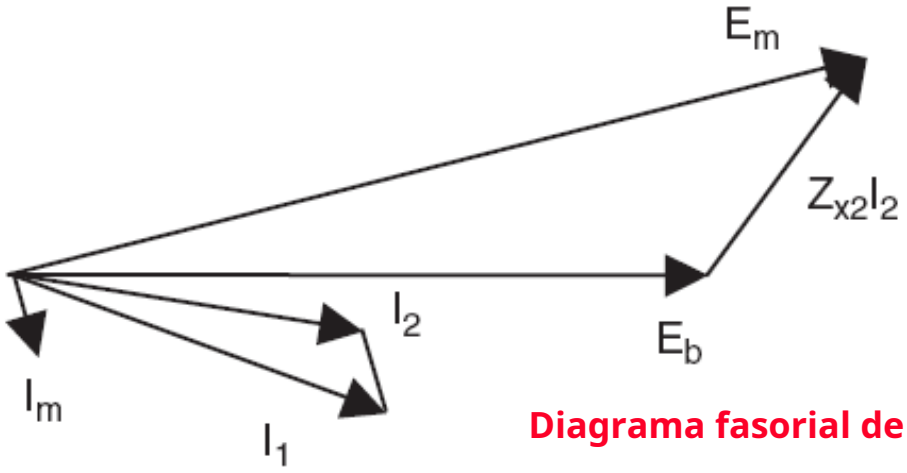


Diagrama fasorial de TC

Para valores pequeños de ce, mi_B y mi_{metro} también son pequeños, y el consecuentemente I_{metro} es sm error de transformación actual definido por

$$\varepsilon = \frac{I_1 - I_2}{I_1} = \frac{I_m}{I_1}$$

es, por tanto, pequeño para valores pequeños de Z_B. En otras palabras, los TC funcionan mejor cuando están conectados a cargas de impedancia muy bajas.

CT- Circuito equivalente y su simplificación

Más a menudo, el error de CT se presenta en términos de un factor de corrección de relación ***R*** en lugar del error por unidad **-.** El factor de corrección de la relación ***R*** se define como la constante por la cual el na relación s ***norte*** de un CT debe ser. multiplicado para obtener el efecto

$$R = \frac{1}{1 - \varepsilon}$$

Ejemplo 6: Rendimiento de CT

Considere un transformador de corriente con una relación de vueltas de 500: 5, una fuga secundaria

magn
al

$$E_{\mathrm{m}} = \frac{I_1(0.01 + \mathrm{j}0.1 + 2.0)(4.0 + \mathrm{j}15.0)}{(0.01 + \mathrm{j}0.1 + 2.0 + 4.0 + \mathrm{j}15.0)} = I_1 \times 1.922\angle 9.62^\circ$$

$$I_{\mathrm{m}} = \frac{I_1 \times 1.922\angle 9.62^\circ}{(4.0 + \mathrm{j}15.0)} = I_1 \times 0.1238\angle -65.45^\circ$$

C

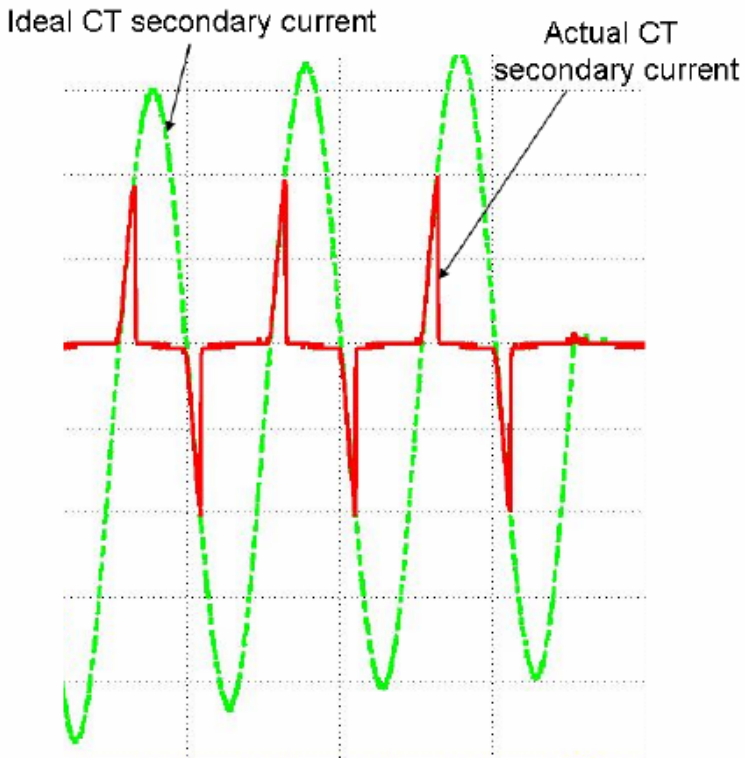
$$\varepsilon = \frac{I_{\mathrm{m}}}{I_1} = 0.1238\angle -65.45^\circ$$

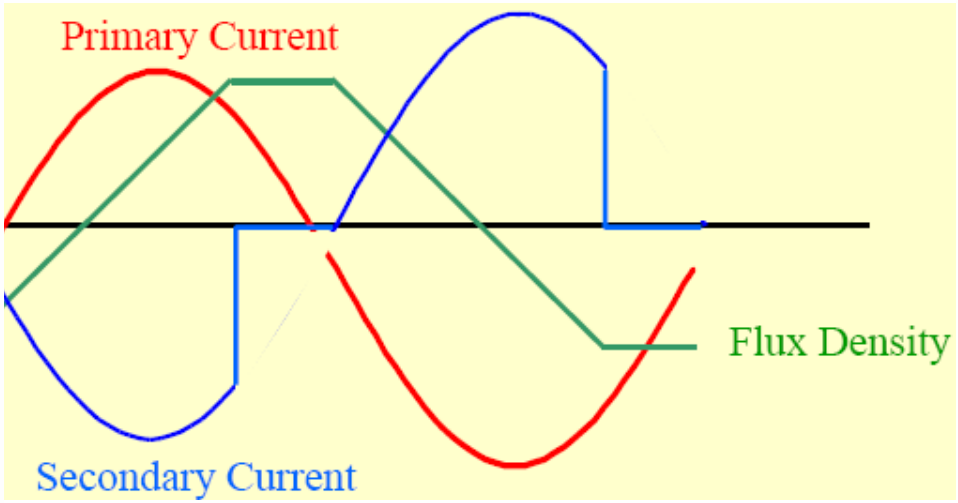
Th

$$R = \frac{1}{(1.0 - 0.1238\angle -65.45^\circ)} = 1.0468\angle -6.79^\circ \quad \text{for } Z_{\mathrm{b}} = 2 \text{ ohms}$$

Efecto de la saturación de CT

La corriente de salida cae a cero cuando el flujo es constante (núcleo s

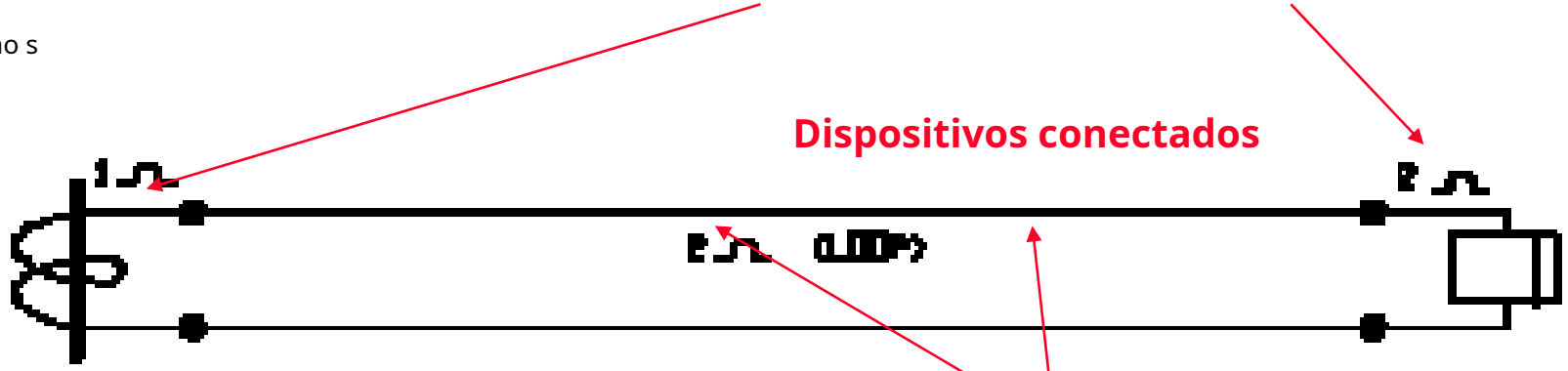


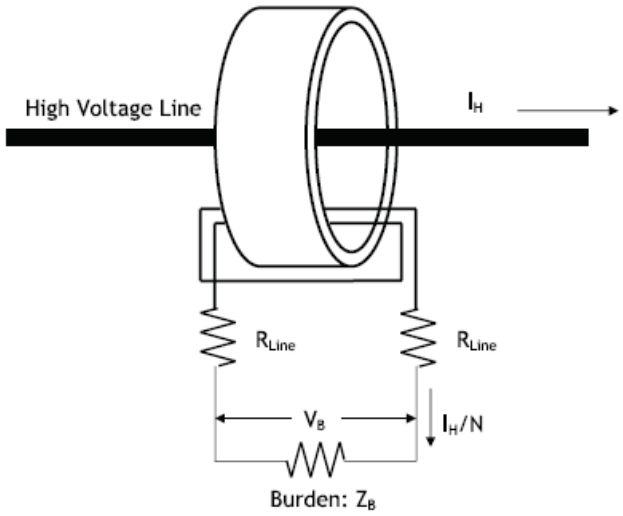


Voltaje de punto de rodilla CT

El punto de la curva de magnetización en el que opera el CT es de

como s



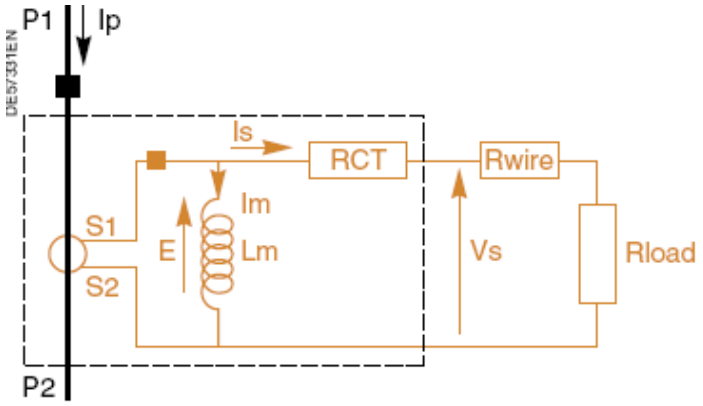


Circuito transformador de corriente con carga

Voltaje de punto de rodilla CT

Voltaje del punto de mantenimiento - $V_k = (R_{Connecticut} + R_B + 2\text{-}R_L).I_{sn}$

- $R_{Connecticut}$= Resistencia del devanado secundario del TC
- R_L= resistencia del cableado secundario (conductores)
- R_B = carga (carga). (medidor o relé)
- I_{sn} = corriente secundaria nominal
- V_k= voltaje requerido en el punto de rodilla

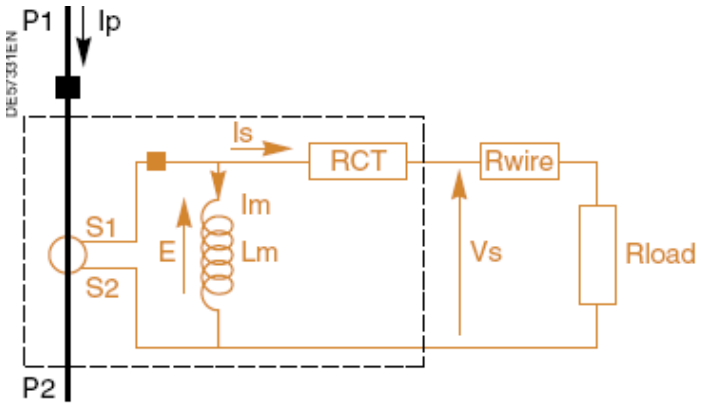


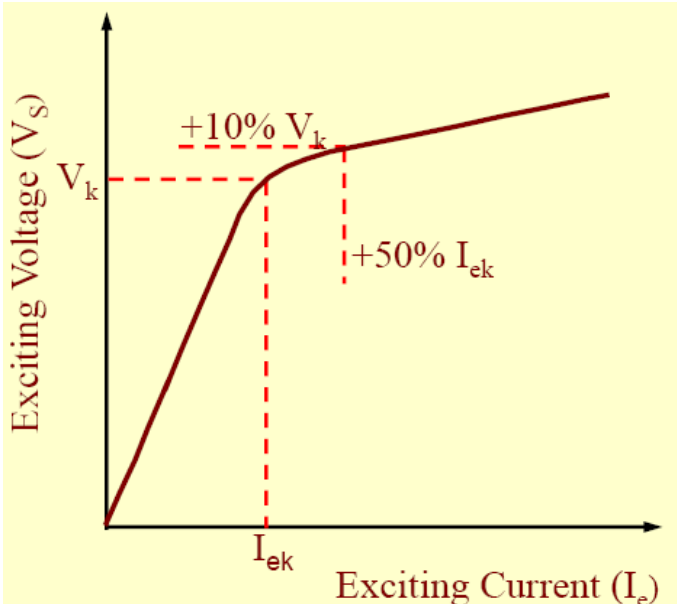
Ejemplo 1: Voltaje de punto de rodilla de CT

En este ejemplo, la resistencia del Connecticut circuito secundario, o Connecticut la carga es:

Resistencia del devanado secundario del TC	= 1 OHM
Resistencia del cable desde el TC al relé	= 2 OHMIOS
Resistencia de la bobina del relé	= 2 OHMIOS

Total dary Cir





Ejemplo 1: Rendimiento de CT

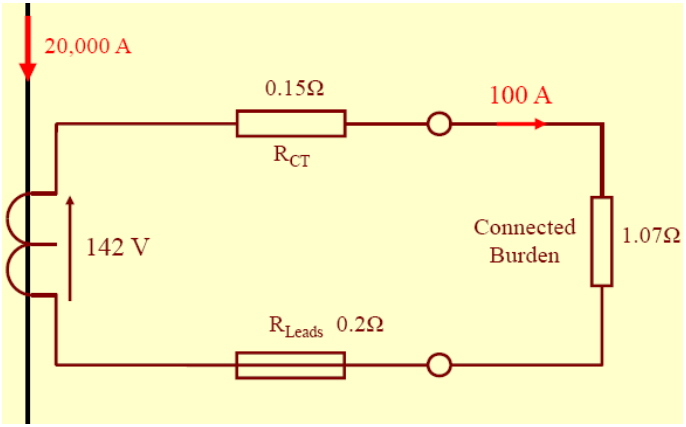
Si la corriente de falla es 12 000 Amperios, y la relación CT es1200: 5A, entonces la corriente secundaria CT es 50 amperios. En esta corriente secundaria y la carga de CT anterior de5 OHMIOS, el CT debe producir un voltaje terminal de 250 voltios.

Para que el TC funcione con buena precisión, sin saturar la corriente máxima de falla, el ***punto de rodilla***debe estar muy por encima **250 voltios**.

La importancia de la Connecticut Mantener una buena precisión y no saturar a ~~la máxima~~ corriente de falla es lo más crítico en la protección diferencial.

Ejemplo 2: Rendimiento de CT

- Encuentre la carga secundaria máxima permitida
  - **Relación CT = 1000/5**
  - **$R_{Connecticut}$= 0,15 Ω**
  - **$R_{Guías}$ = 0,1 Ω ($R_{Guías}$= 2-0,1 Ω = 0,2 Ω)**
  - **Densidad de flujo máxima (B) = 1,6 Tesla**
  - **Área de sección transversal del núcleo (A) = 20 cm_2**



- **Solución:**
  - **V_k= 4,44 ×*B*×*A*×*F*×*norte* (la "erección de transformación"**
  - **N = 1000/5 = 200 vueltas**
  - **A = 20 cm_2= 20 × 10_{-4} $metro_2$**
  - **V_k= 4,44 × 1,6 × 20 × 10_{-4} ×50 × 200 = 142 V (alternativamente, si *A* no conocida, curvas de V_k puede estar disponible)**
  - **Corriente de falla máxima = 20kA (Primario) = 100 A (secundario)**
  - **Resistencia máxima = 142 V / 100 A = 1,42 Ω**
  - **$R_{Connecticut}$= 0,15 Ω; Resistencia del cable = 0,2 Ω**
  - **Carga máxima conectada 1,42 - 0,15 - 0,2 = 1,07 Ω**

Ejemplo 3: Rendimiento de CT

- Un transformador de corriente se especifica como 600 A: clase 5 A C200. Determina sus características. Esta designación se basa en ANSI Std. C57.13-1978. 600 A es la clasificación de corriente primaria continua, 5 A es la clasificación de corriente secundaria continua y la relación de vueltas es 600/5 = 120.C es la clase de precisión, como se define en la norma. El número que sigue alC, que en este caso es200, es el voltaje que el Cveces la corriente nominal sinla impedancia de carga es a 20 ted

$$Z_{\text{rated}} = \frac{\text{Voltage class}}{20 \cdot \text{Rated secondary current}} = \frac{200\ \text{V}}{20 \cdot 5\ \text{A}} = 2\ \Omega$$

- Este CT puede entregar hasta 100 A de corriente secundaria para cargar cargas de hasta 2 con menos del 10 por ciento de error. Tenga en cuenta que la fuente principal de error es la saturación del núcleo de hierro del CT y que 200 V será aproximadamente el voltaje de rodilla en la curva de saturación del CT.

Ejemplo 4: Rendimiento de CT

- El circuito de la figura 1 tiene TC de clase C100 600: 5. La corriente de carga máxima es de 475 A equilibrados por fase.

1. Det nts para las condiciones de carga máxima.

La corriente secundaria del TC de fase A es

$$I_A = \frac{475\text{A}}{120} = 3.96\,\text{A}\underline{/0^\circ}$$

- Aquí t 0 °. Las corrientes de fase B y C son th

$$I_B = 3.96\,\text{A}\underline{/-120^\circ}, I_C = 3.96\,\text{A}\underline{/120^\circ}$$

- La corriente residual es

$$I_R = I_A + I_B + I_C = 3.96\,\text{A}\underline{/0^\circ} + 3.96\,\text{A}\underline{/-120^\circ} + 3.9.6\,\text{A}\underline{/120^\circ} = 0\,\text{A}$$

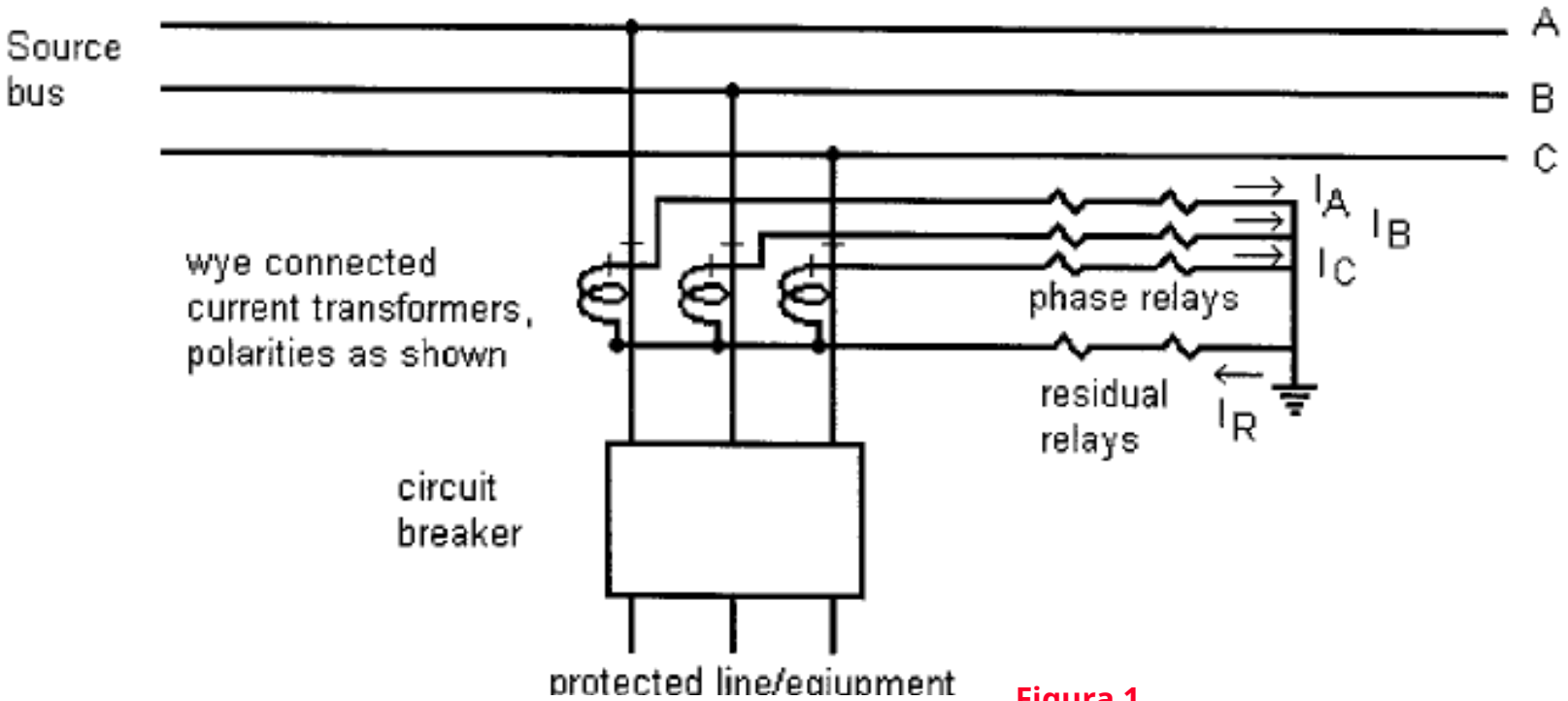
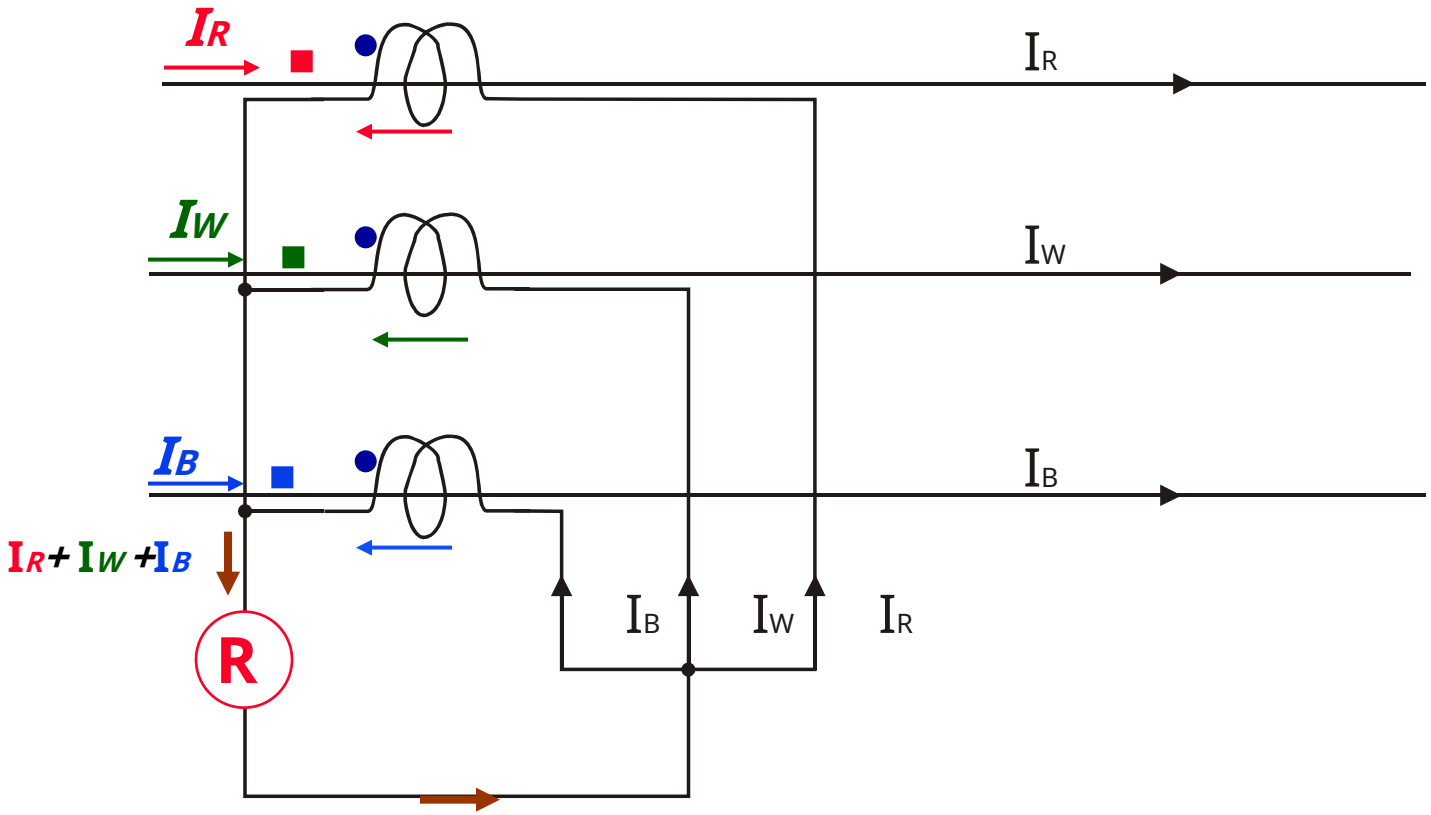


Figura 1

Configuración típica para TC conectados en estrella que protegen una línea o pieza de equipo.

Conexión de TC en sistemas trifásicos

La conexión más común es en estrella (abajo): la corriente residual se derramará a través del neutro y a través del relé **R** durante fallas



Ejemplo 4: Rendimiento de CT

2. El circuito tiene una falla de fase A a tierra en la línea, con corriente de falla Indice el relé de fase y residual e Una curre corriente de fase está a 0 °.

$$I_A = \frac{9000\ \text{A}}{120} = 75\ \text{A}\underline{/0^\circ}$$

$$I_B = 0\ \text{A}$$

$$I_C = 0\ \text{A}$$

$$I_R = I_A + I_B + I_C = 75\ \text{A}\underline{/0^\circ} + 0\ \text{A} + 0\ \text{A} = 75\ \text{A}\underline{/0^\circ}$$

- Por lo tanto, la ruta de la corriente pasa por el cable de fase A y vuelve a través del cable residual.

Ejemplo 4: Rendimiento de CT

3. los
y

00 amperios saliendo de la corriente
de fase B para estar a 0 °.

$$I_A = \frac{0\ \text{A}}{120} = 0\ \text{A}$$

$$I_B = \frac{5000\ \text{A}\angle 180^\circ}{120} = 41.7\ \text{A}\angle 0^\circ$$

$$I_C = \frac{5000\ \text{A}\angle 180^\circ}{120} = 41.7\ \text{A}\angle 180^\circ = -I_B$$

$$I_R = I_A + I_B + I_C = 0\ \text{A} + 41.7\ \text{A}\angle 0^\circ + 41.7\ \text{A}\angle 180^\circ = 0\ \text{A}$$

- Esta ruta de corriente involucra los cables de las fases B y C, sin corriente ni en el cable de la fase A ni en el residual.

Ejemplo 4: Rendimiento de CT

4. los Con 8000 A por fase.

$$I_A = \frac{8000\ \text{A}\angle 0^\circ}{120} = 66.7\ \text{A}\angle 0^\circ$$

$$I_B = \frac{8000\ \text{A}\angle -120^\circ}{120} = 66.7\ \text{A}\angle -120^\circ$$

$$I_C = \frac{8000\ \text{A}\angle 120^\circ}{120} = 66.7\ \text{A}\angle -120^\circ$$

$$I_R = I_A + I_B + I_C = 66.7\ \text{A}\angle 0^\circ + 66.7\ \text{A}\angle -120^\circ + 66.7\ \text{A}\angle 120^\circ = 0\ \text{A}$$

- Las corrientes de fase suman cero, por lo que no fluye corriente en el residual para esta falla.
- La ruta del flujo de corriente para estas diversas situaciones debe considerarse al calcular el voltaje de excitación del TC y la saturación subsiguiente.

Ejemplo 5: Rendimiento de CT

- Para la parte 2, 3 y 4 del Ejemplo 4, calcule el voltaje del CT si la fase la carga del relé es 1,2 , los La carga residual del relé es 1.8 , los la resistencia del cable es 0.4 ,y el La resistencia de CT es 0.3 . Ignore la saturación de CT en este cálculo.

1. Single-P

   El AP

$$\begin{aligned} V_{exA} &= I_{Asec}(Z_{CT} + 2Z_{lead} + Z_{phase} + Z_{residual}) \\ &= 75\,\text{A}(0.3\,\Omega + 2 \cdot 0.4\,\Omega + 1.2\,\Omega + 1.8\,\Omega) \\ &= 307\,\text{V} \end{aligned}$$

- Las impedancias son principalmente resistivas y el ángulo de fase a menudo se pasa por alto en los cálculos de voltaje. Las impedancias se pueden determinar rastreando la ruta de la corriente a través del circuito secundario del TC.

Ejemplo 5: Rendimiento de CT

2. Dos-P

El b e de

$$V_{exB} = I_{Bsec}(Z_{CT} + Z_{lead} + Z_{phase})$$
$$= 41.7\,\text{A}(0.3\,\Omega + 0.4\,\Omega + 1.2\,\Omega)$$
$$= 79.2\,\text{V}$$

- Th mi. Tenga en cuenta que el TC de la als fase A no lleva corriente.

3. Th

$$V_{exA} = I_{Asec}(Z_{CT} + Z_{lead} + Z_{phase})$$
$$= 66.7\,\text{A}(0.3\,\Omega + 0.4\,\Omega + 1.2\,\Omega)$$
$$= 126.7\,\text{V}$$

- Por lo tanto, la falla del peor caso para este ejemplo es la falla monofásica. Está claro que un CT con un voltaje de saturación de 200 V experimentaría una saturación sustancial por esta falla. Esta saturación provocaría una gran reducción de la corriente suministrada. En los otros dos casos, el CT permanece insaturado, por lo que el CT entregará la corriente esperada a este nivel de voltaje.

Seguridad al trabajar con TC

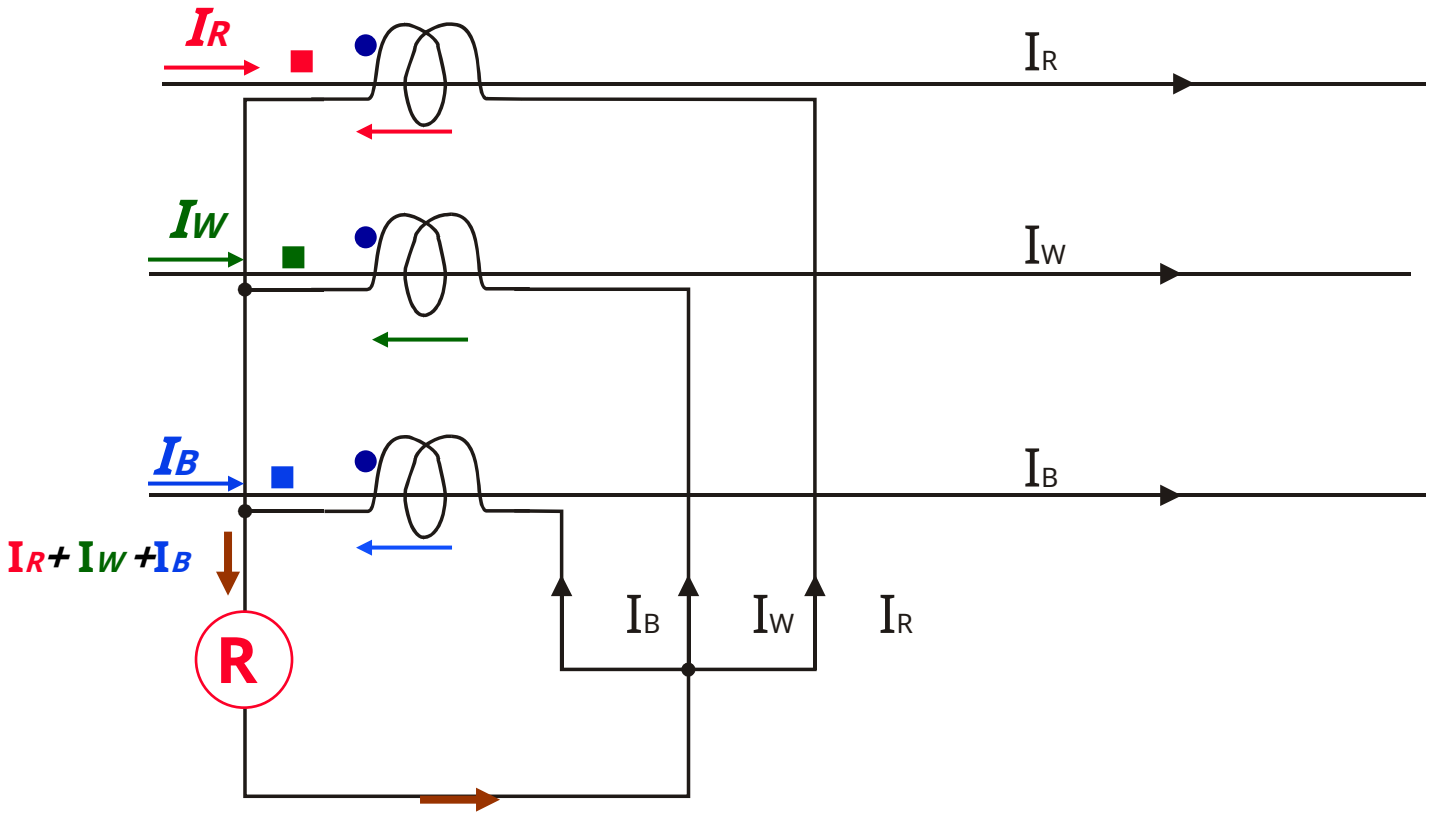
PRECAUCIÓN:

Cuando CT están en servicio DEBE tener un circuito continuo conectado a través de los terminales secundarios. Si elConnecticut secundaria es 'circuito abiertoMientras fluye la corriente primaria, aparecerán voltajes peligrosamente altos a través del Connecticut terminales secundarios.

Se debe tener sumo cuidado al realizar pruebas 'en carga' en Connecticut circuitos, para asegurar que un Connecticut no es inadvertidamente 'circuito abierto'.

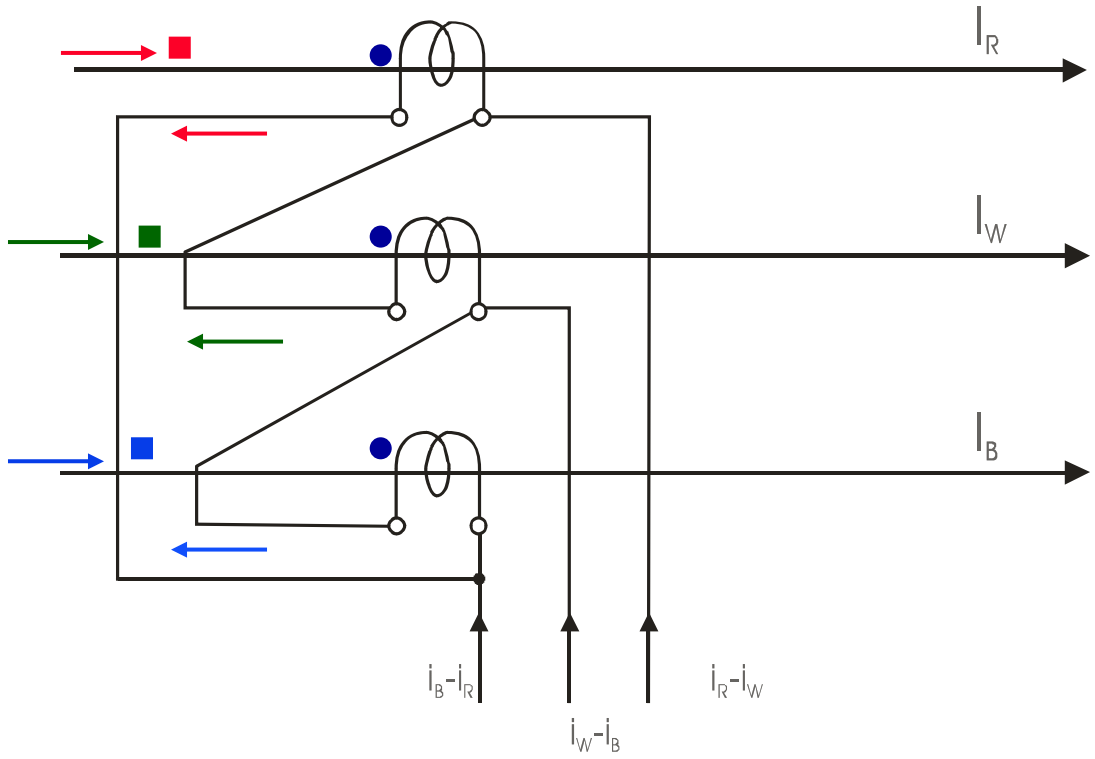
Conexión de TC en sistemas trifásicos

La conexión más común es en estrella (abajo): la corriente residual se derramará a través del neutro y a través del relé **R** durante fallas



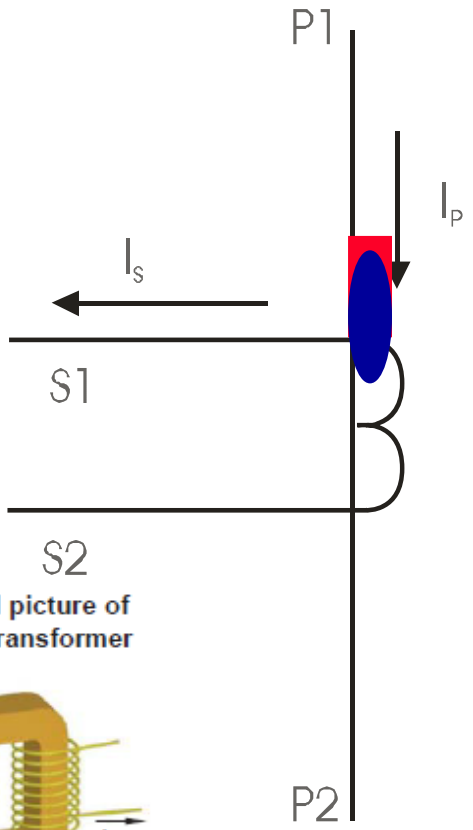
Conexión de TC en sistemas trifásicos

Las conexiones delta se utilizan cuando un cambio de fase con respecto a la CT al otro lado de un -Y se requiere transformador

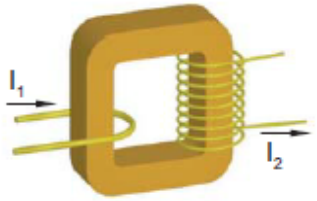


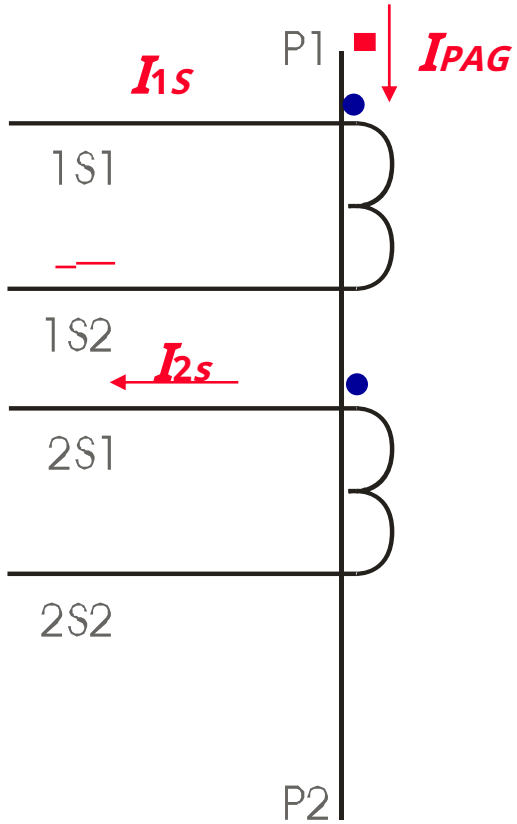
Designaciones de terminales para CT

IEC185: los terminales se marcarán de la siguiente manera: P1, S1, C1 para que todos tengan la misma polaridad, por ejemplo, ver más abajo

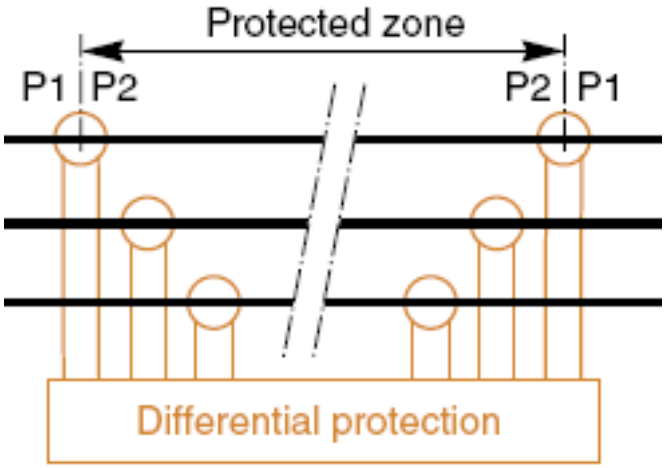


Conceptual picture of a Current Transformer

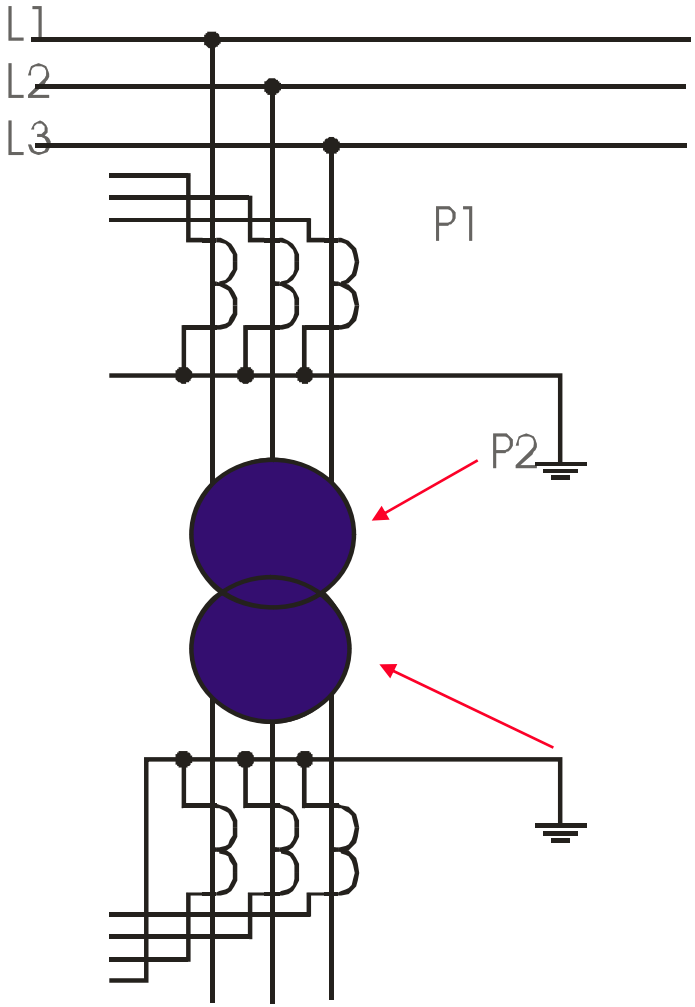




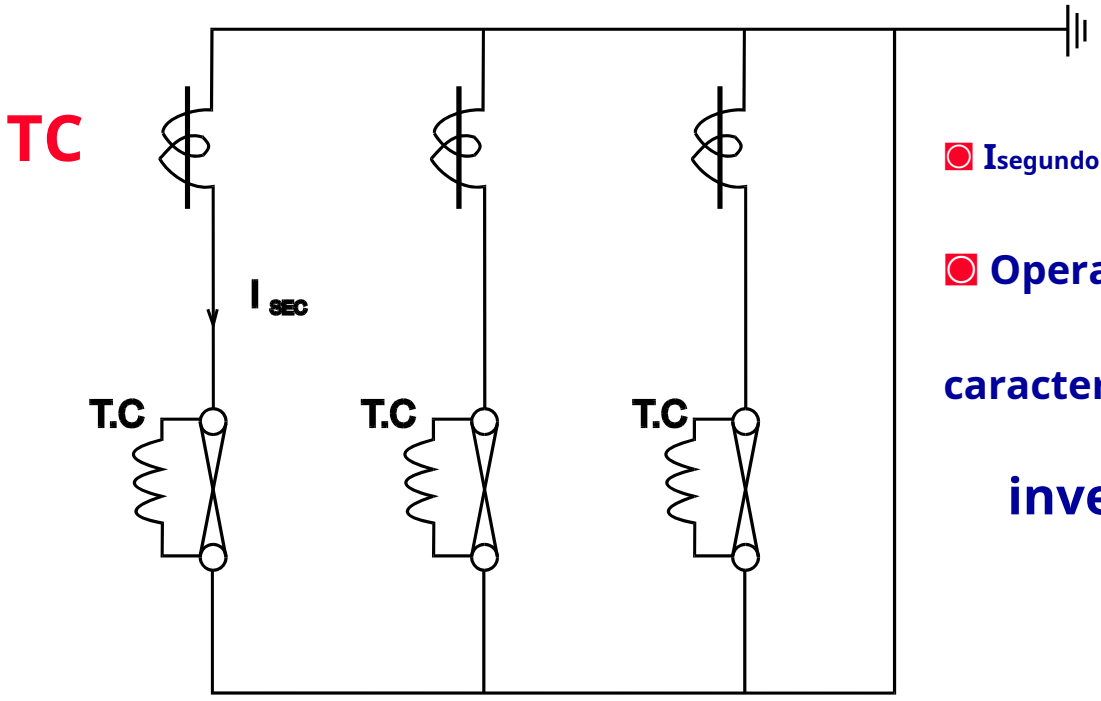
ng de CT



Estrella y tierra más cercanas al equipo protegido

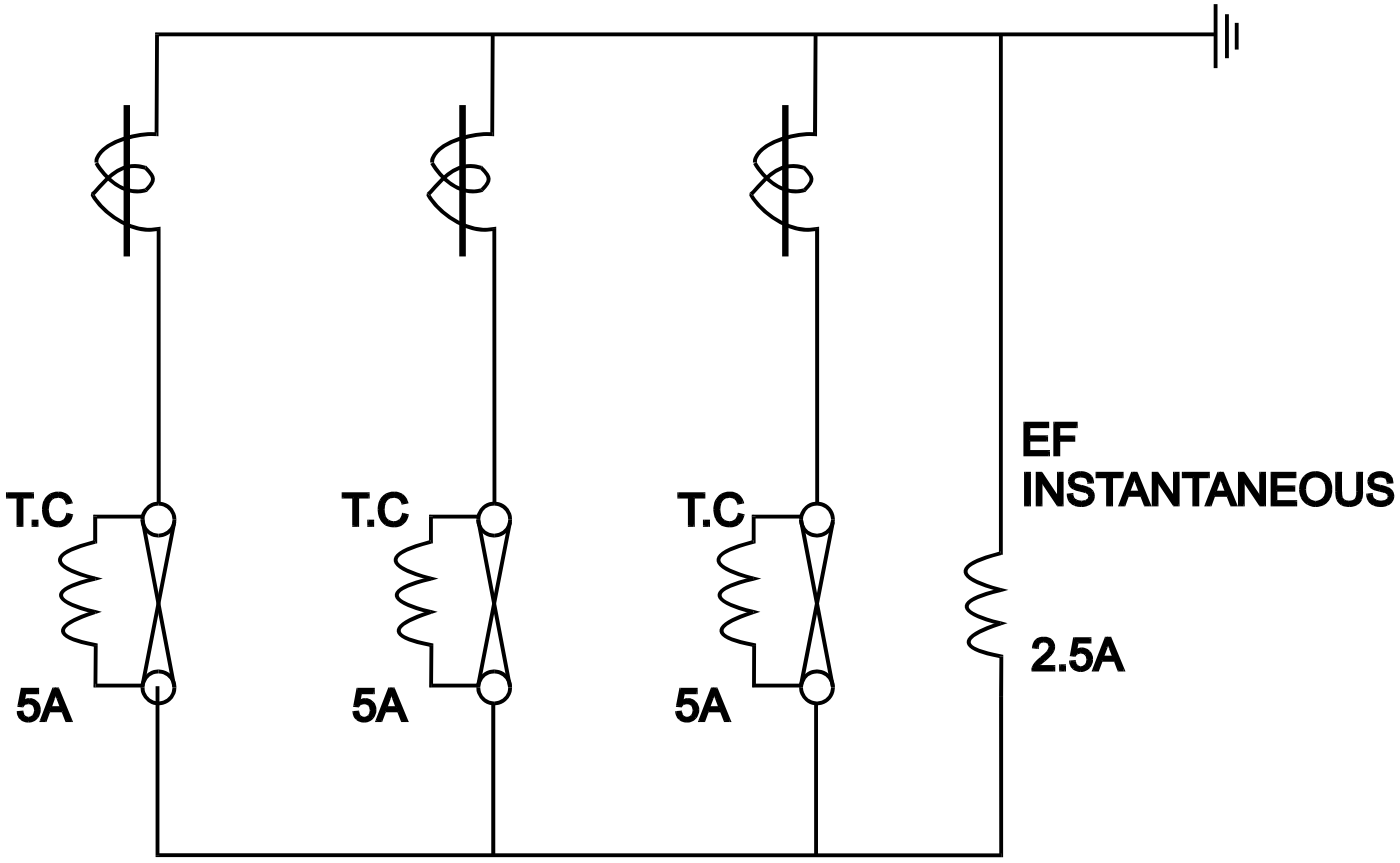


Aplicación de TC: sobrecorriente



- $I_{segundo}$ quema fusible
- Opera bobina de disparo (TC)
- La característica del fusible es inverso

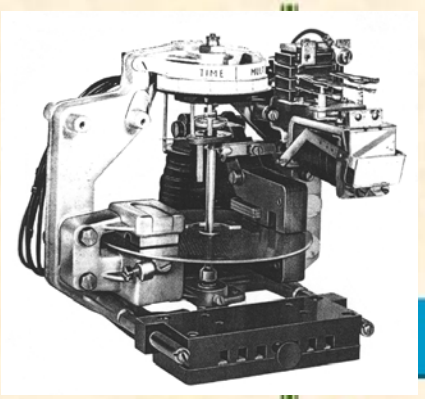
Sobrecorriente y falla a tierra



PROTECTION RELAY

Electromechanical

Static



Attractive force

Rotational torque

Analog Electronic

Digital Electronic

Processor Based

µPs

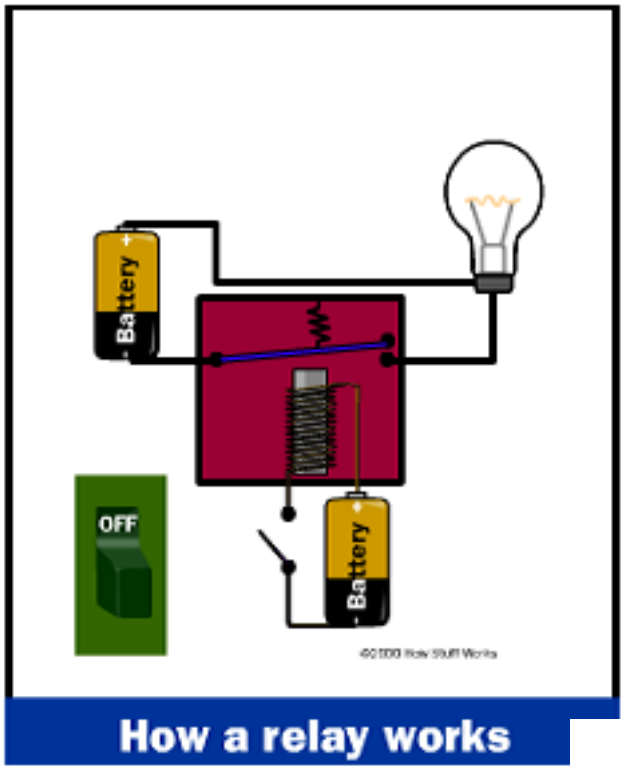
DSPs

hardware

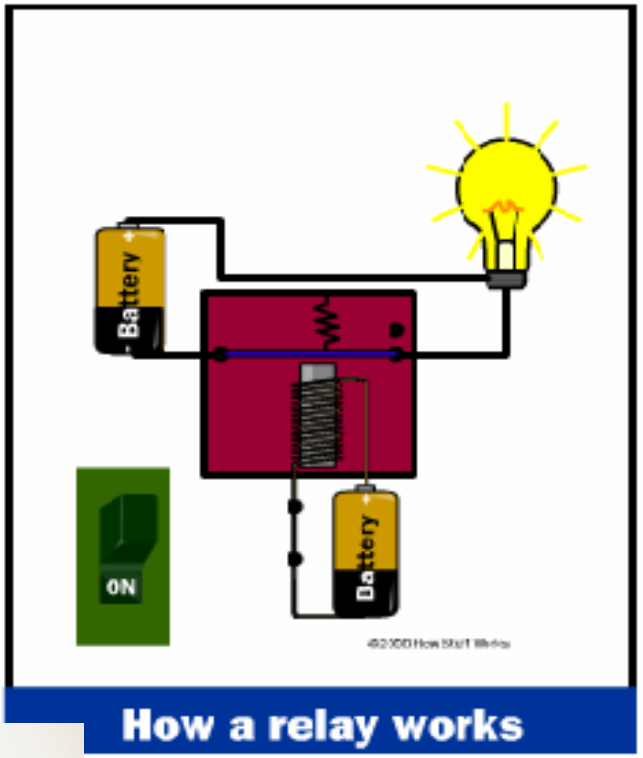
software

¿Qué son los relés?

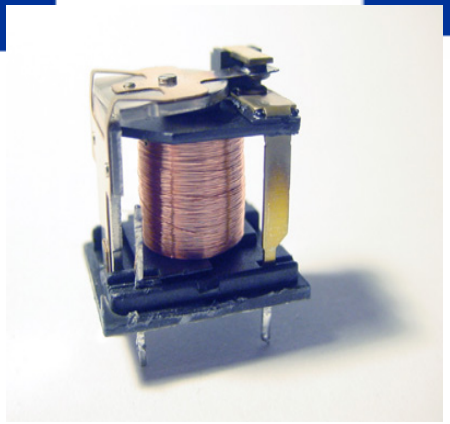
- Los relés son interruptores eléctricos que abren o cierran otro circuito bajo ciertas condiciones.
- **Relés electromagnéticos (EMR)**
  - Los EMR consisten en una bobina de entrada que se enrolla para aceptar una señal de voltaje particular, más un conjunto de uno o más contactos que dependen de una armadura (o palanca) activada por la bobina energizada para abrir o cerrar un circuito eléctrico.
- **Relés de estado sólido (SSR)**
  - Los SSR utilizan una salida de semiconductores en lugar de contactos mecánicos para cambiar el circuito. El dispositivo de salida está acoplado ópticamente a una fuente de luz LED dentro del relé. El relé se enciende energizando este LED, generalmente con alimentación de CC de bajo voltaje.
- **Relés basados en microprocesador**
  - Utilice un microprocesador para el mecanismo de conmutación. Se utiliza comúnmente en la supervisión y protección de sistemas de energía.



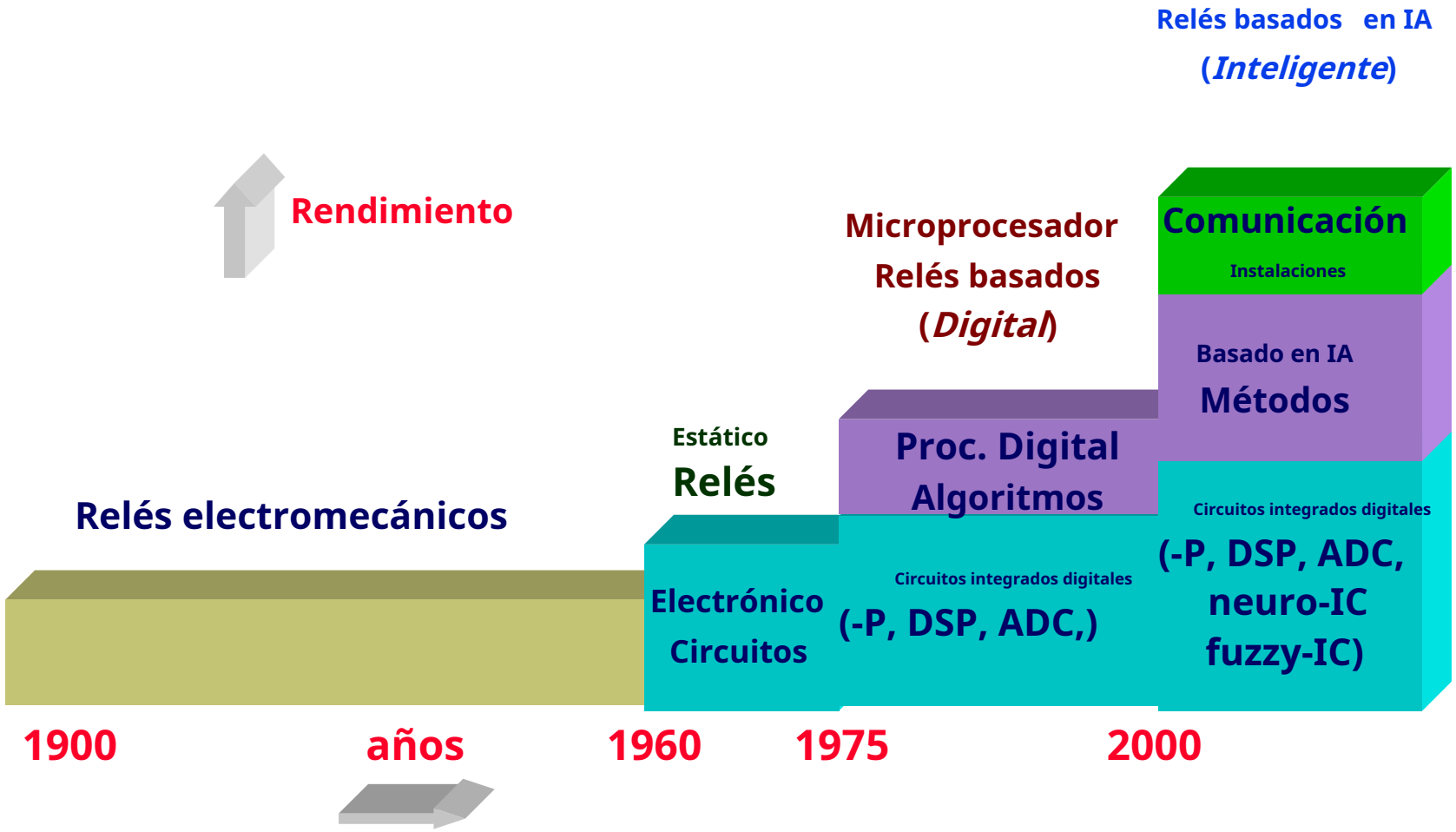
How a relay works



How a relay works

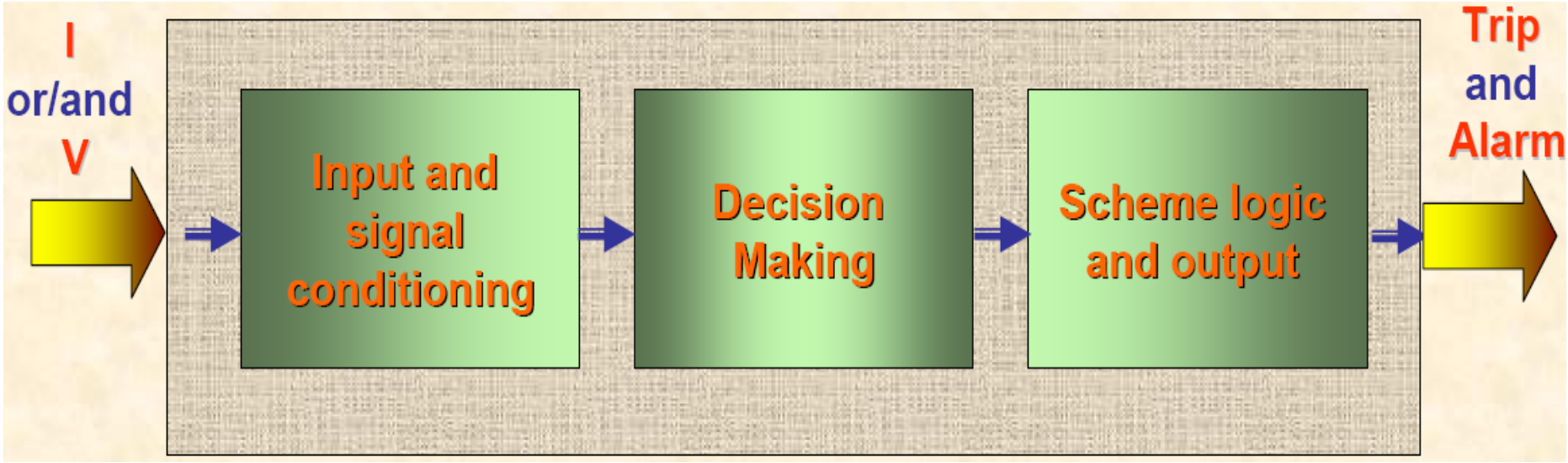


Desarrollo en retransmisiones de sistemas de potencia



Tecnología de relés

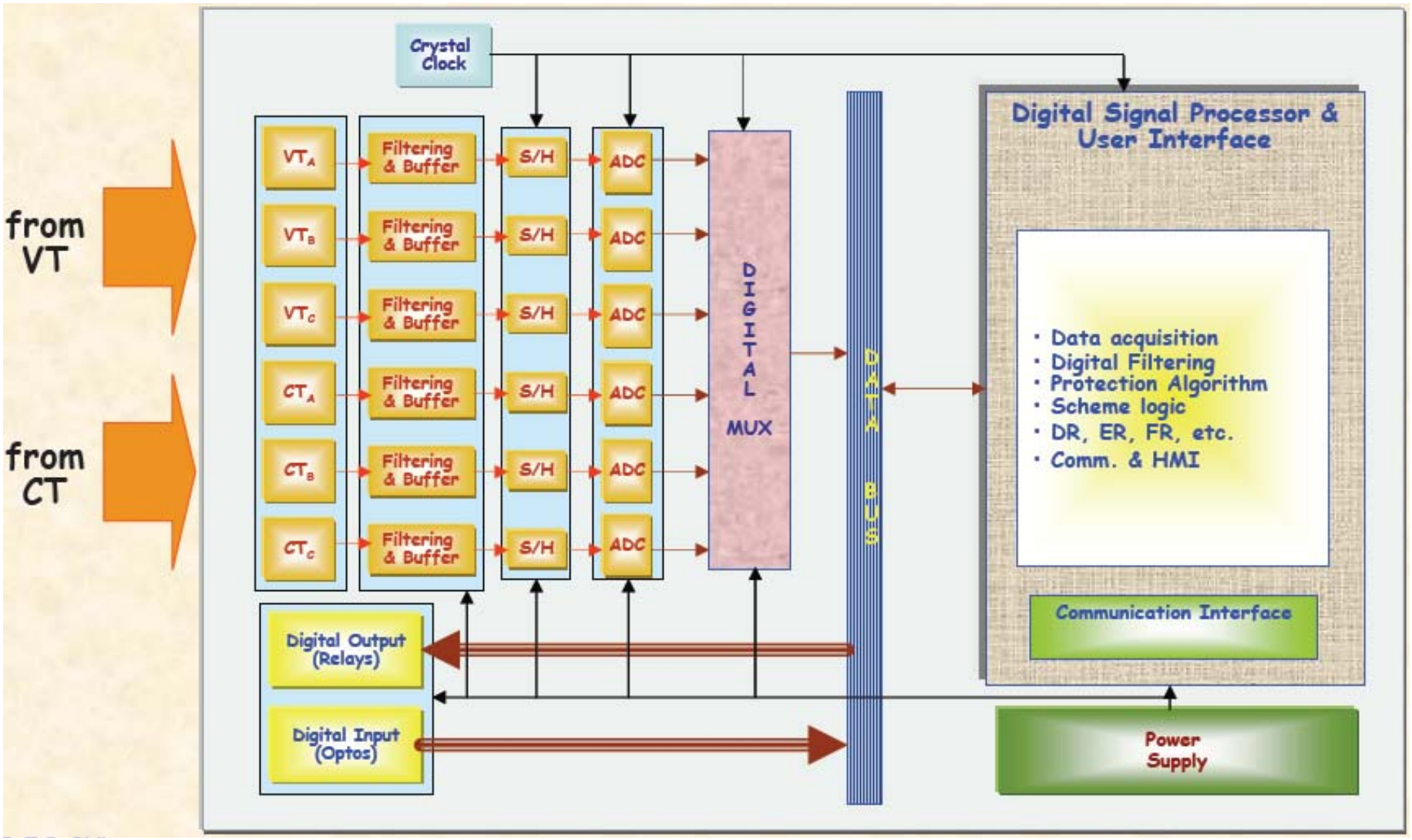
PAG

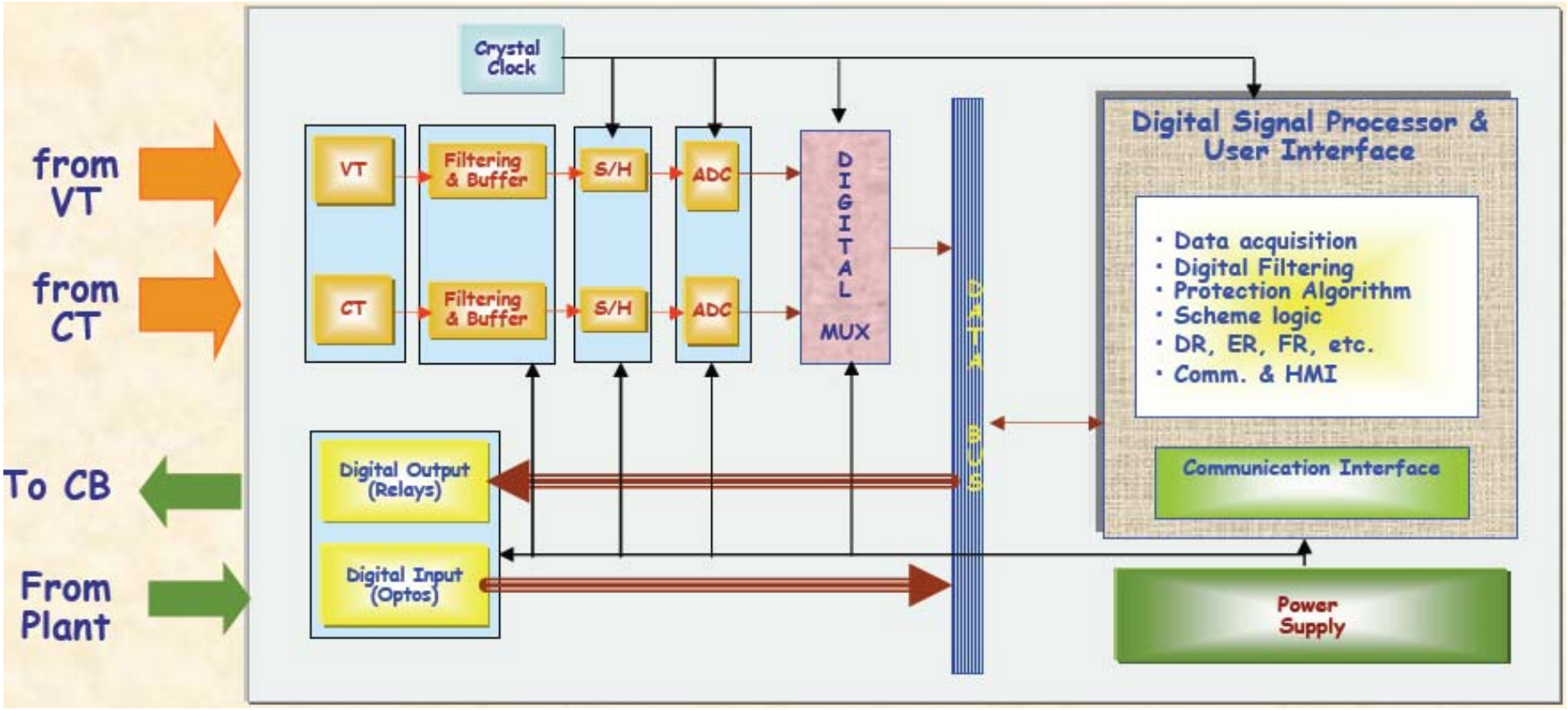


La señal de voltaje y / o corriente se reduce primero a cantidades medibles y se realiza el acondicionamiento necesario.

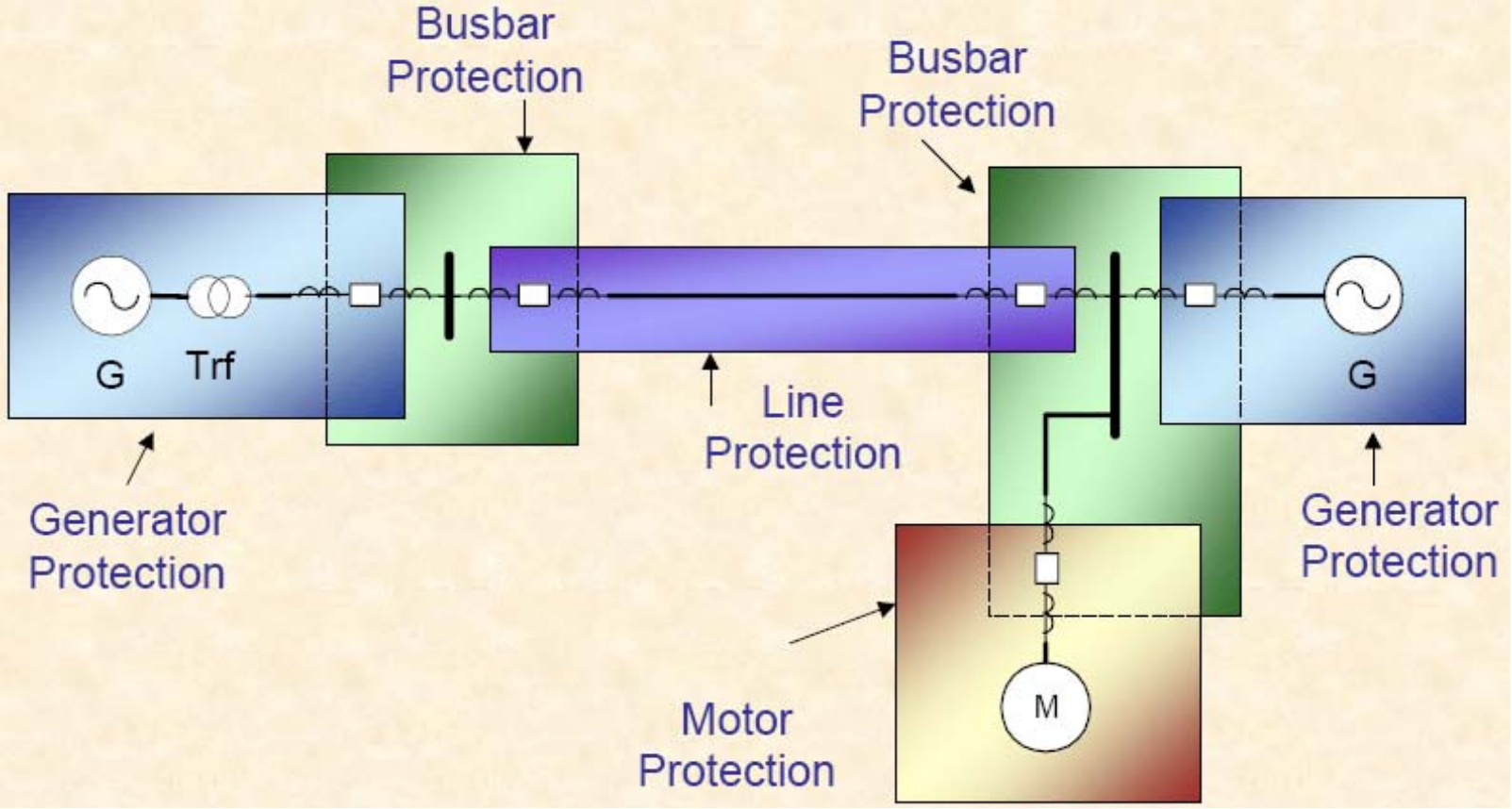
La etapa de toma de decisiones hace la protección real según el valor establecido.

La etapa de salida implementa la lógica necesaria antes de emitir los comandos de disparo y alarma.


Crystal Clock
from VT
from CT
VTA
VTB
VTC
CTA
CTB
CTC
Filtering & Buffer
S/H
ADC
DIGITAL MUX
DATA BUS
Digital Signal Processor & User Interface
· Data acquisition
· Digital Filtering
· Protection Algorithm
· Scheme logic
· DR, ER, FR, etc.
· Comm. & HMI
Communication Interface
Digital Output (Relays)
Digital Input (Optos)
Power Supply

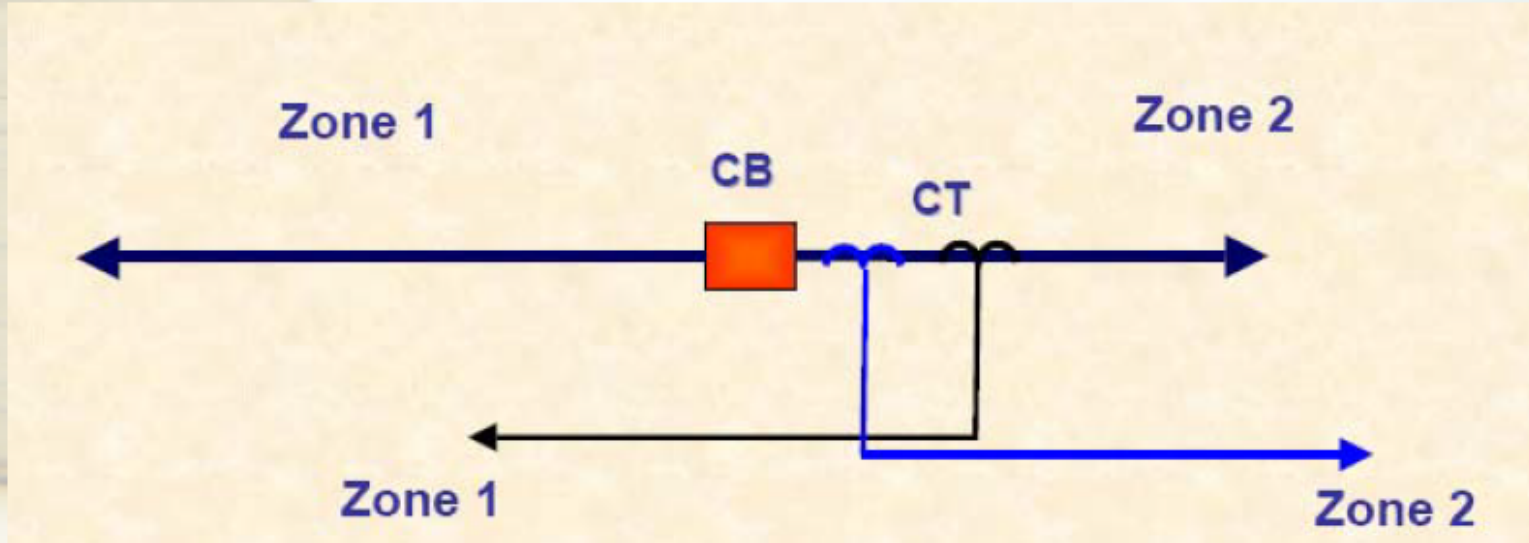

from VT
from CT
To CB
From Plant
Crystal Clock
VT
CT
Filtering & Buffer
Filtering & Buffer
S/H
S/H
ADC
ADC
DIGITAL MUX
Digital Output (Relays)
Digital Input (Optos)
Digital Signal Processor & User Interface
• Data acquisition
• Digital Filtering
• Protection Algorithm
• Scheme logic
• DR, ER, FR, etc.
• Comm. & HMI
Communication Interface
Power Supply

- For fault anyway within the zone, the protection system responsible to isolate everything within the zone from the rest of the system.
- Isolation done by CB
- Must isolate only the faulty equipment or section


Busbar
Protection
Busbar
Protection
G
Trf
G
Line
Protection
Generator
Protection
Generator
Protection
M
Motor
Protection

- Zones are defined for:
  - Generators
  - Transformers
  - Buses
  - Transmission and distribution lines
  - Motors
- Characteristics:
  - Zones are overlapped.
  - Circuit breakers are located in the overlap regions.
  - For a fault anywhere in a zone, all circuit breakers in that zone open to isolate the fault.

- Overlap accomplish by having 2 sets of instrument transformers and relays for each CB.
- Achieved by the arrangement of CT and CB.



A - Fuses

- For LV Systems, Distribution Feeders and Transformers, VT's, Auxiliary Supplies

B - Over current and earth fault

- Widely used in All Power Systems
  - Non-Directional
  - Directional

C - Differential

- For Distribution Feeders, Busbars, Transformers, Generators etc

D - Distance

- For Transmission and Sub-transmission Lines and Distribution Feeders,
- Also used as back-up protection for transformers and generators without signaling with signaling to provide unit protection e.g.:
  - Time-stepped distance protection
  - Phase comparison for transmission lines
  - Directional comparison for transmission lines

E - Miscellaneous:

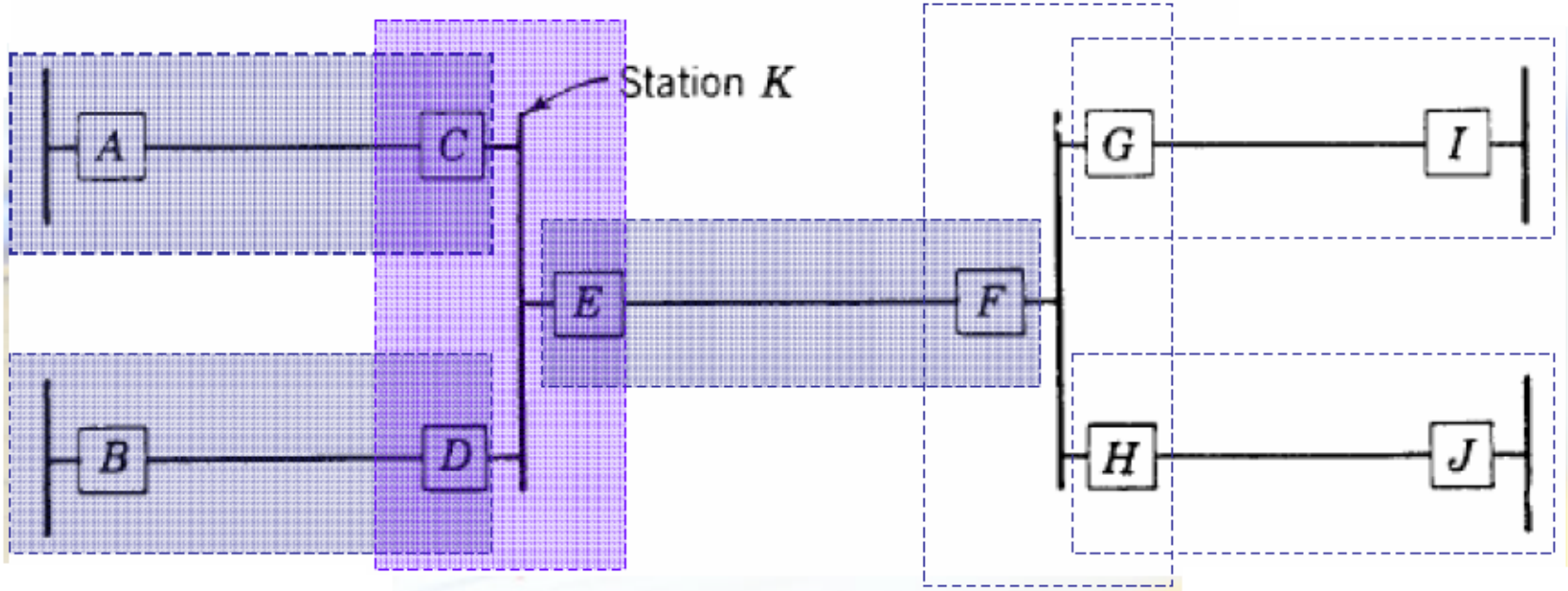
- Under and over voltage
- Under and over frequency
- A special relay for generators, transformers, motors etc.
- Control relays: auto-reclose, tap change control, etc.
- Tripping and auxiliary relays

¿Qué relés se utilizan en qué aplicaciones?

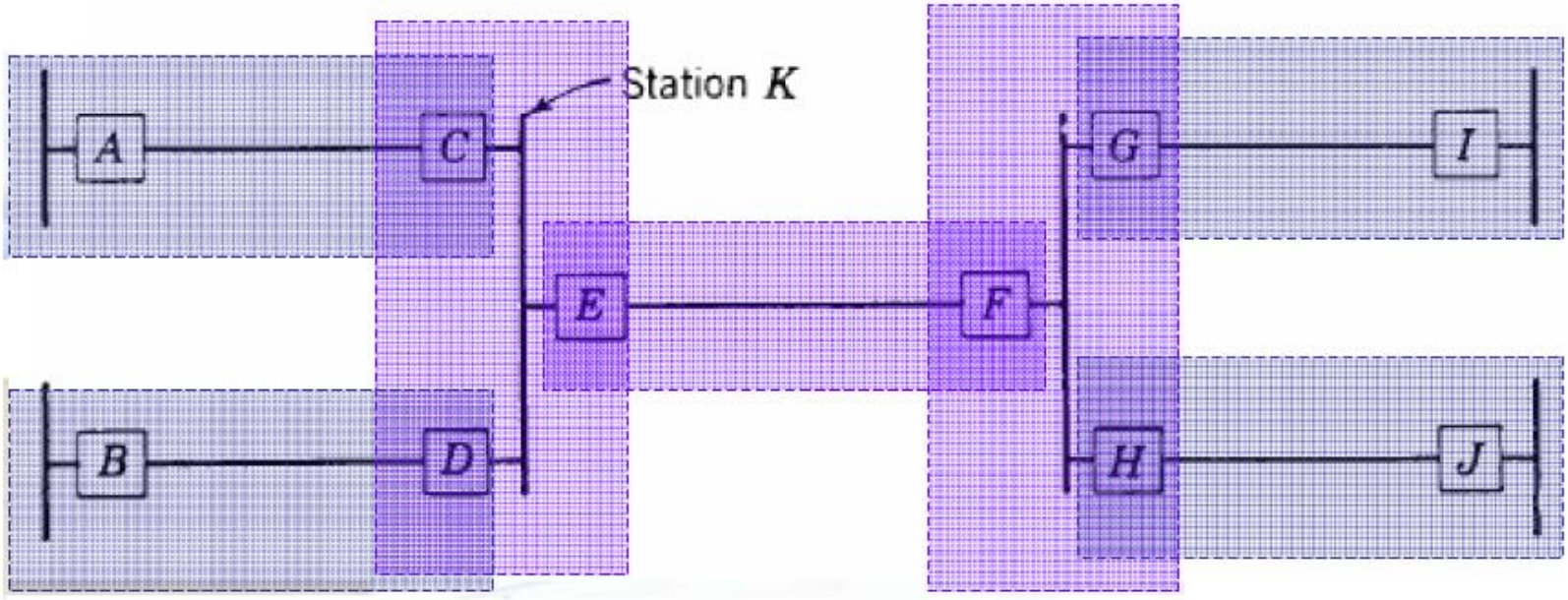
Depende de los importancia de el poder sistema elemento ser protegido.

Tipo de protección	Áreas de aplicación
Fusible	Distribuidor local de BT
Fusible HRC	Alimentador de BT principal, línea de derivación de AT local, lado de AT de la subestación de distribución
Relé de sobrecorriente y falla a tierra	Alimentador de distribución de AT mayor, protección diferencial de respaldo al transformador y protección de impedancia del alimentador en líneas de subtransmisión
Relé de impedancia	Protección primaria en líneas de transmisión y subtransmisión
Relé diferencial	Protección primaria en gran distribución y todos los transformadores de nivel de transmisión y subtransmisión; grandes generadores
Relé de sobrecarga térmica	Transformadores de nivel de transmisión y subtransmisión, motores grandes, grandes generadores
Relé de oleada de aceite	Transformadores de nivel de transmisión y subtransmisión
Relé por debajo y por encima de los voltios	Grandes motores, grandes generadores
Relé de baja y alta frecuencia	Grandes generadores
Relé de secuencia negativa	Grandes generadores
Relé de pérdida de excitación	Grandes generadores

- Primary protection is the protection provided by each zone to its elements.
- However, some component of a zone protection scheme fail to operate.
- Back-up protection is provided which take over only in the event of primary protection failure.



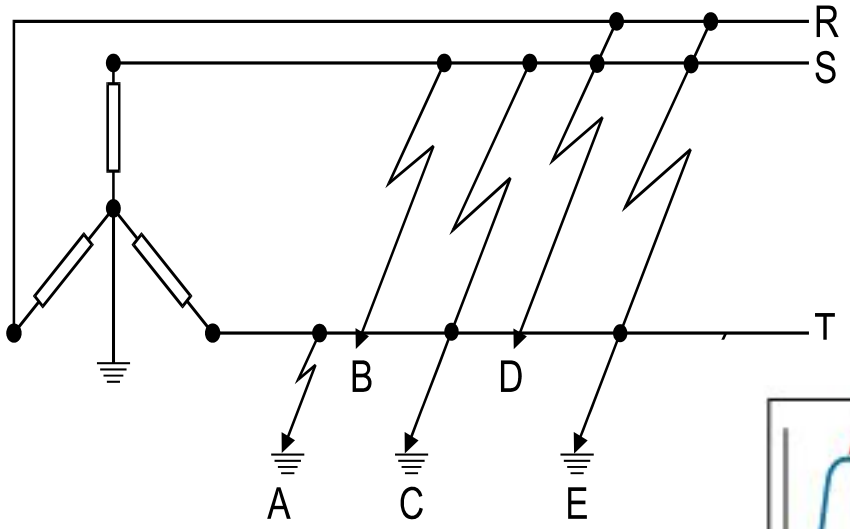
Fault	Primary	Back-up
K	C, D, E	A, B, F

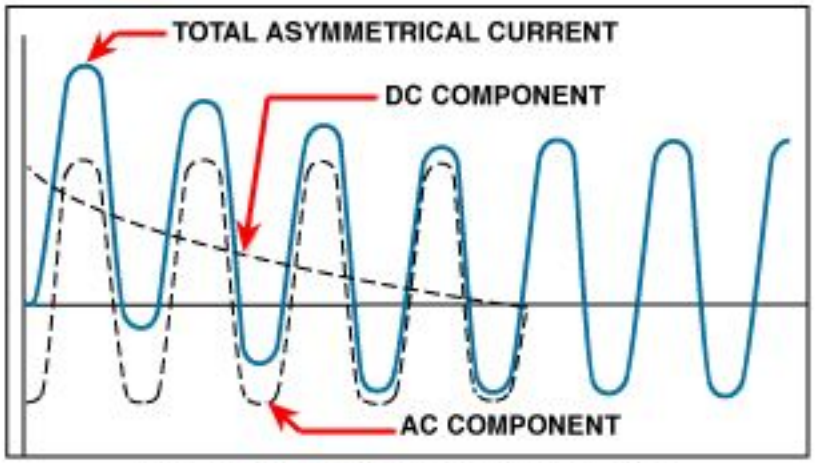


Fault	Primary	Back-up
Line E, F	C, D, E, F, G, H	A, B, I, J

Tema 1.2

Tipos de fallas y cálculos





SHORT CIRCUIT CURRENT COMPONENTS

Definición

- La norma IEC 60038 define las clasificaciones de voltaje de la siguiente manera:

- ***Baja tensión (LV):*** 100 V y 1000 V, los valores nominales estándar son: 400 V - 690 V - 1000 V (a 50 Hz).
- ***Media tensión (MV):*** entre 1000 V y 35 kV, los valores nominales estándar son: 3,3 kV - 6,6 kV - 11 kV - 22 kV - 33 kV.
- ***Alto voltaje (HV):*** entre 35 kV y 230 kV, los valores nominales estándar son: 45 kV - 66 kV - 110 kV - 132 kV - 150 kV - 220 kV.

En este tema veremos:

- tipos de subestaciones de consumo de AT y MT;
- estructura de redes de MT dentro de un sitio;

Sistemas de distribución simples

- **Radial**

- **Ventajas**

Simple (costo de capital más bajo)

Fácil y sencillo de proteger

- **Desventajas**

Poca seguridad de suministro para el cliente: una sola falla provocará la pérdida de suministro

Sistemas de distribución simples

- **Paralelo**

  - **Ventajas**

    Mejor disponibilidad de energía para el cliente

  - **Desventajas**

    Más caro

    Aumento de las corrientes de falla

Sistemas de distribución simples

- **Anillo principal**

  - **Ventajas**

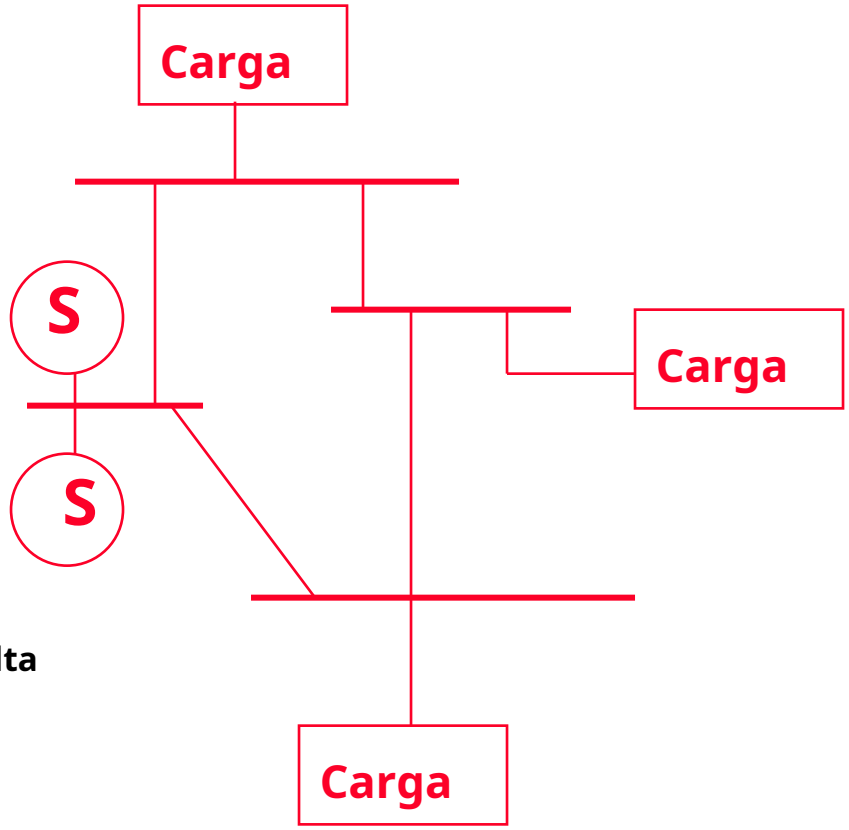
    -Mantiene la continuidad incluso si falla una fuente.

    -Ahorro en Cobre en comparación con el tipo paralelo.

  - **Desventajas**

    -Impedancia más baja y corriente de falla más alta como en la alimentación desde dos puntos

    -Requiere mejor discriminación durante fallas debido a caminos alternos

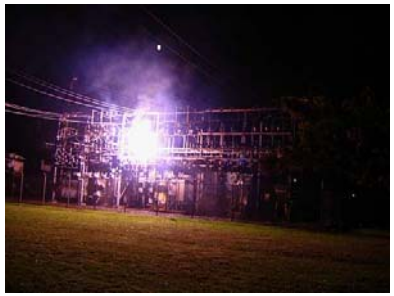


¿Qué es una falla del sistema de energía?

- Una falla del sistema de energía es la ruptura del aislamiento (entre conductos a Conductor de fase y exceso de ults en flujo de corriente a tierra.

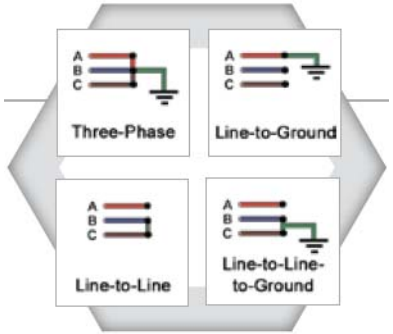
Posibles fallas

- Fallos de cable
- Fallos del transformador
- Fallos de barra colectora

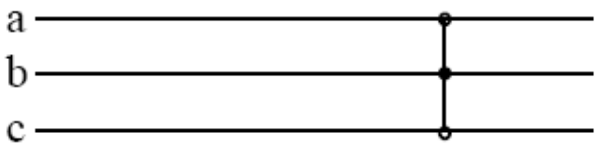


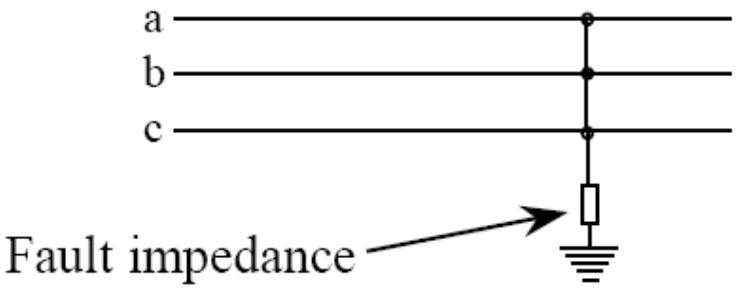
Tipos de fallas

- **Fallos equilibrados (fallos simétricos)**



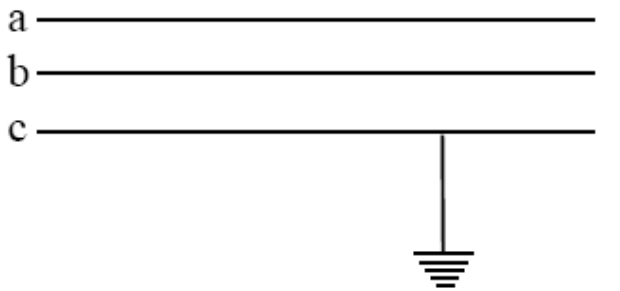
- **3-**

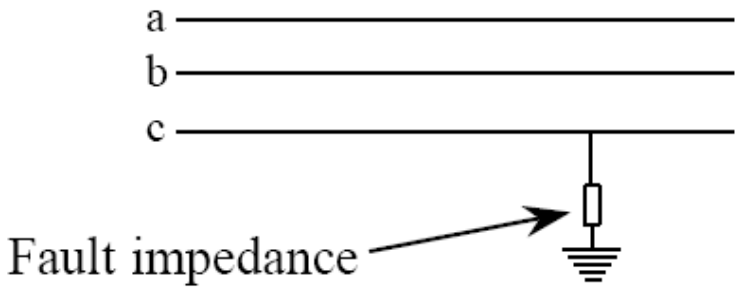


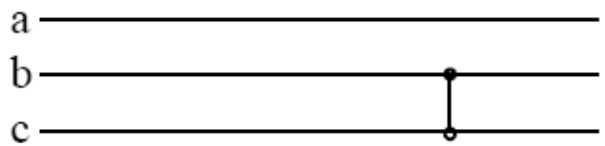


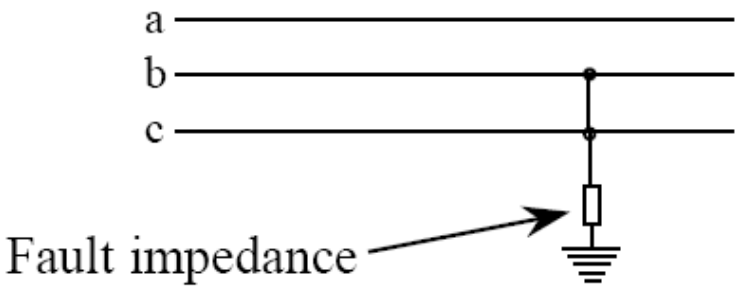
Tipos de fallas

- **Fallos desequilibrados (fallos asimétricos)**
  - **Monofásico (Fase-Tierra) - (70%)**
  - **Bifásico a tierra (Fase-Fase-Tierra) - (15%)**
  - **Tw**





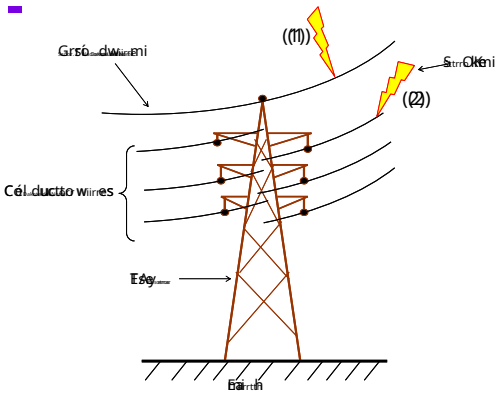


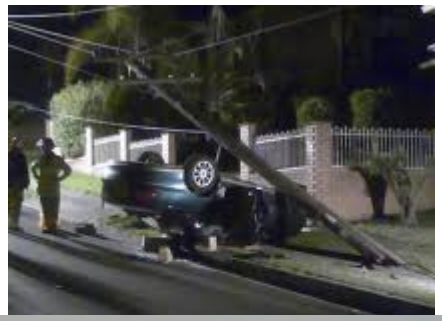


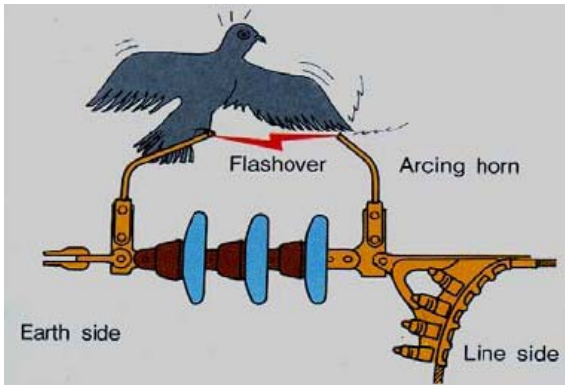
Causas de fallas en el sistema de energía

-Las causas más habituales de averías en OHL son: -

- **Relámpago**
- **Aisladores contaminados**
- **Aisladores perforados o rotos**
- **Aves y animales**
- **Coches golpeando líneas y**
- **I ng**
- **W**





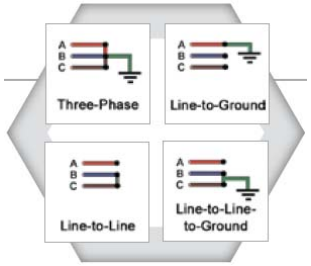


Causas de fallas en el sistema de energía

-En máquinas eléctricas, cables y transformadores, las averías son provocadas por:

- Fallo del aislamiento debido a la humedad.
- Daños mecanicos
- Flashover causado por sobretensión

Cálculo simple de
Corrientes de cortocircuito



- Métodos de cálculo

  - Método óhmico: donde todas las impedancias se expresan en ohmios.

  - Método por unidad: similar al método de% de impedancia eliminando el factor de%

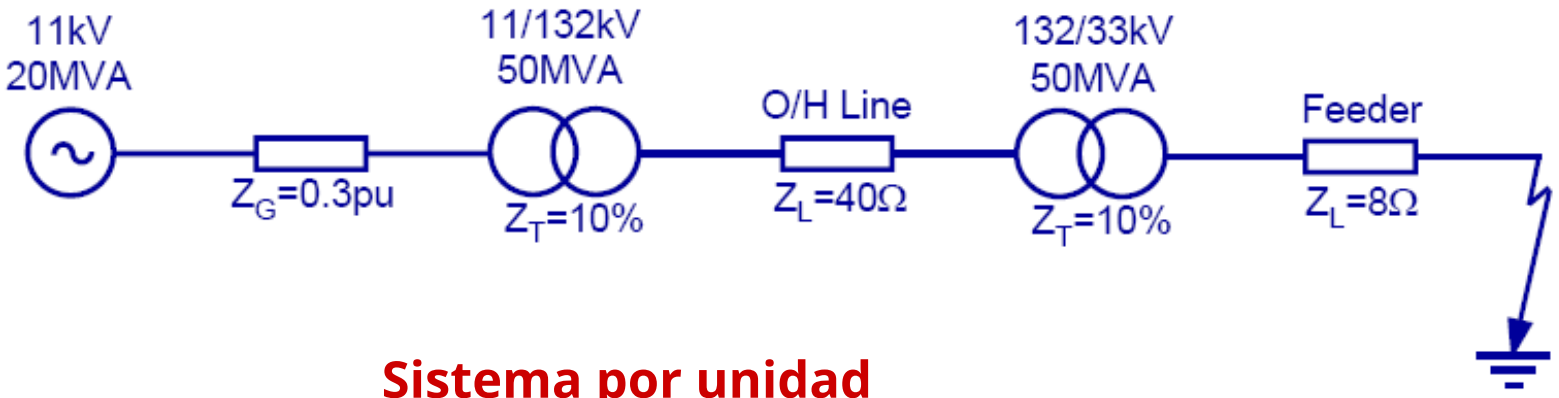
Estandarizado $I_{Carolina\ del\ Sur}$ calculos

El método de impedancia clásico

- Se utiliza para calcular corrientes de falla en cualquier punto de una red con un alto grado de precisión.
- El método de impedancia, reservado principalmente para redes BT.
- Este método implica sumar las diversas resistencias y reactancias del bucle de falla por separado, desde la fuente hasta el punto dado, y luego calcular la impedancia correspondiente.
- los $I_{Carolina\ del\ Sur}$ El valor se obtiene aplicando la ley de Ohm:

$$I_{Carolina\ del\ Sur} = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3} \cdot Z}$$

Diferentes voltajes

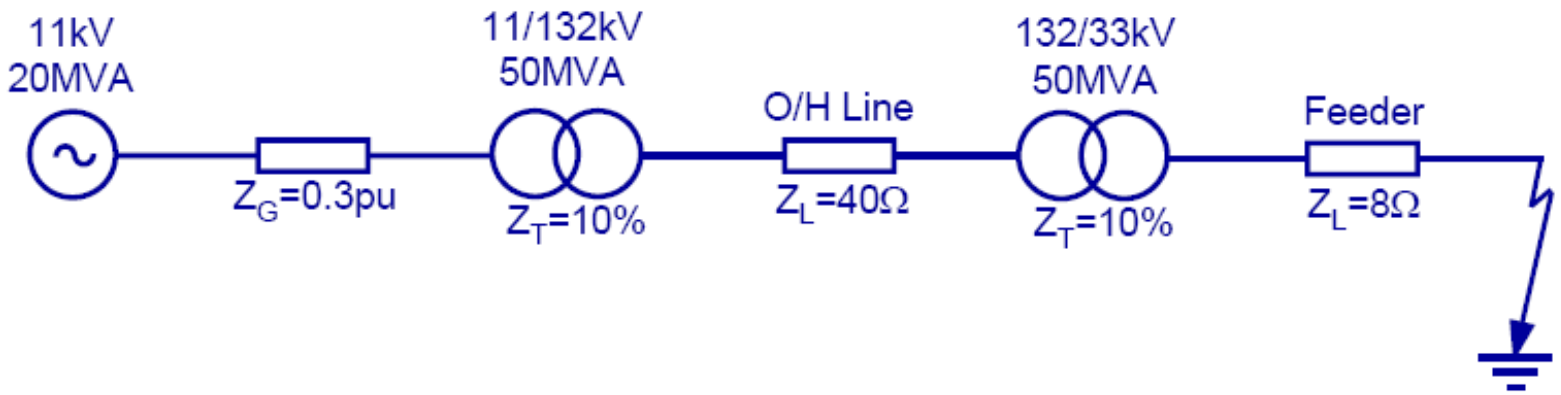


Sistema por unidad

- **Se utiliza para simplificar los cálculos en sistemas con más de 2 voltajes.**

Definición:

Valor unitario de una cantidad = $\frac{\text{Valor actual}}{\text{Valor base de las mismas unidades}}$



- **Particularmente útil cuando se analizan sistemas grandes con varios niveles de voltaje.**
- **Todos los parámetros del sistema se refieren a cantidades base comunes**
- **Cantidades base fijadas en una parte del sistema**
- **Las cantidades base en otras partes a diferentes niveles de voltaje dependen de la relación de los transformadores que intervienen**

Cantidades base y valores unitarios

Cantidades base normalmente utilizadas: -

- **MVA base**

  $MVA_{BASE} = MVA_B = MVA_{3F}$

- **Constante en todos los niveles de voltaje**
- **Valor ~ Clasificación de MVA del elemento más grande de la planta o 100 MVA**

- **VOLTAJE BASE**

  $kVA_{BASE} = kV_B$ = LL Voltaje en kV

- **Fijo en una parte del sistema**
- **Este valor se refiere a través de transformadores para obtener voltajes base en otras partes del sistema.**
- **Los voltajes base en cada lado del transformador están en la misma relación que la relación de voltaje.**

Cantidades base y valores unitarios

Otras cantidades base: -

Impedancia BASE = $Z_B = \frac{kV_B^2}{MVA_B}$ **en ohmios**

Corriente BASE = $I_B = \frac{MVA_B}{\sqrt{3} \cdot kV_B}$ **en kA**

Cantidades base y valores unitarios

Valor por unidad - $\dfrac{\text{Valor actual}}{\text{Valor base de las mismas unidades}}$

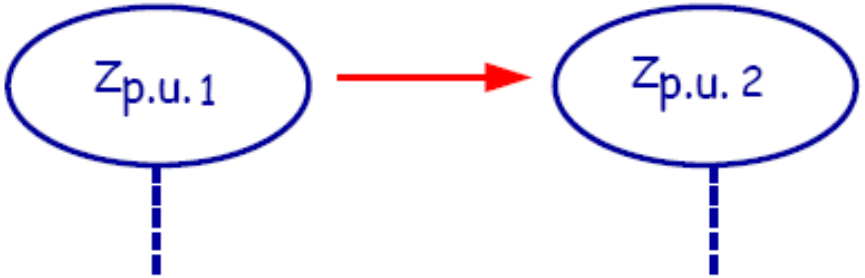
$$\text{Per Unit MVA} = \text{MVA}_{\text{p.u.}} = \frac{\text{MVA}_a}{\text{MVA}_b}$$

$$\text{Per Unit Voltage} = \text{kV}_{\text{p.u.}} = \frac{\text{KV}_a}{\text{KV}_b}$$

$$\text{Per Unit Impedance} = Z_{\text{p.u.}} = \frac{Z_a}{Z_b} = Z_a \cdot \frac{\text{MVA}_b}{(\text{kV}_b)^2}$$

$$\text{Per Unit Current} = I_{\text{p.u.}} = \frac{I_a}{I_b}$$

Conversión de valores por unidad de un conjunto de



Z_{b1}
MVA_{b1}
kV_{b1}

Z_{b2}
MVA_{b2}
kV_{b2}

Actual $Z = Z_a$

$$Z_{p.u.1} = \frac{Z_a}{Z_{b1}}$$

$$Z_{p.u.2} = \frac{Z_a}{Z_{b2}} = Z_{p.u.1} \times \frac{Z_{b1}}{Z_{b2}}$$

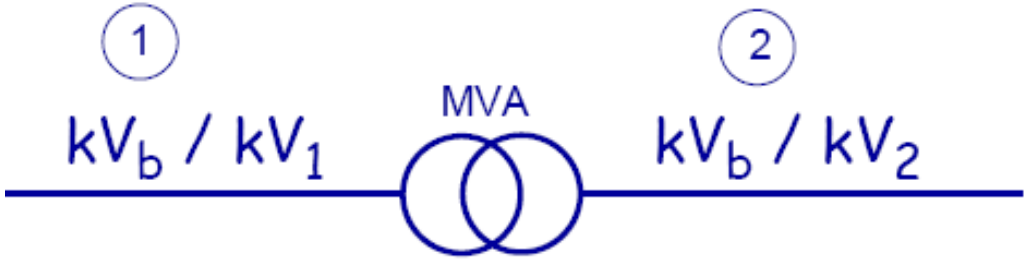
$$= Z_{p.u.1} \times \frac{(kV_{b1})^2}{MVA_{b1}} \times \frac{MVA_{b2}}{(kV_{b2})^2}$$

$$= Z_{p.u.1} \times \frac{MVA_{b2}}{MVA_{b1}} \times \frac{(kV_{b1})^2}{(kV_{b2})^2}$$

Impedancia porcentual del transformador

La impedancia por unidad del transformador es la misma en cada lado del transformador.

Considere trans



Impedancia real del transformador visto desde el lado 1 = Z_{a1}

Impedancia real del transformador visto desde el lado 2 = Z_{a2}

Transfo

$$Z_{p.u.1} = \frac{Z_{a1}}{Z_{b1}} = Z_{a1} \times \frac{MVA}{kV_1^2}$$

$$Z_{p.u.2} = \frac{Z_{a2}}{Z_{b2}} = Z_{a2} \times \frac{MVA}{kV_2^2}$$

but $$Z_{a2} = Z_{a1} \times \frac{kV_2^2}{kV_1^2}$$

$$\therefore \quad Z_{p.u.2} = Z_{a1} \times \frac{kV_2^2}{kV_1^2} \times \frac{MVA}{kV_2^2}$$

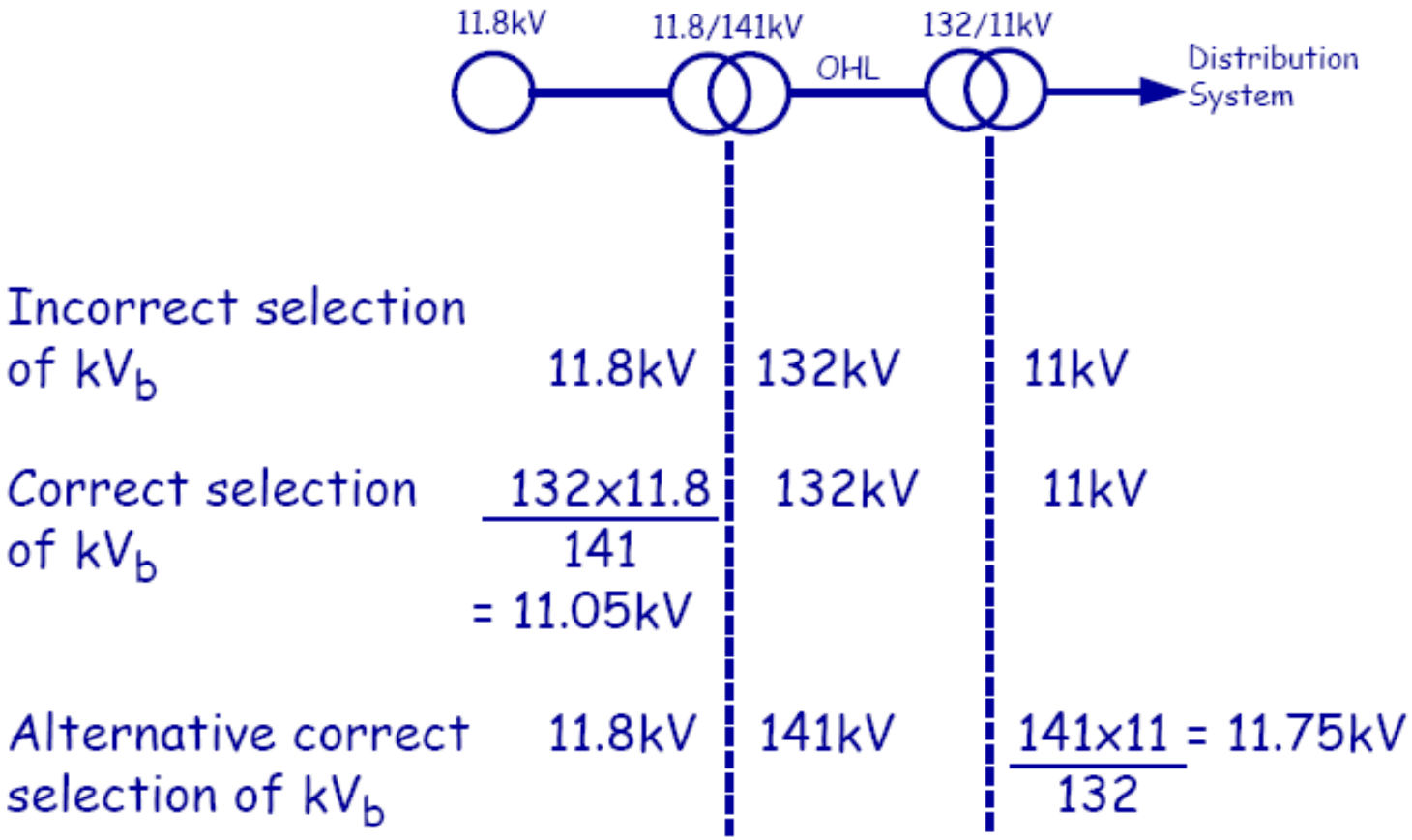
$$= Z_{a1} \times \frac{MVA}{kV_1^2}$$

$$= Z_{p.u.1}$$

Transformador - Selección de voltaje base

Base vo

mismo r



Procedimiento para calcular la corriente máxima de falla

1. **Dibuja un diagrama unifilar del sistema eléctrico.**
2. **Recopile datos de impedancia detallados para todos los componentes del sistema de energía. es decir *Resistencia R* y *Reactancia X***
3. **Aunque la corriente de falla se puede calcular usando el *Óhmico* método, suele ser más sencillo utilizar el *Método por unidad* donde todas las impedancias se refieren a un común elegido arbitrariamente *BASE MVA.***
4. **Convierta todas las distintas impedancias a *por unidad* valores con un MVA base común.**
5. **Encuentra el total *Resistencia R*, y *Reactancia X*, desde la fuente hasta la falla.**
6. **Calcule la impedancia total:**

$$Z - R\sqrt{}_2 - X_2$$

Fallos trifásicos equilibrados

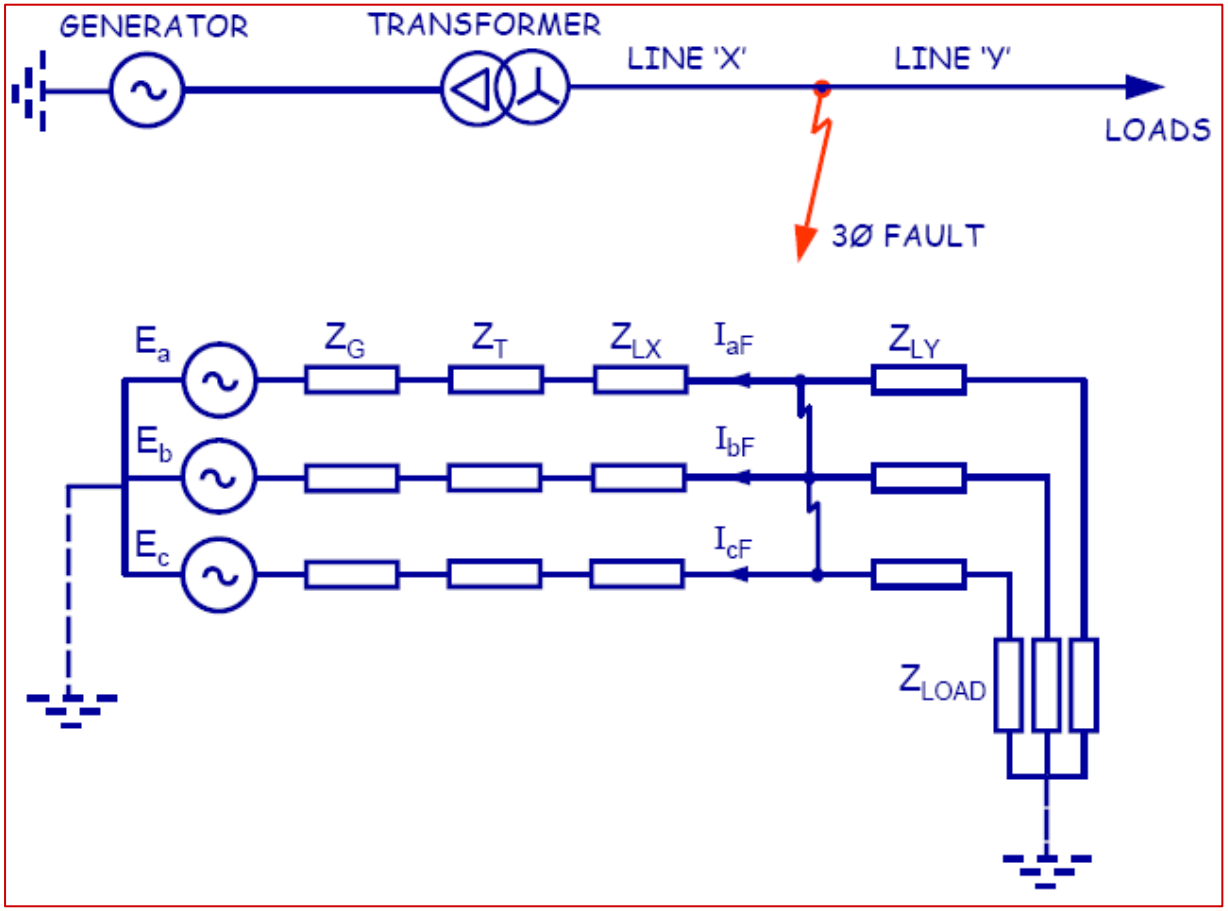
- **RARO**: - **La mayoría de las fallas están desequilibradas**

- **CAUSAS: -**
  - **Activación del sistema con pinzas de puesta a tierra de mantenimiento aún conectadas.**
  - **Fallos monofásicos que se convierten en fallos trifásicos**

- **Las fallas trifásicas pueden estar representadas por un circuito monofásico**

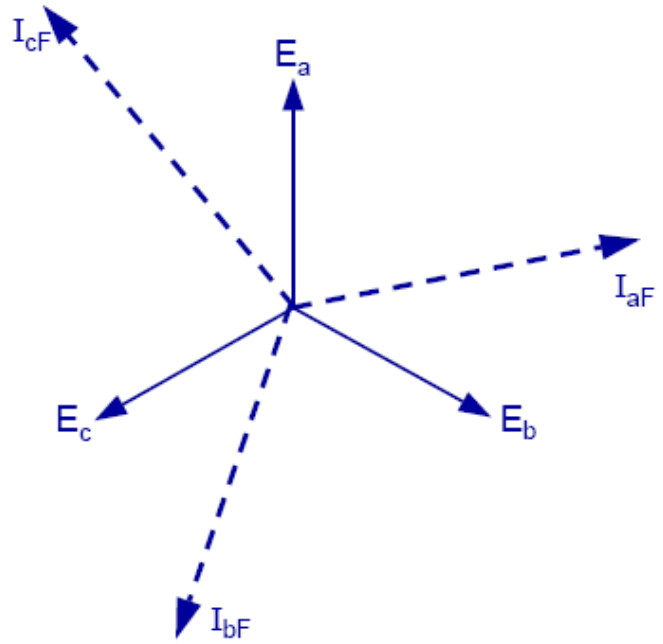
Análisis de fallas del sistema de energía

Equilibrado

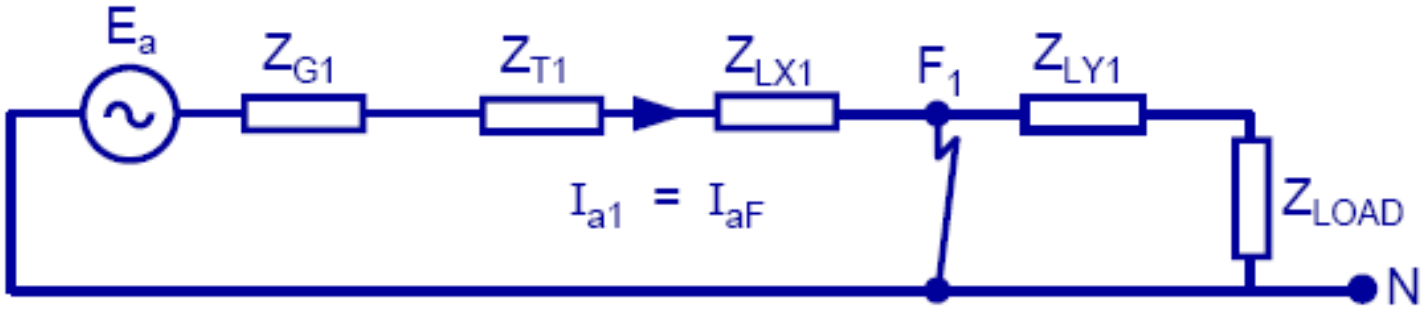


Fallo del sistema de energía

Fallos trifásicos equilibrados



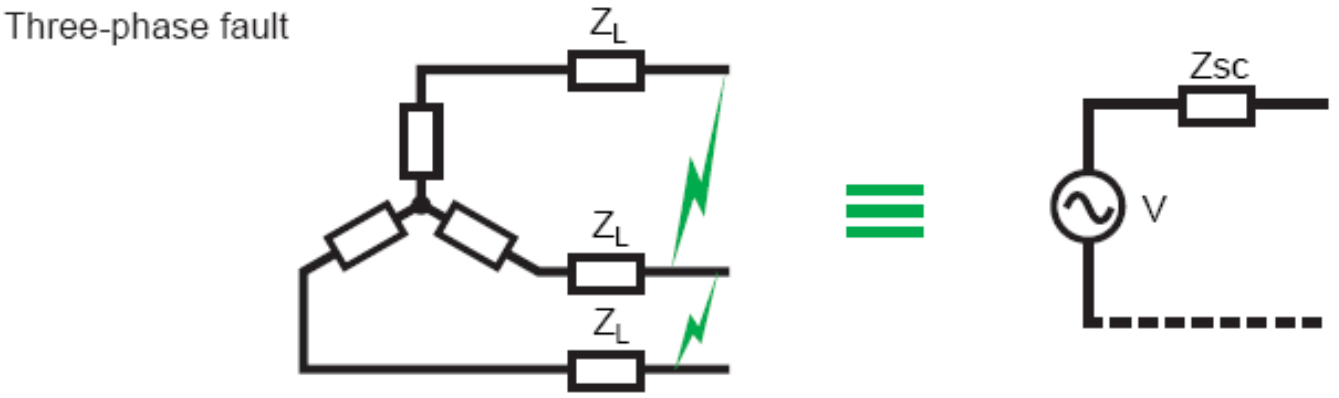
Positivo



Procedimiento para calcular la corriente máxima de falla

Usando el método clásico

7. **Calc**



$$I_{sc\text{-}3ph} - \frac{V_{ph}}{Z_{\text{Carolina del Sur}}}$$

Procedimiento para calcular la corriente máxima de falla

Usando el método clásico

Calc

Phase-to-phase fault

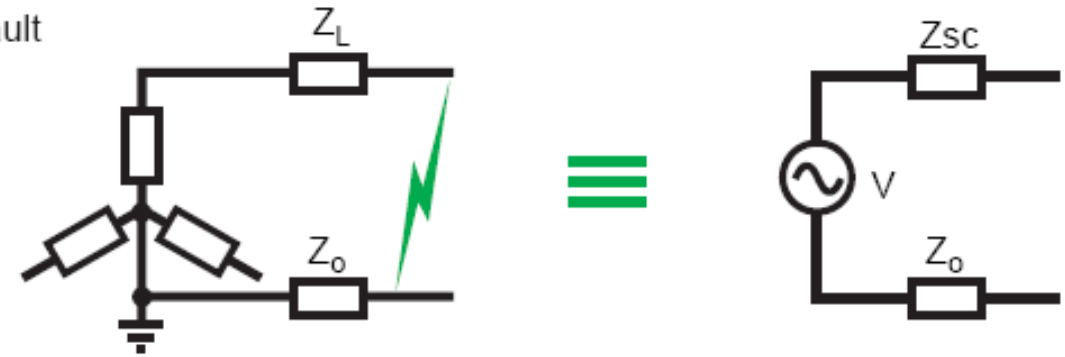
$$I_{sc\text{-}2ph} - \frac{V_{ph\text{-}ph}}{2Z_{\text{Carolina del Sur}}} - \frac{\sqrt{3}}{2} I_{sc\text{-}3ph} - 0.866 I_{sc\text{-}3ph}$$

Procedimiento para calcular la corriente máxima de falla

Usando el método clásico

C

Phase-to-earth fault



$$I_{sco} - \frac{V_{ph}}{Z_{Carolina\ del\ Sur} - Z_o}$$

Calcule la CORRIENTE DE FALLA DE FASE A NEUTRO:

Phase-to-neutral fault

$$I_{sc1\text{-}ph} - \frac{V_{ph}}{Z_{Carolina\ del\ Sur} - Z_{LN}}$$

Procedimiento para calcular la corriente máxima de falla

Usando el método clásico

Cuando se usa el MÉTODO POR UNIDAD para calcular los niveles de falla, se usan las siguientes fórmulas para convertir todas las impedancias a valores por unidad.

FUENTEP.U. IMPEDANCIA $= \frac{\text{BaseMVA}}{\text{FUENTES.C.MVA}} - \frac{V_s^2}{MVA_{\text{CAROLINA DEL SUR}}}$

TRANSFORMADOR DE IMPEDANCIA$_{PU}$ $= \frac{Z\%}{100} - \frac{\text{BaseMVA}}{\text{TRANSFORMADOR MVA}}$

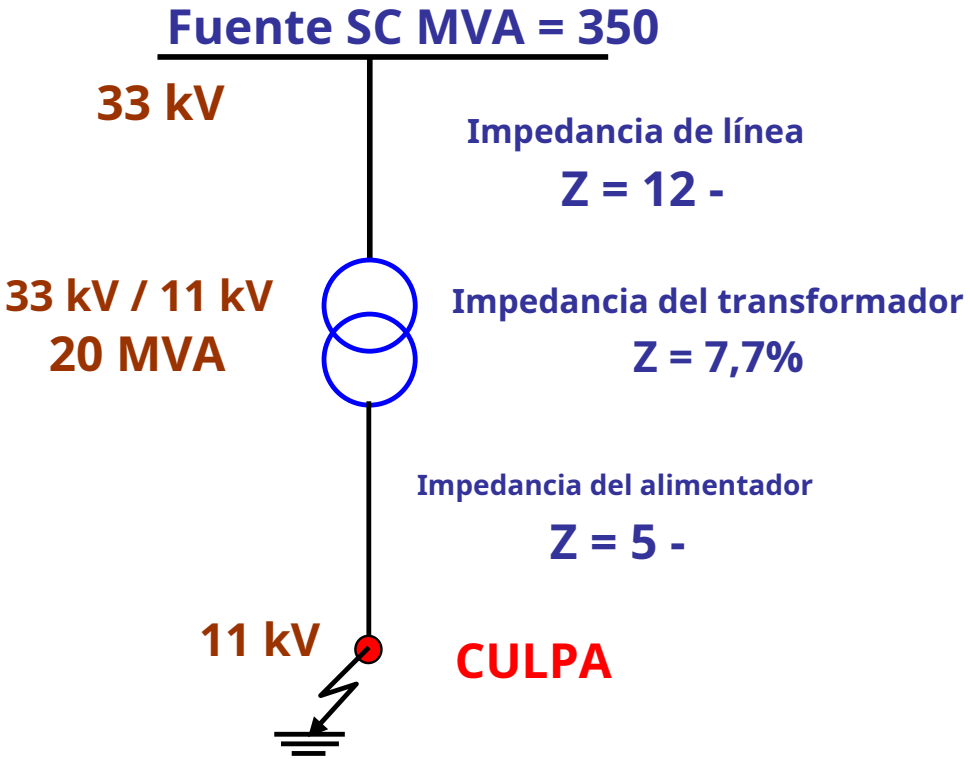
FEEDERP.U. IMPEDANCIA $= {}_{PU}$ $\frac{Z_{OHMIOS}}{Z_{Base}} = \frac{Z_{OHMIOS}}{\frac{kV^2_{Base}}{\text{BaseMVA}}} = Z_{OHMIOS} - \frac{\text{BaseMVA}}{kV^2_{Base}}$

3- FaseS.C.MVA en FALLO- $= \frac{1}{TOTAL_{PU}} - \text{BaseMVA}$

RMSSYMM.SCCURRENT en FALLO- $= \frac{1}{Z_{PU}} - \frac{\text{BaseMVA}}{\sqrt{3}\ kV}$

$= \frac{\text{SC MVA}}{\sqrt{3}\ kV}$

Ejemplo de corriente de falla máxima



Base. MVA = 100

Suponga ALTO *X*/*R* las resistencias son ignoradas

I_{sym}= 889,6 A

Ejemplo de corriente de falla máxima

FUENTE PU Z - $\frac{100\ \text{MVA}}{350.\ \text{MVA}}$ - 0,286 pu

33 kV Línea Z_{PU} - $\frac{12\text{-}100\ \text{MVA}}{(33\ \text{kV})_2}$ -1.1pu

TRANSFORMADOR DE IMPEDANCIA Z_{PU} - $\frac{7{,}7\%}{100} - \frac{100\ \text{MVA}}{20\ \text{MVA}}$ - 0.385 pu

ALIMENTADOR 11kV PU Z - 5- $\frac{100\ \text{MVA}}{(11\text{kV})_2}$ - 4,13 pu

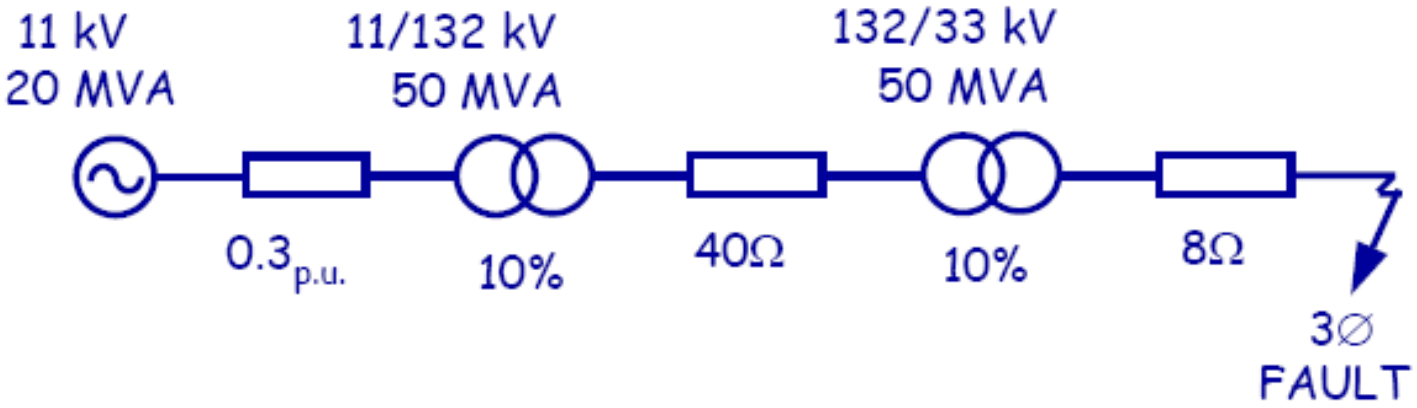
Impedancia total desde la fuente hasta la FALLA - - 5,90 pu

Trifásico SC MVA en FALLO - $\frac{100\ \text{MVA}}{5{,}90\ \text{pu}}$ -16,95 MVA

CORRIENTE RMSSYMM.SC en FALLO - $\frac{16{,}95\ \text{MVA}}{\sqrt{3}\text{-}11\text{kV}}$ - 889,6 A

Ejemplo

Calcule las corrientes de falla en el sistema de 11kV, 132kV y 33kV

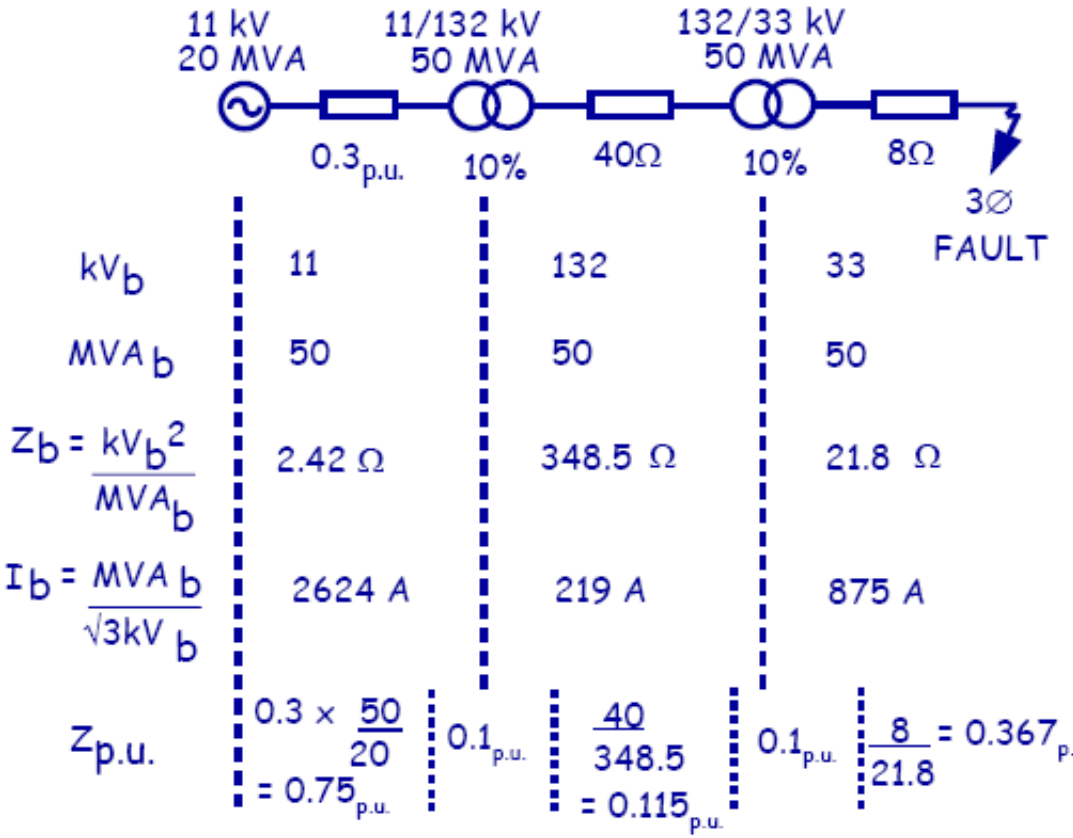


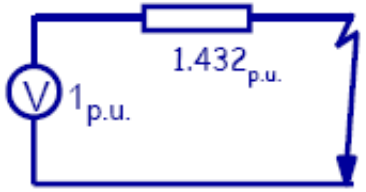
I_{sym}= 611 A

Ejemplo

California

thr



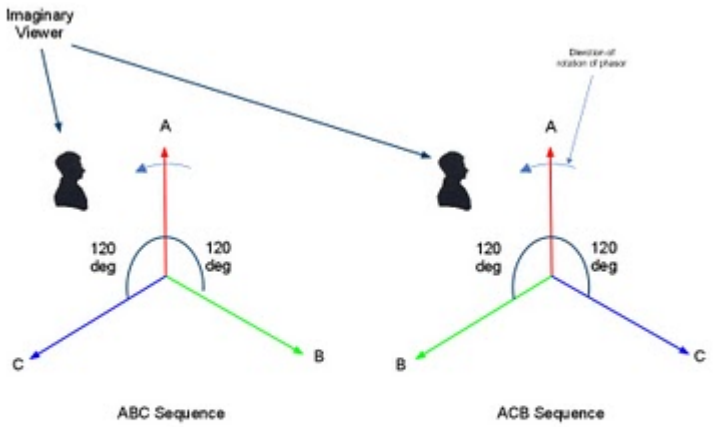


$$I_F = \frac{1}{1.432} = 0.698 \text{p.u.}$$

$I_{11\,kV} = 0.698 \times I_b$
$= 0.698 \times 2624 = 1832A$
$I_{132\,kV} = 0.698 \times 219 = 153A$
$I_{33\,kV} = 0.698 \times 875 = 611A$

3 fases

$$V_A = V_{A1} + V_{A2} + V_{A0}$$
$$V_B = V_{B1} + V_{B2} + V_{B0}$$
$$V_C = V_{C1} + V_{C2} + V_{C0}$$



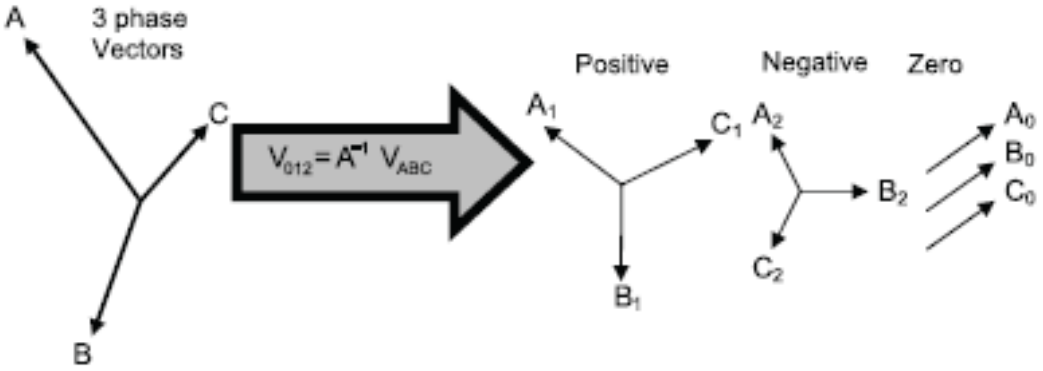
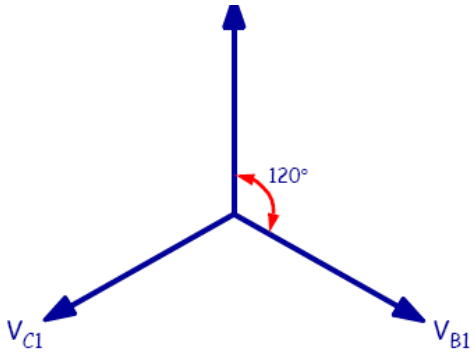


Fig A: ABC and ACB phase sequence, Anti clock wise Rotation

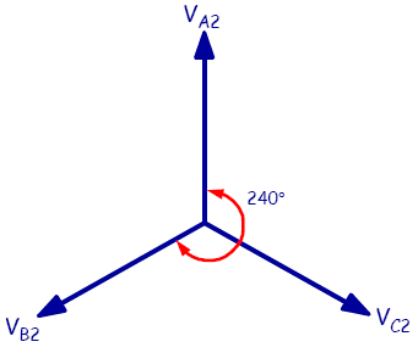
Simétrico

Componente

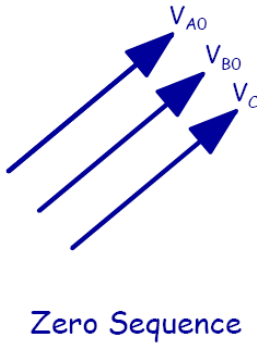
Conversión



Positive Sequence



Negative Sequence

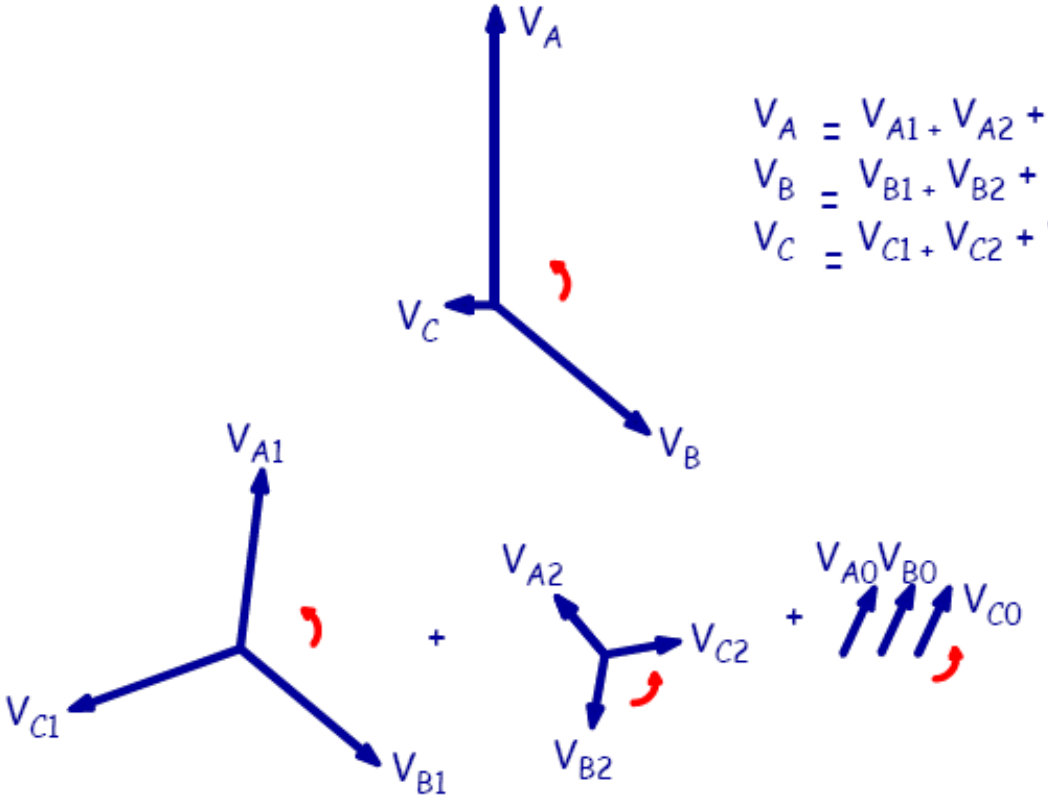


Zero Sequence

Componentes simétricos

Fase ≡ Posi

$a = 1\text{-}120^{o}$



$$V_A = V_{A1} + V_{A2} + V_{A0}$$
$$V_B = V_{B1} + V_{B2} + V_{B0}$$
$$V_C = V_{C1} + V_{C2} + V_{C0}$$

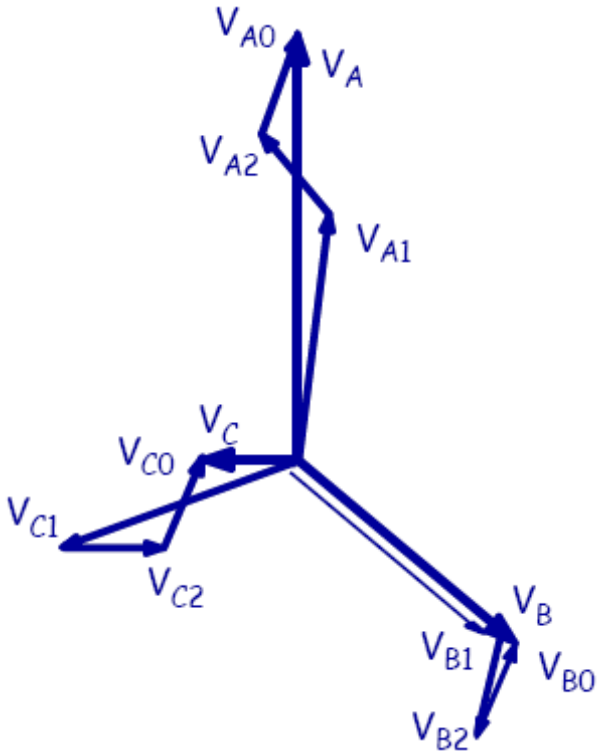
$$V_{B1} = a^2 V_{A1} \qquad V_{B2} = a\, V_{A2} \qquad V_{B0} = V_{A0}$$
$$V_{C1} = a\, V_{A1} \qquad V_{C2} = a^2 V_{A2} \qquad V_{C0} = V_{A0}$$

Conversión de componentes de secuencia

$$V_A = V_{A1} + V_{A2} + V_{A0}$$

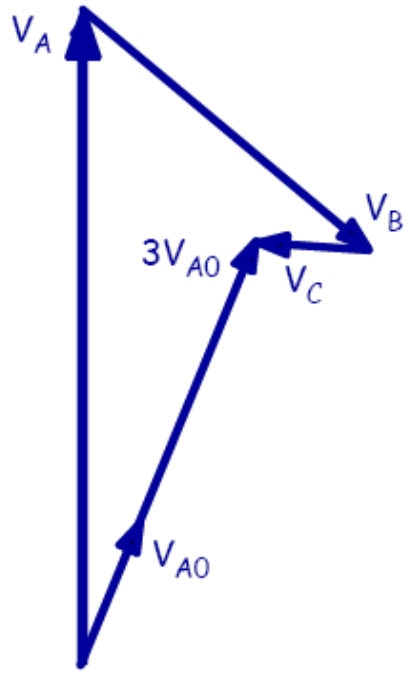
$$V_B = V_{B1} + V_{B2} + V_{B0} = a^2 V_{A1} + a\,V_{A2} + V_{A0}$$

$$V_C = V_{C1} + V_{C2} + V_{C0} = a\,V_{A1} + a^2 V_{A2} + V_{A0}$$



Conversión de valores de fase
nts

$$V_{A1} = 1/3\,\{V_A + a\,V_B + a^2 V_C\}$$
$$V_{A2} = 1/3\,\{V_A + a^2 V_B + a\,V_C\}$$
$$V_{A0} = 1/3\,\{V_A + V_B + V_C\}$$



Redes de secuencia

- **Se puede demostrar que siempre que las impedancias del sistema estén equilibradas desde los puntos de generación hasta la falla, cada corriente de secuencia provoca una caída de voltaje de su propia secuencia únicamente.**

- **+Las redes de secuencia ve, -ve y cero se dibujan para una fase de "referencia". Esto generalmente se toma como la fase 'A'.**
- **Las fallas se seleccionan para ser 'balanceadas' en relación con la referencia de fase 'A'.**

Por ejemplo, para fallas Ø / E considerar una falla AE

Para fallas Ø / Ø considerar una falla BC

Diagrama de secuencia positiva

1. **Comience con el punto neutro N_1**
   - Todos los neutrales del generador y de la carga están conectados a N_1
2. **Incluya todos los voltajes de fuente**
   - **Voltaje fase-neutro**
3. **Red de impedancia**
   - **Impedancia de secuencia positiva por fase**
4. **Diagr**

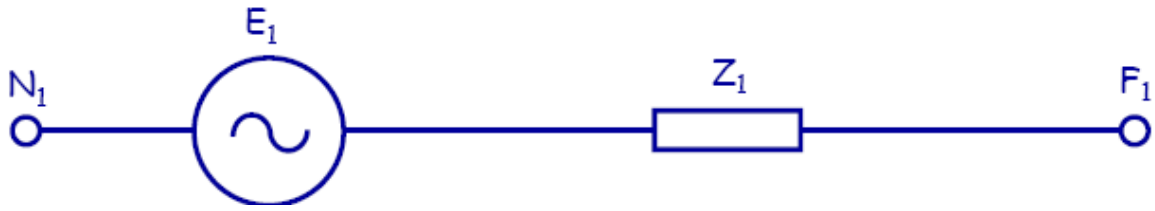


Diagrama de secuencia positiva

V_1 = Tensión Ph-N de secuencia positiva en el punto de falla I_1

= Corriente de fase de secuencia positiva que fluye hacia FV_1

= E_1 -I_1

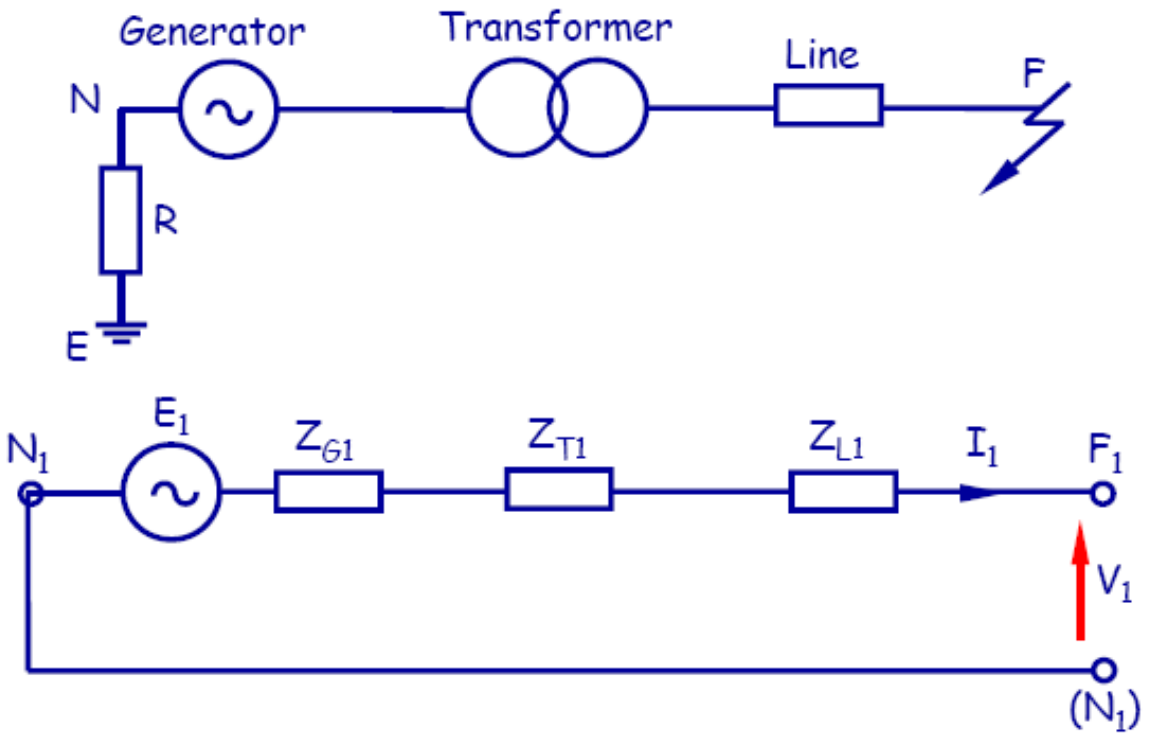


Diagrama de secuencia negativa

1. **Comience con el punto neutro N_2**
   - **Todos los neutrales del generador y de la carga están conectados a N_2**
2. **No se incluyen voltajes**
   - **¡No se genera voltaje de secuencia negativa!**
3. **Red de impedancia**
   - **Impedancia de secuencia negativa por fase**
4. **D**

Diagrama de secuencia negativa

V_2 = Tensión Ph-N de secuencia negativa en el punto de falla I_2 =

Corriente de fase de secuencia negativa que fluye hacia F_2

$V_2 = -I_2 (Z$

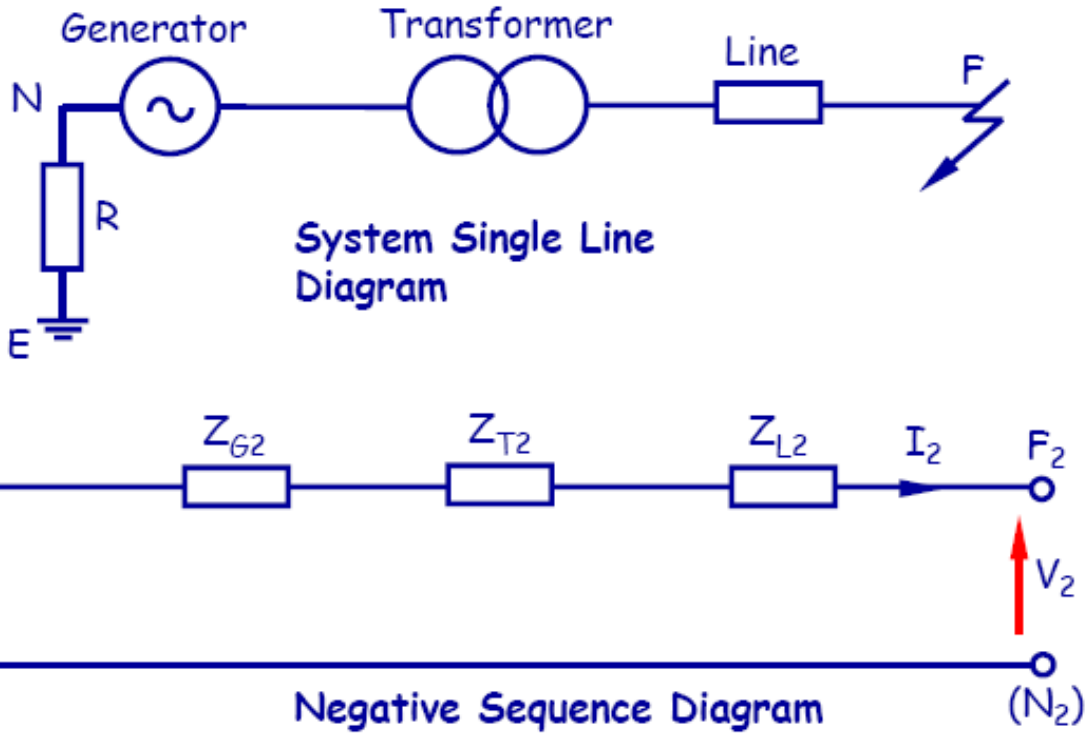
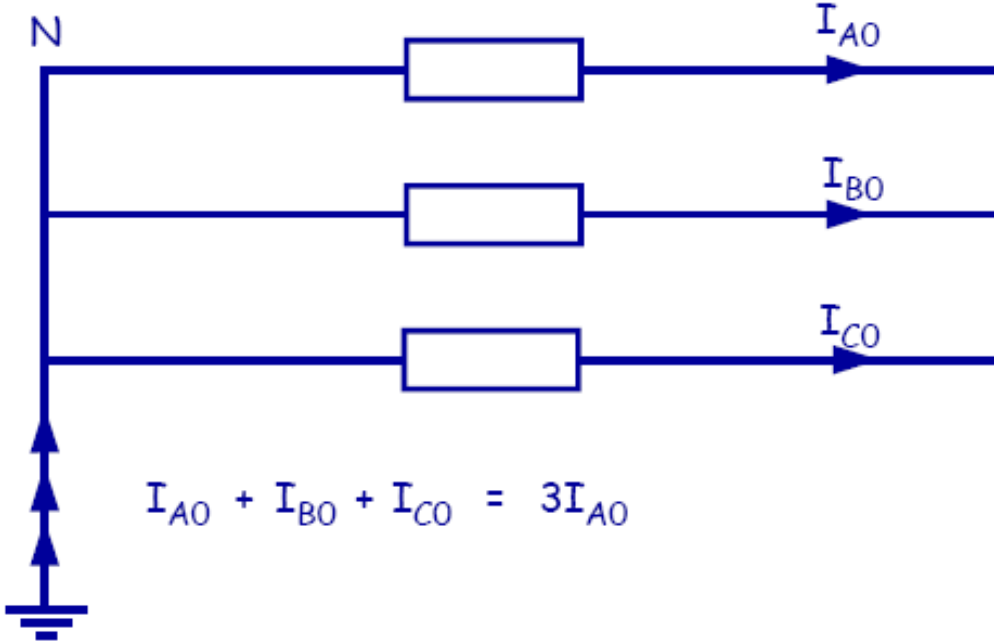


Diagrama de secuencia cero

- **Para que las corrientes "en fase" (secuencia de fase cero) fluyan en cada fase del sistema, debe haber un cuarto co**

l o tierra

co



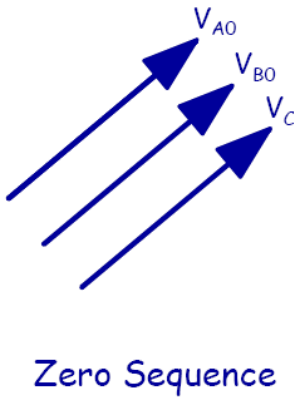
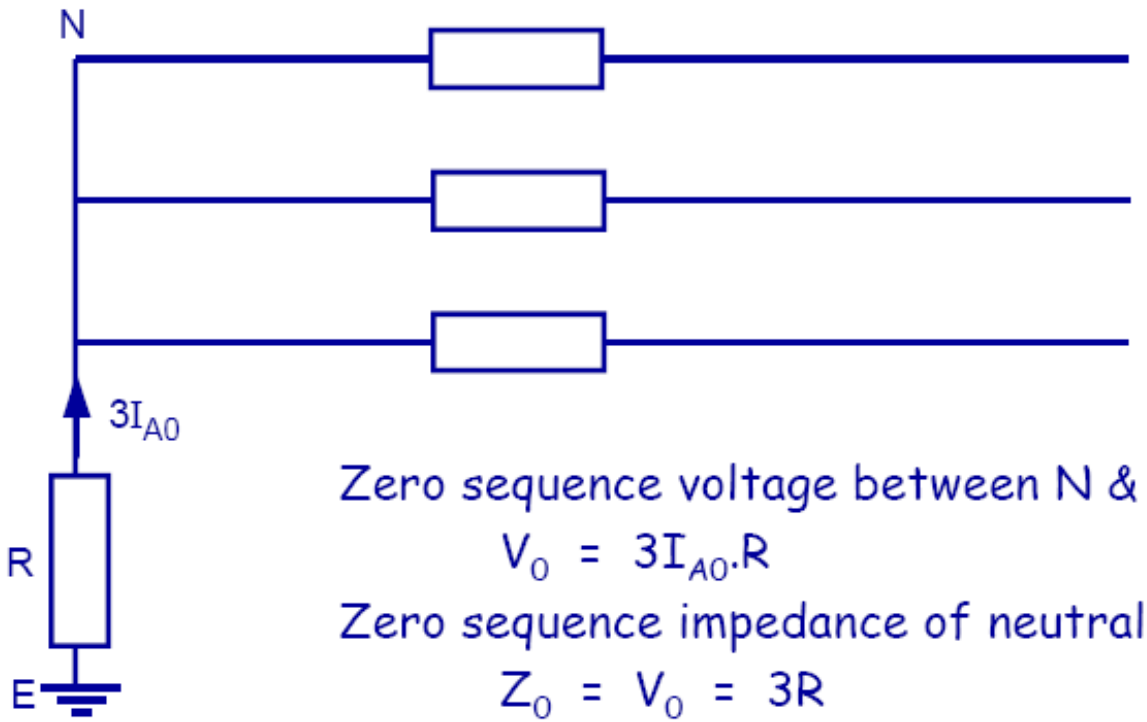


Diagrama de secuencia cero

- **Res**



Zero sequence voltage between N & E given by

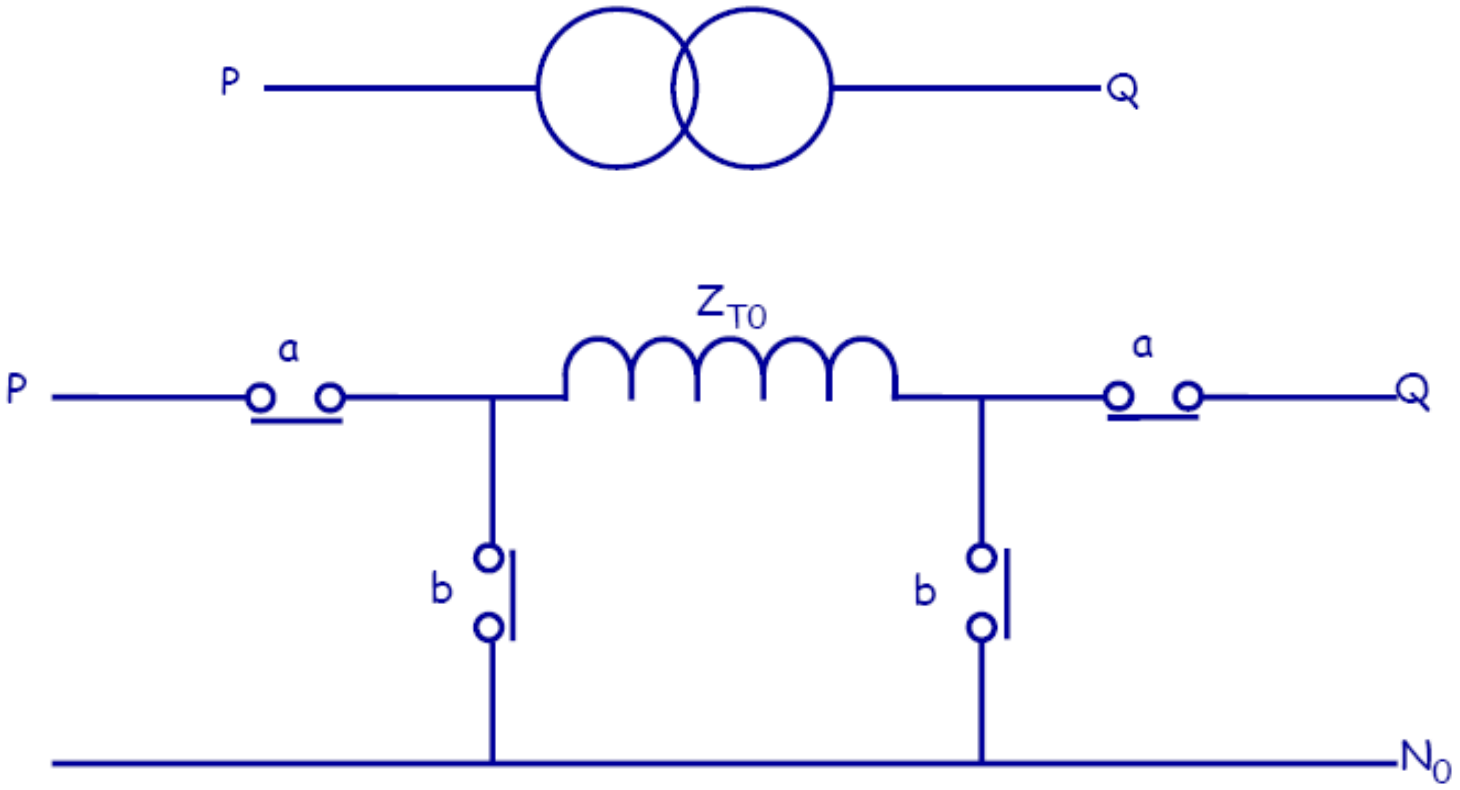
$$V_0 = 3I_{A0}.R$$

Zero sequence impedance of neutral to earth path

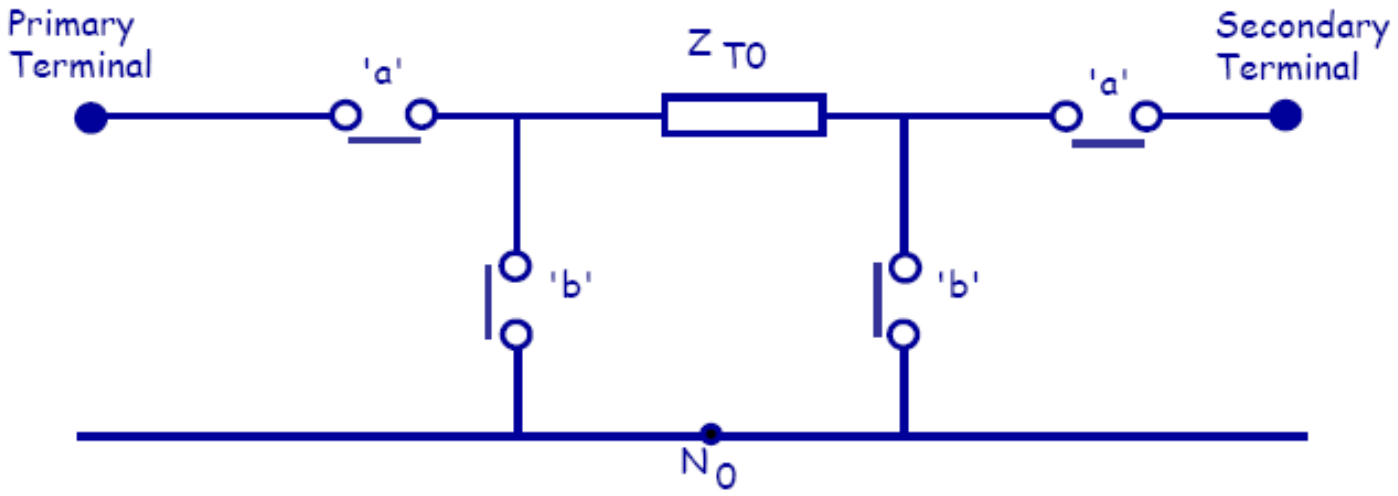
$$Z_0 = \frac{V_0}{I_{A0}} = 3R$$

Transfo

gramo



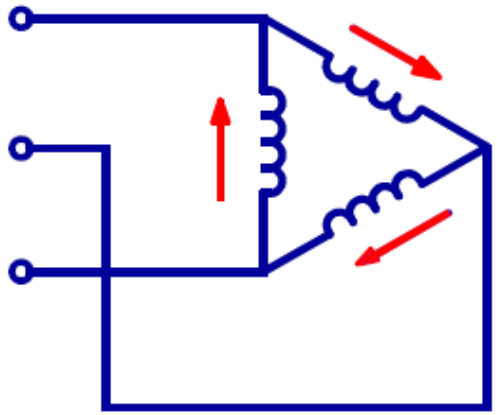
Gen.



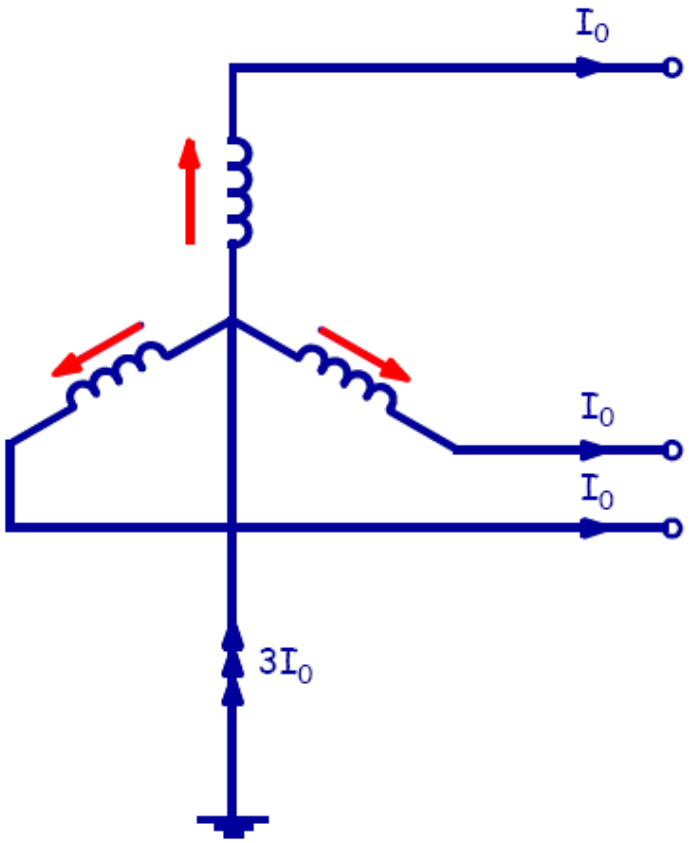
On appropriate side of transformer :

Earthed Star Winding	-	Close link 'a' Open link 'b'
Delta Winding	-	Open link 'a' Close link 'b'
Unearthed Star Winding	-	Both links open

Circuito equivalente de secuencia cero para

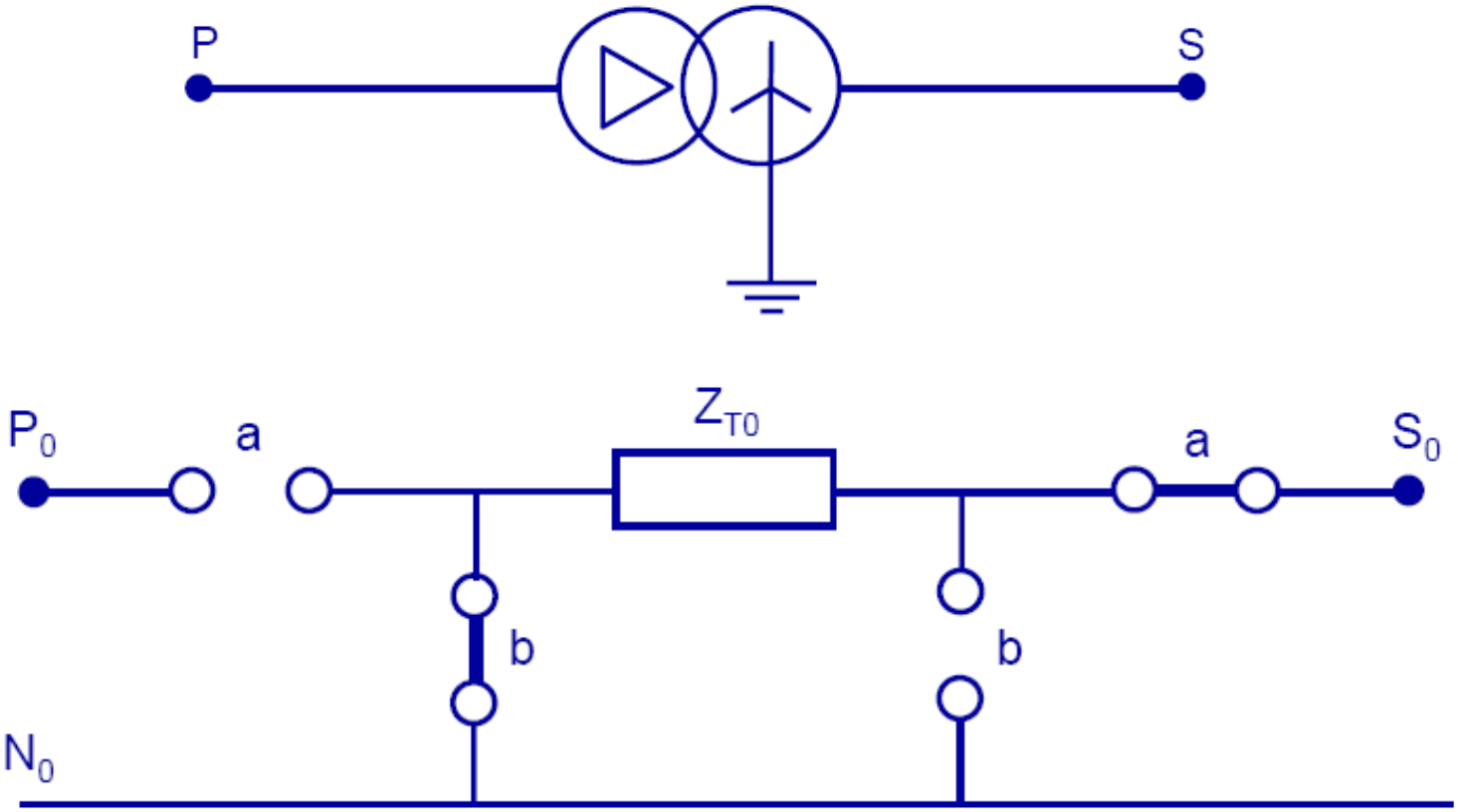


No zero sequence
in line connection
on Δ side

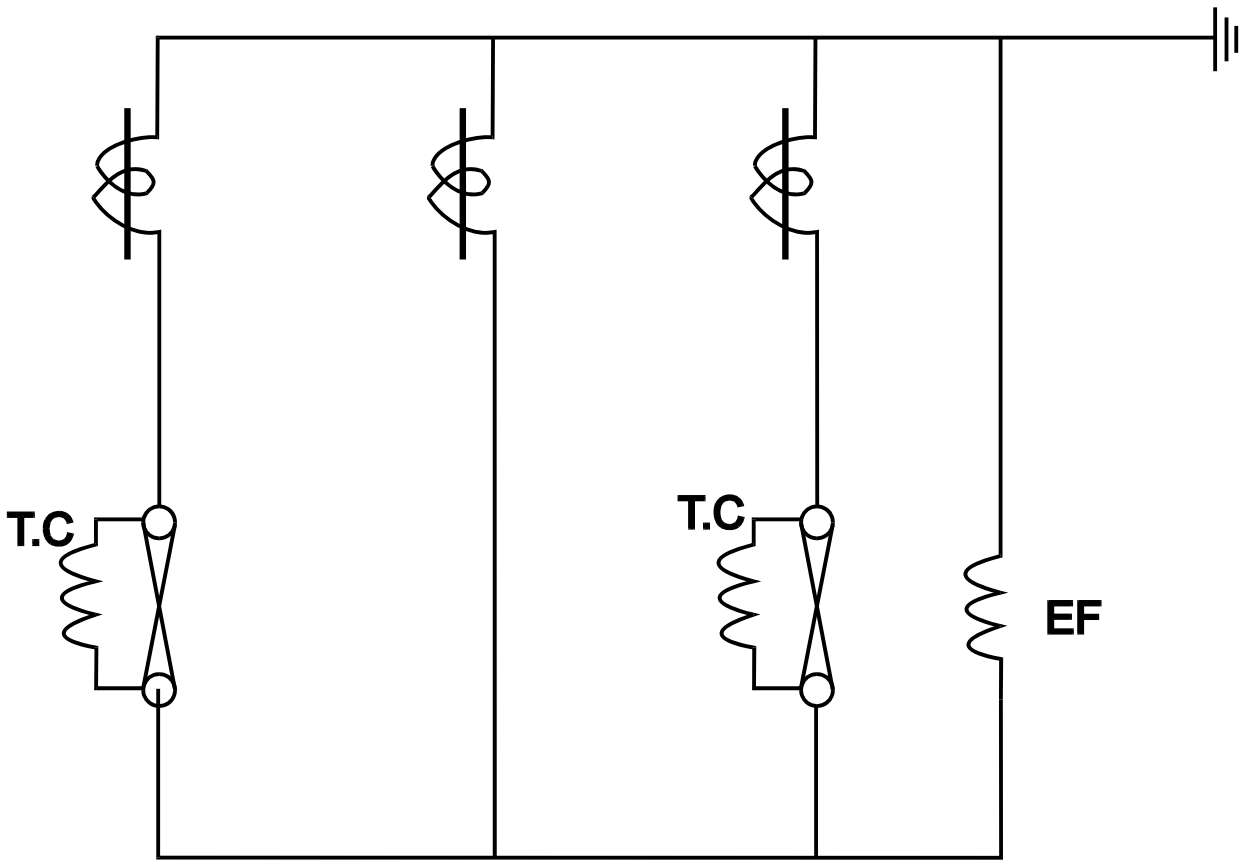


Circuito equivalente de secuencia cero para

Transformador "Dyn"



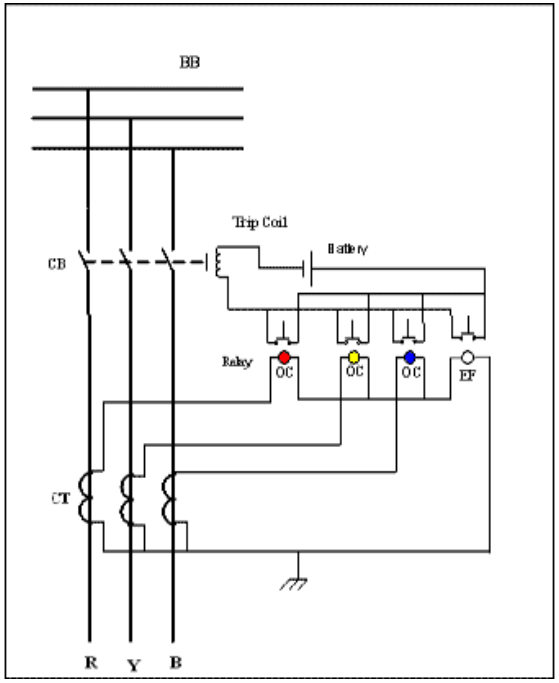
Un arreglo más económico

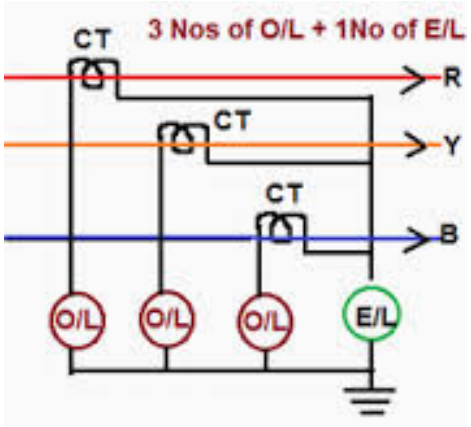


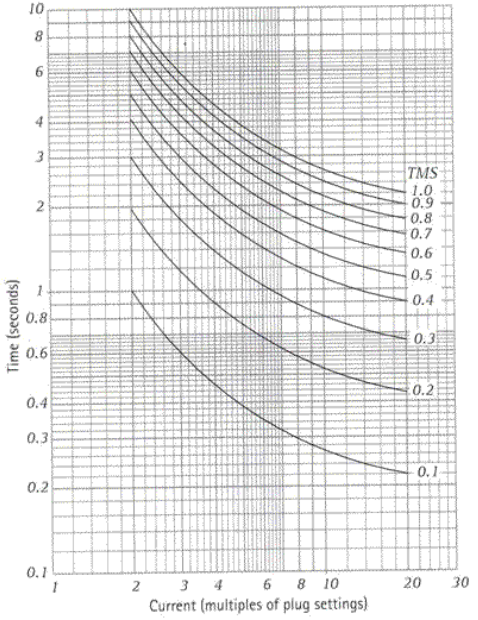
Tema 1: Protección del sistema de energía

1.4: Parte 1

Protección de sobrecorriente IDMT





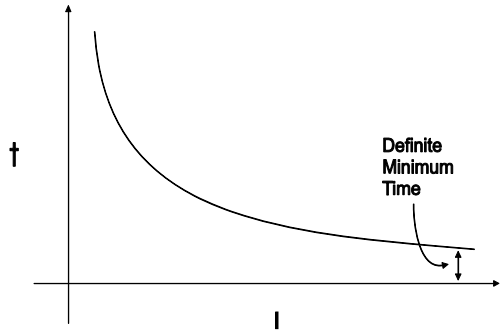


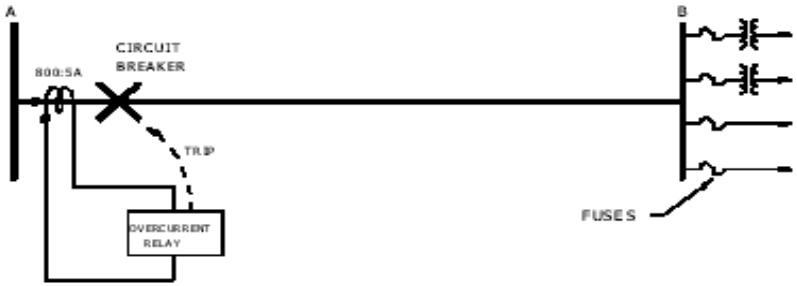
Protección contra la sobretensión

- La protección OC es aquella protección en la que el relé se activa cuando la magnitud de la corriente excede el nivel de activación..
- El elemento básico en la protección OC es un relé OC.
- Los relés OC se conectan al sistema, normalmente mediante **CT**

- Los fusibles HRC, fusibles de caída, etc. se utilizan en sistemas de distribución de baja tensión, media tensión y alta tensión, generalmente hasta 11 kV.

- Los relés térmicos se utilizan ampliamente para la protección contra sobrecorriente.





Requisitos principales de la protección OC

- La protección OC incluye la protección contra sobrecargas que generalmente es proporcionada por relés térmicos.
- La protección OC incluye protección contra cortocircuitos. Las corrientes SC son generalmente varias veces (5 a 20) la corriente a plena carga. Por lo tanto, la eliminación rápida de fallas siempre es deseable en cortocircuitos.

- La protección OC no debe funcionar para corrientes de arranque, sobrecorrientes permitidas y sobrecargas de corriente. Para lograr esto, se proporciona el retardo de tiempo (en el caso de relés inversos). Si no se puede permitir el retardo de tiempo, se utiliza relé instantáneo de ajuste alto.

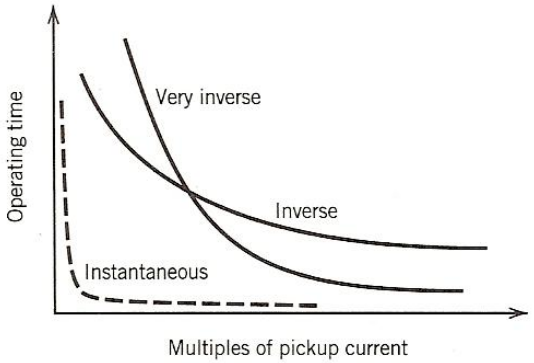
- La protección debe coordinarse con las protecciones de sobrecorriente vecinas para discriminar.

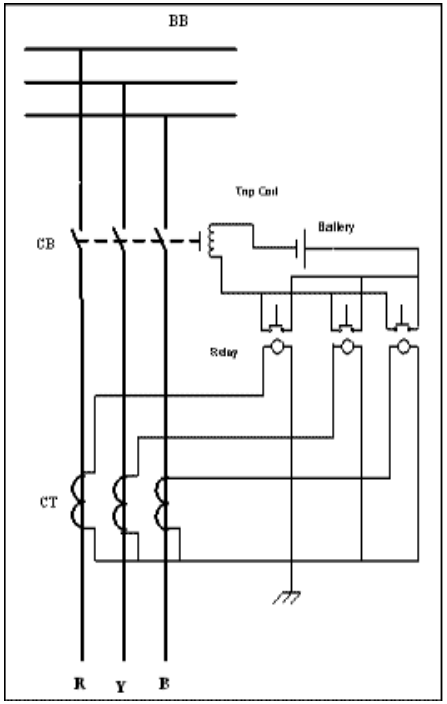
Aplicaciones de OC Protecti

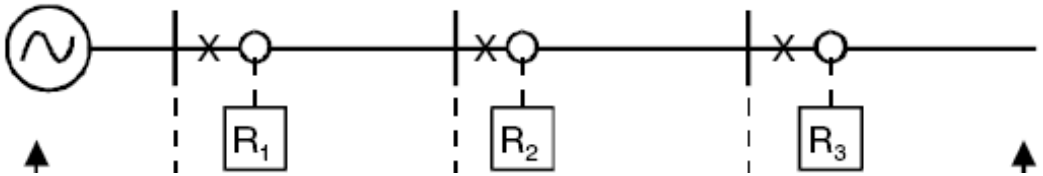
- **Protección de línea**

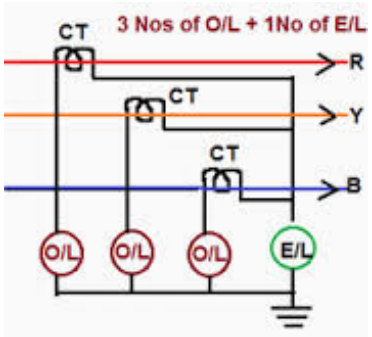
Las líneas (alimentadores) pueden protegerse mediante

1. Relés de sobrecorriente instantáneos.
2. Relés de sobrecorriente de tiempo definido
3. relés de corriente inversa.
4. relé de corriente er.



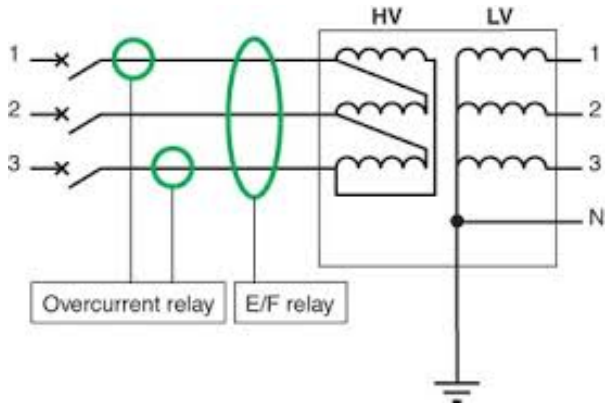


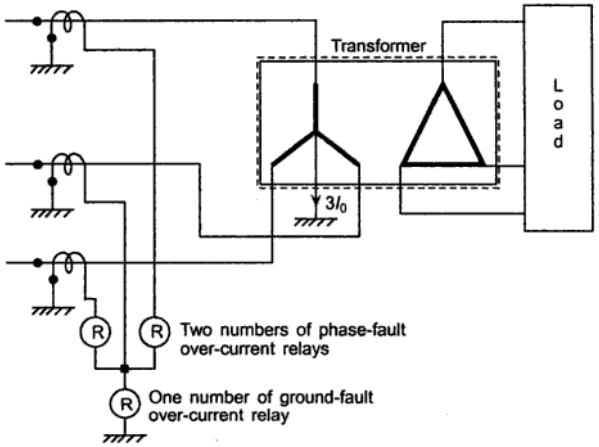




Aplicaciones de OC Protection

- **Protección del transformador**
  - Los transformadores cuentan con protección OC contra fallas, solo cuando el costo de los relés diferenciales no puede justificarse.
  - Los relés OC se proporcionan además de los relés diferenciales para solucionar las fallas pasadas. Siempre se proporcionan indicadores de temperatura y alarmas para transformadores grandes.
  - Pequeños transformadores por debajo de 500 kVA instalados en sistema de distribución ed por fus más en general



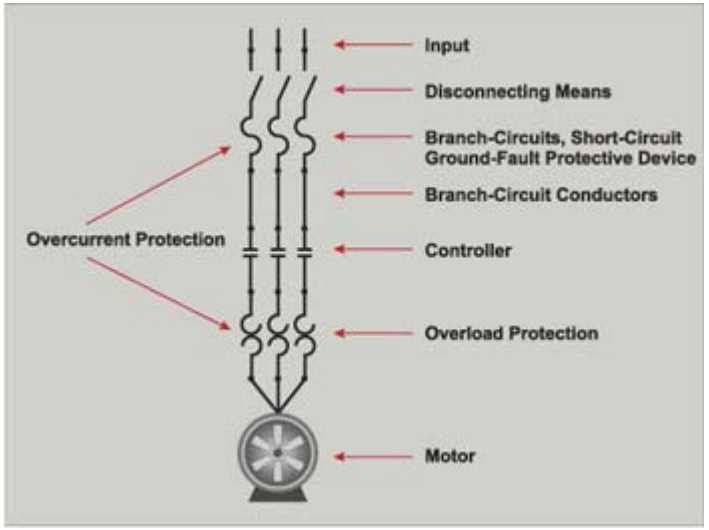


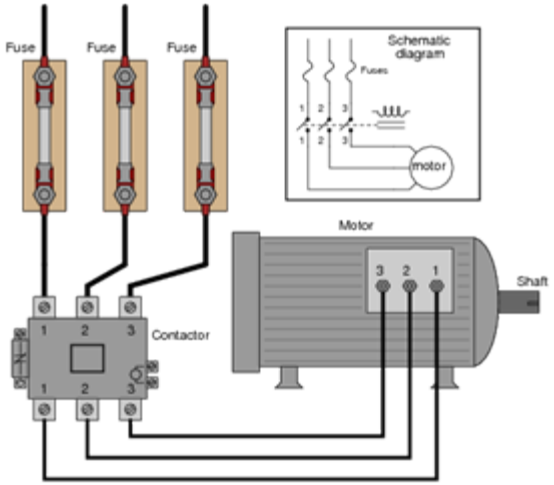
Aplicaciones de OC Protection

- **Protección del motor**
  - La protección OC es el tipo básico de protección que se utiliza contra sobrecargas y cortocircuitos en los devanados del estator de los motores. Los relés OC de tiempo inverso y fase instantánea y tierra se pueden emplear para motores de más de 1200 HP
  - Para motores pequeños / medianos donde el costo de los TC y relés de protección no está justificado económicamente, los relés térmicos

hermal D

Pro hort-cir

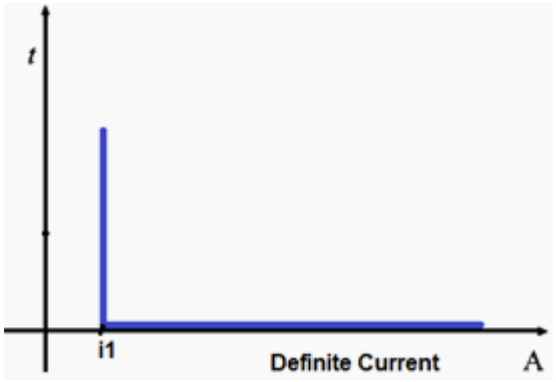


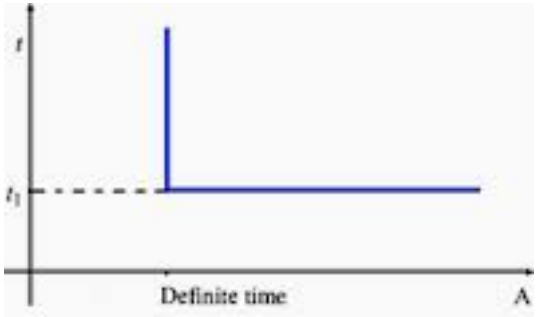


Tipos de rel de sobrecorriente

una. Relés de sobrecorriente instantáneos.

Estos relés funcionan, o *recoger* a un valor específico de corriente,
sin demora de tiempo intencional. *recoger*el escenario suele ser
ajustable por medio de un dial, o por ajustes de enchufe.



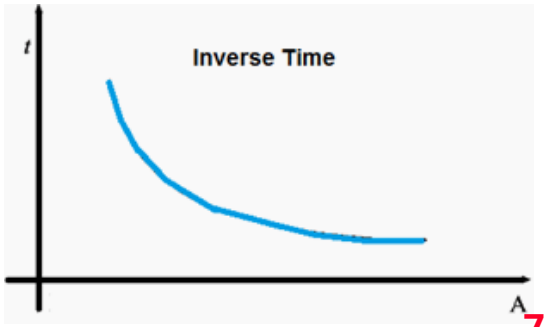


B. Relés temporizados de sobrecorriente.

Dos tipos:

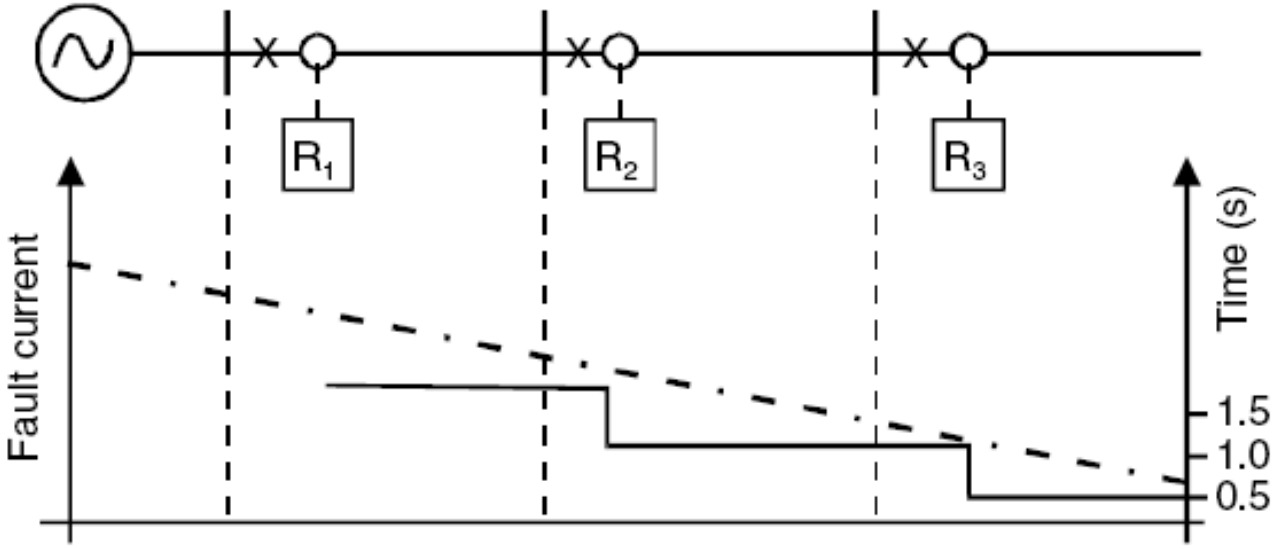
1. Retraso de tiempo definido
2. Relé IDMT

(Tiempo mínimo definido inverso)



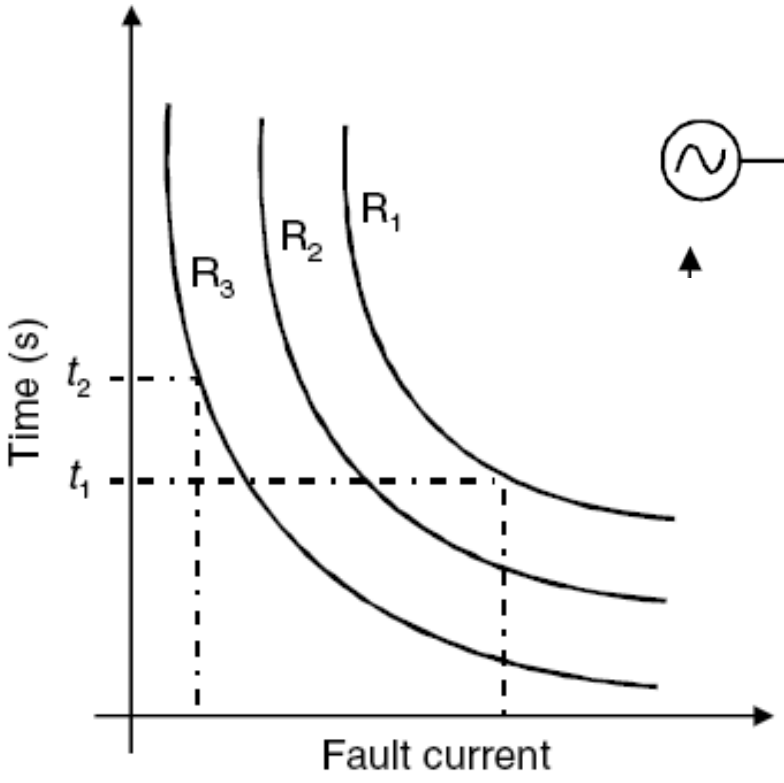
Retraso de tiempo definido - Relé O / C

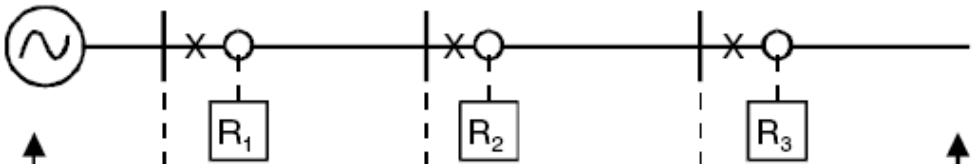
- Para la primera opción, los relés se clasifican utilizando un intervalo de tiempo definido de aproximadamente 0,5 s. El relé R3 en el extremo de la red está configurado para operar en el tiempo más rápido posible, mientras que su relé aguas arriba
  R2 se establece 0,5 s más alto. Los tiempos de funcionamiento del relé aumentan secuencialmente a intervalos de 0,5 s en cada sección moviéndose hacia la fuente como se muestra.
- El problema con esta filosofía es que cuanto más cerca está la falla de la fuente, mayor es la corriente de falla, más lento es el tiempo de limpieza, exactamente lo contrario de lo que deberíamos estar tratando de lograr.



IDMT - Relé O / C

- Por otro lado, las curvas inversas, como se muestra, operan más rápido en corrientes de falla más altas y más lentas en las corrientes de falla más bajas, lo que nos ofrece las características que deseamos. Esto explica como práctica estándar

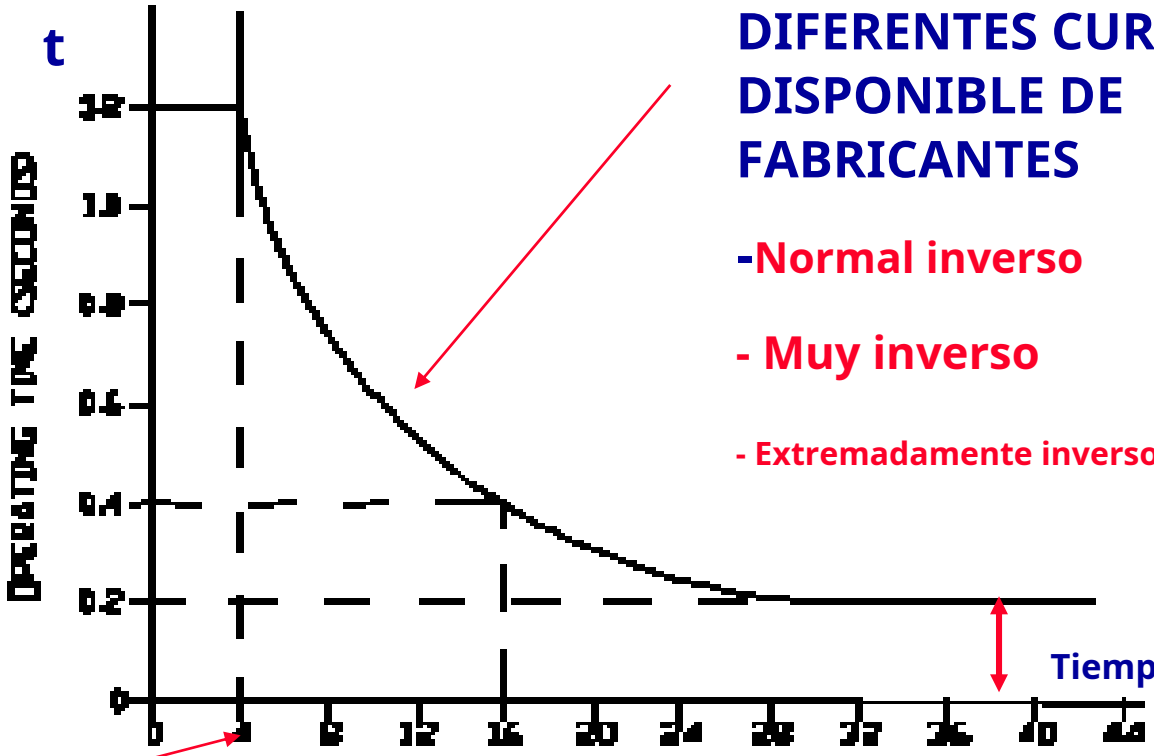




Tiempo $t - \frac{1}{I^2}$

Esto le da una característica inversa. (cuanto mayor es la corriente, menor es el tiempo de rotación)

Tiempo mínimo definido inverso C / C



DIFERENTES CURVAS DISPONIBLE DE FABRICANTES

-Normal inverso

- Muy inverso

- Extremadamente inverso

Tiempo mínimo definido

MÍNIMO DEFINIDO

CORRIENTE DE RECOGIDA

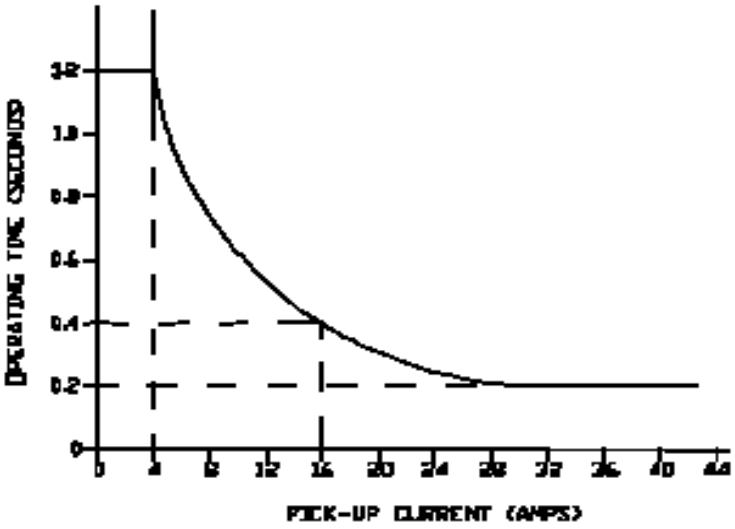
Veces CORRIENTE DE RECOGIDA

Relé IDMT

La característica del relé es tal que para corrientes de falla muy altas, el relé operará en su ***tiempo mínimo definido***valores de la corriente de falla el tiempo de operación

Por ejemplo, a una corriente de relé de 16 amperios, el tiempo de funcionamiento es de 0,4 segundos. El relé tiene un***recogida mínima definida*** corriente de 4 amperios. Este mínimo ***recoger***corriente debe, de c que el máximo

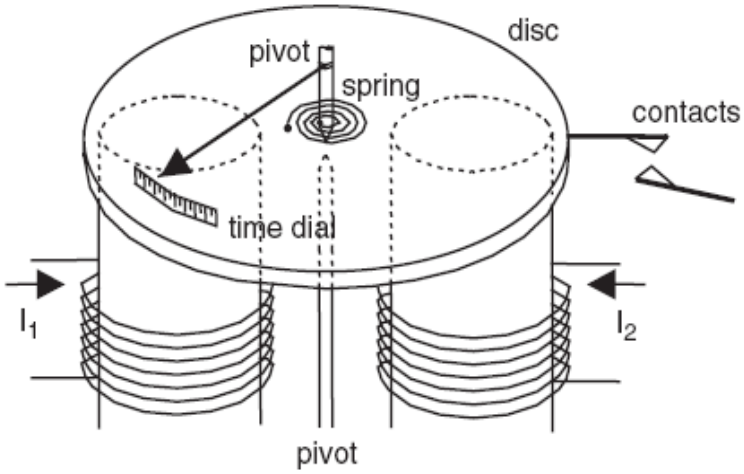
alimentador.

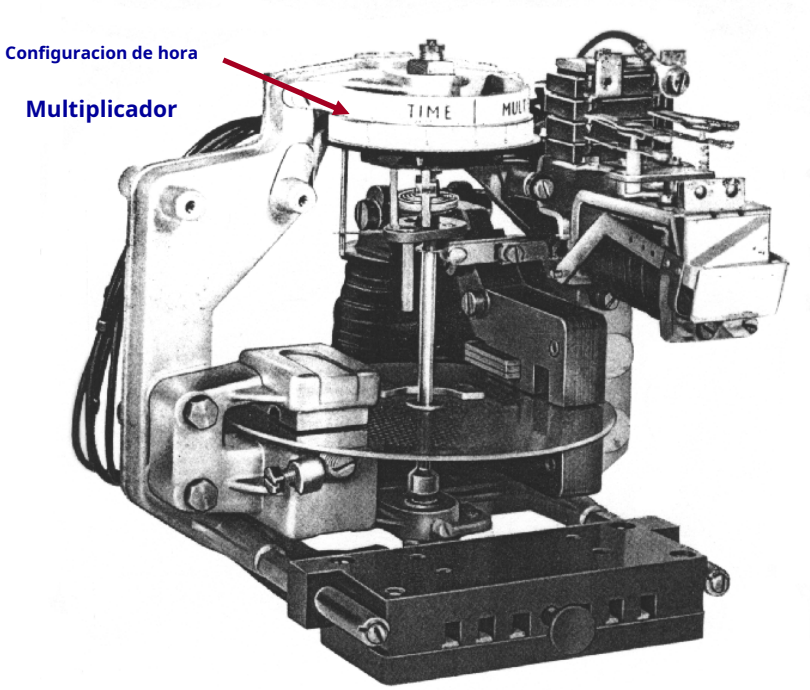


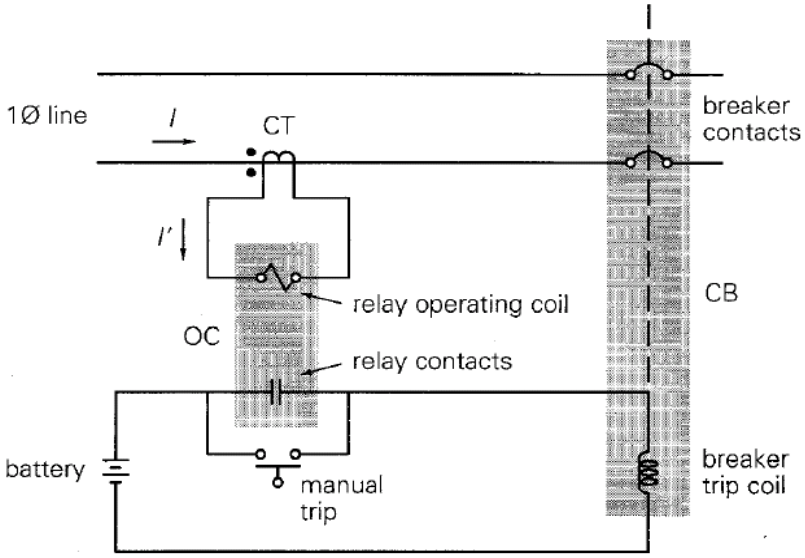
Sobrecorriente IDMTR

- La versión electromecánica del **IDMT** El relé tiene un disco de inducción. El disco debe girar a través de un sector definido antes de que

t

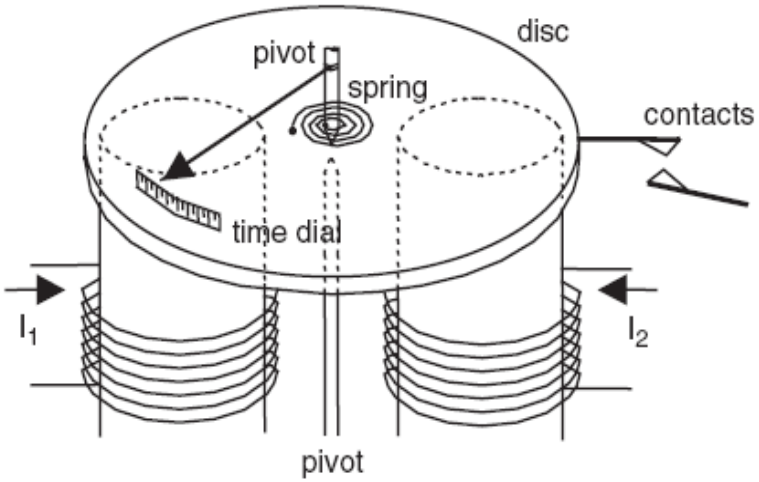






Ajustes de OC IDMT Rel

a) los ***ajuste del multiplicador de tiempo***:Esto ajusta el tiempo de funcionamiento en un determinado ***múltiplo de ajuste actual***, alterando por medio del cabezal de torsión, la distancia que debe recorrer el disco antes de que se haga contacto.



Este dial hace girar el disco y el contacto móvil que lo acompaña más cerca del contacto fijo, lo que reduce la distancia que debe recorrer el contacto móvil y, por lo tanto, acelera el tiempo de disparo del relé.

Esto tiene el efecto de mover la curva inversa hacia abajo del eje como se muestra a continuación.

TM setting	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
Degrees of travel before contacts operate	0°	18°	36°	54°	72°	90°	108°	126°	144°	162°	180°

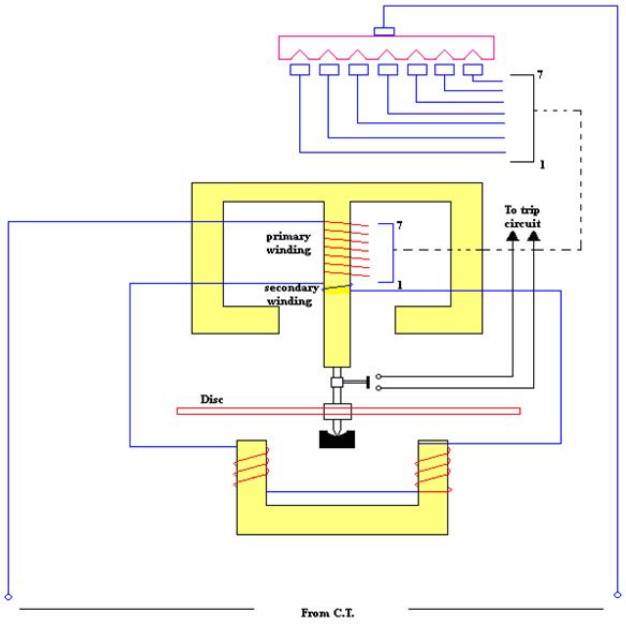
jefe IDMT Relé

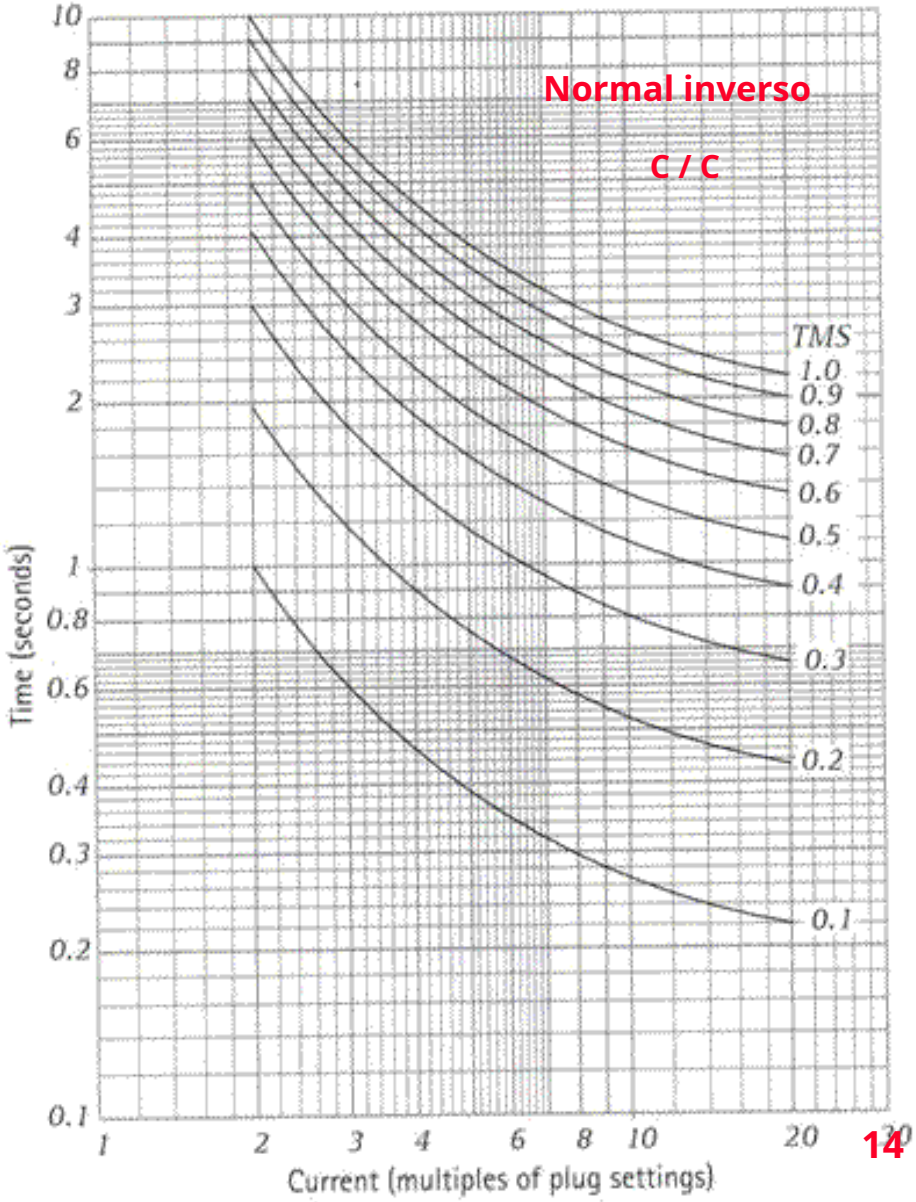
Esto le da al relé un rango muy amplio de características de ajuste y permite que el ajuste del relé sea

coordinado con otros desarrolladores de protección

ent

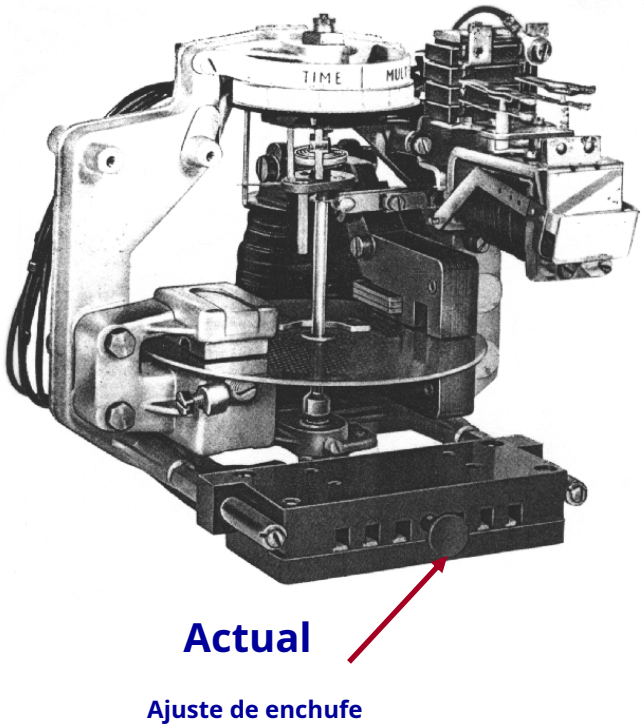
pow

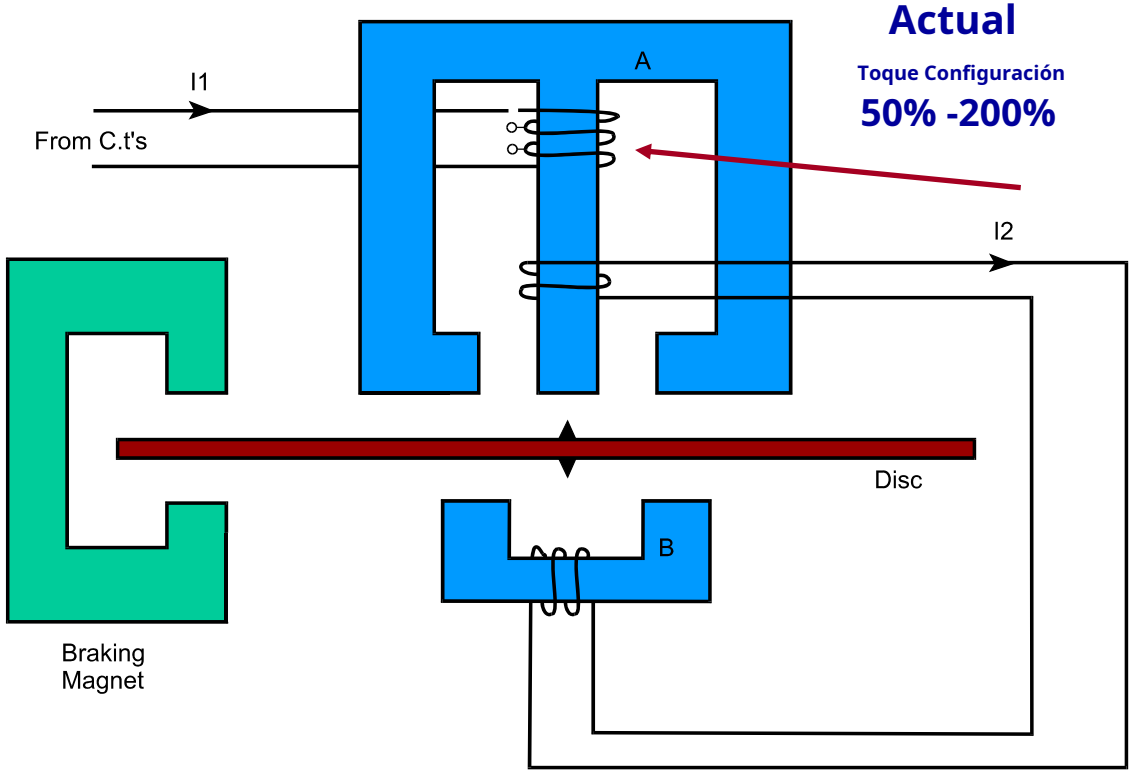




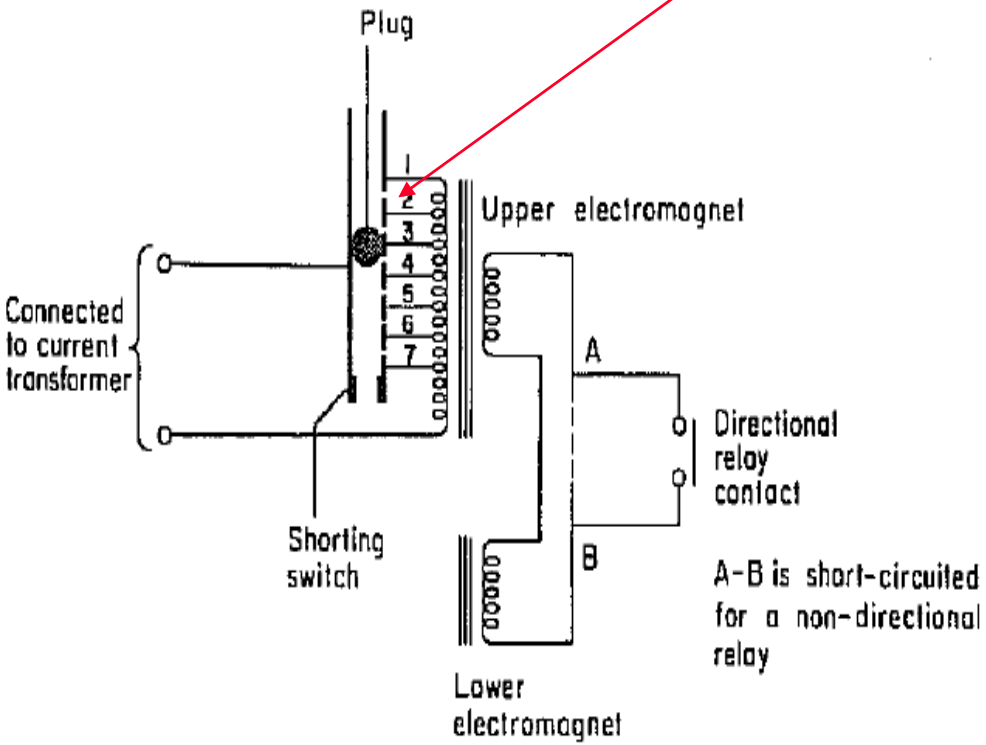
Ajustes de OC IDMT Relé

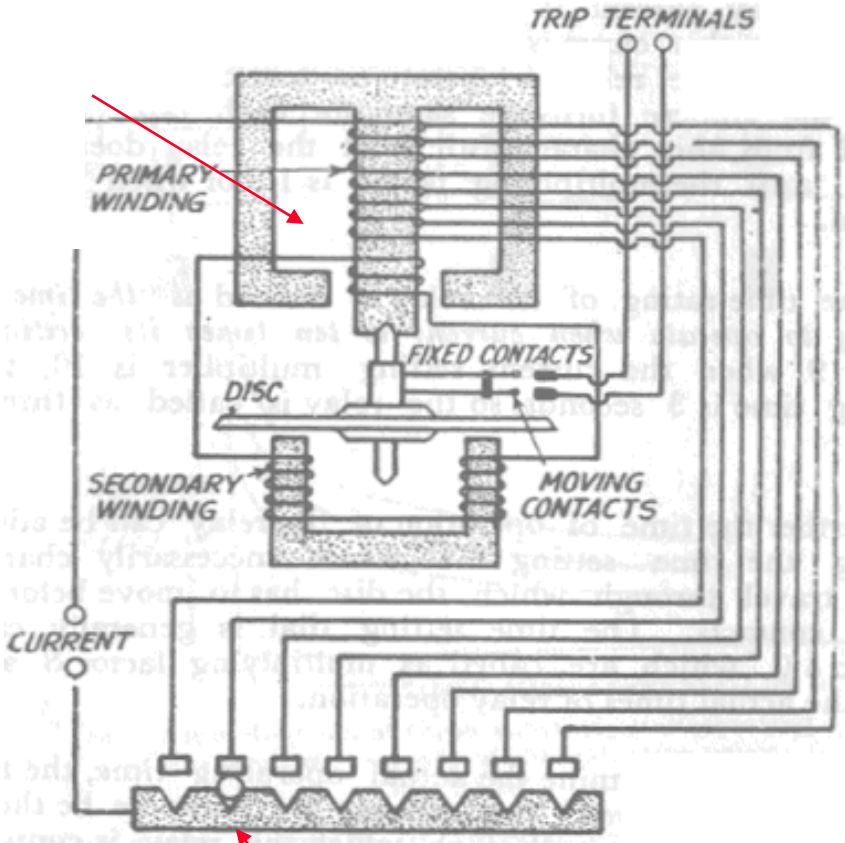
a) los ***recogida actual*** o ***ajuste del enchufe***: Esto ajusta la configuración actual en m
varía los giros efectivos en la parte superior
el





Esta configuración determina el nivel de corriente en el que el relé se iniciará o se activará.

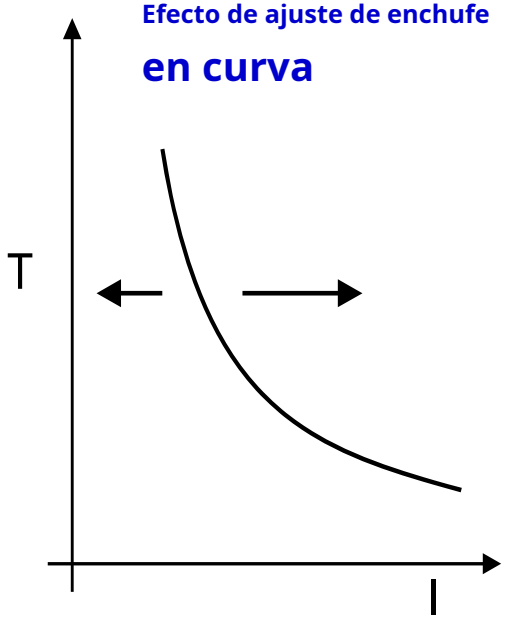

Plug
1
2
3
4
5
6
7
Upper electromagnet
Connected to current transformer
A
Directional relay contact
Shorting switch
B
A-B is short-circuited for a non-directional relay
Lower electromagnet


TRIP TERMINALS
PRIMARY WINDING
FIXED CONTACTS
DISC
SECONDARY WINDING
MOVING CONTACTS
CURRENT

Efecto de los ajustes y las curvas de coordinación

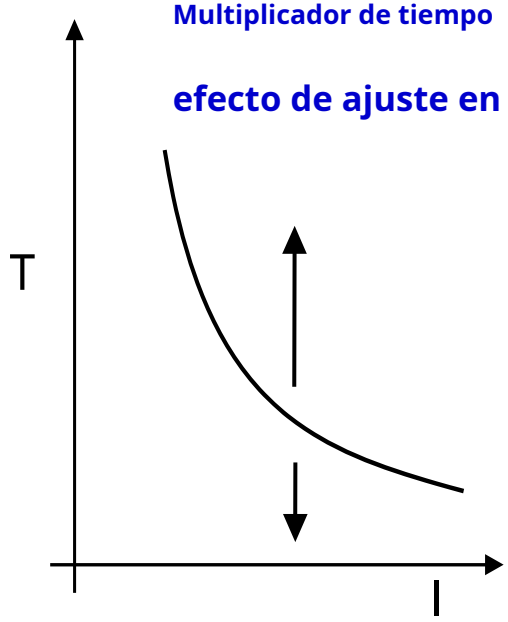
Efecto de ajuste de enchufe

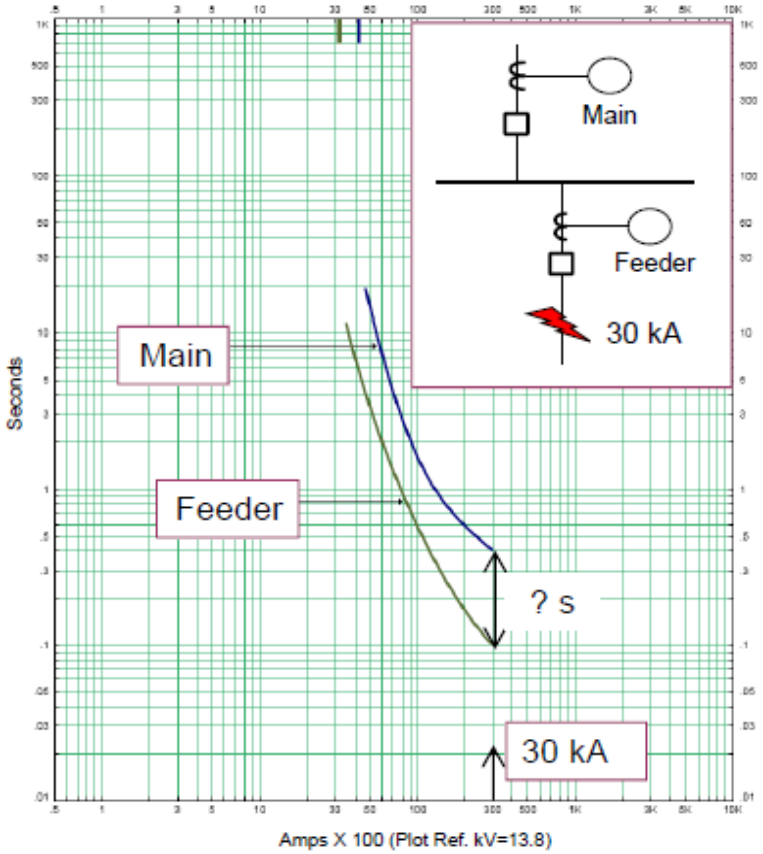
en curva



Multiplicador de tiempo

efecto de ajuste en curv





Percentage plug settings (Reyrolle)

Overcurrent:	50%	75%	100%	125%	150%	175%	200%
Earth fault:	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%
Or	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%

Current plug settings (GEC)–For 5 amp relay

Overcurrent:	1.5A	3.5A	5.0A	6.25A	7.5A	8.75A	10A
Earth fault:	1.0A	1.5A	2.0A	2.5A	3.0A	3.5A	4.0A
Or	0.5A	0.75A	1.0A	1.25A	1.5A	1.75A	2.A

Normally, the highest current tap is automatically selected when the plug is removed, so that adjustments can be made on load without open-circuiting the current transformer.

Magneto-fuerza-motriz: mmf = NI

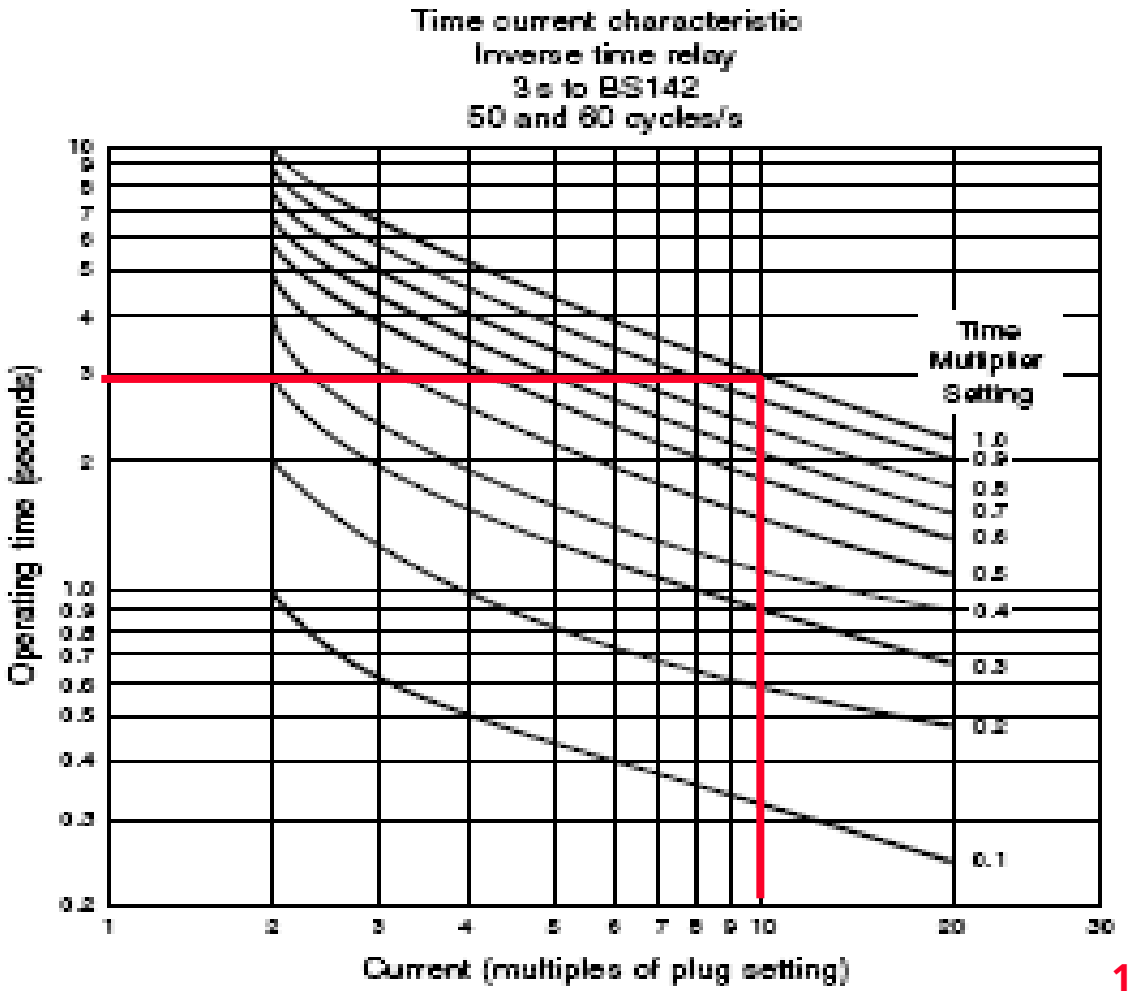
jefe IDMT Relé

Esta curva muestra que el relé operará en 3 segundos a 10 veces la configuración del enchufe (con el multiplicador de tiempo = 1)

$$t = \frac{3{,}0}{\text{Iniciar sesión } PSM} \times TMS$$

$$t = \frac{3{,}0}{\text{Iniciar sesión } PSM} \Big| TMS\text{-}1$$

$$PSM = \frac{I_F}{I_{recoger}}$$



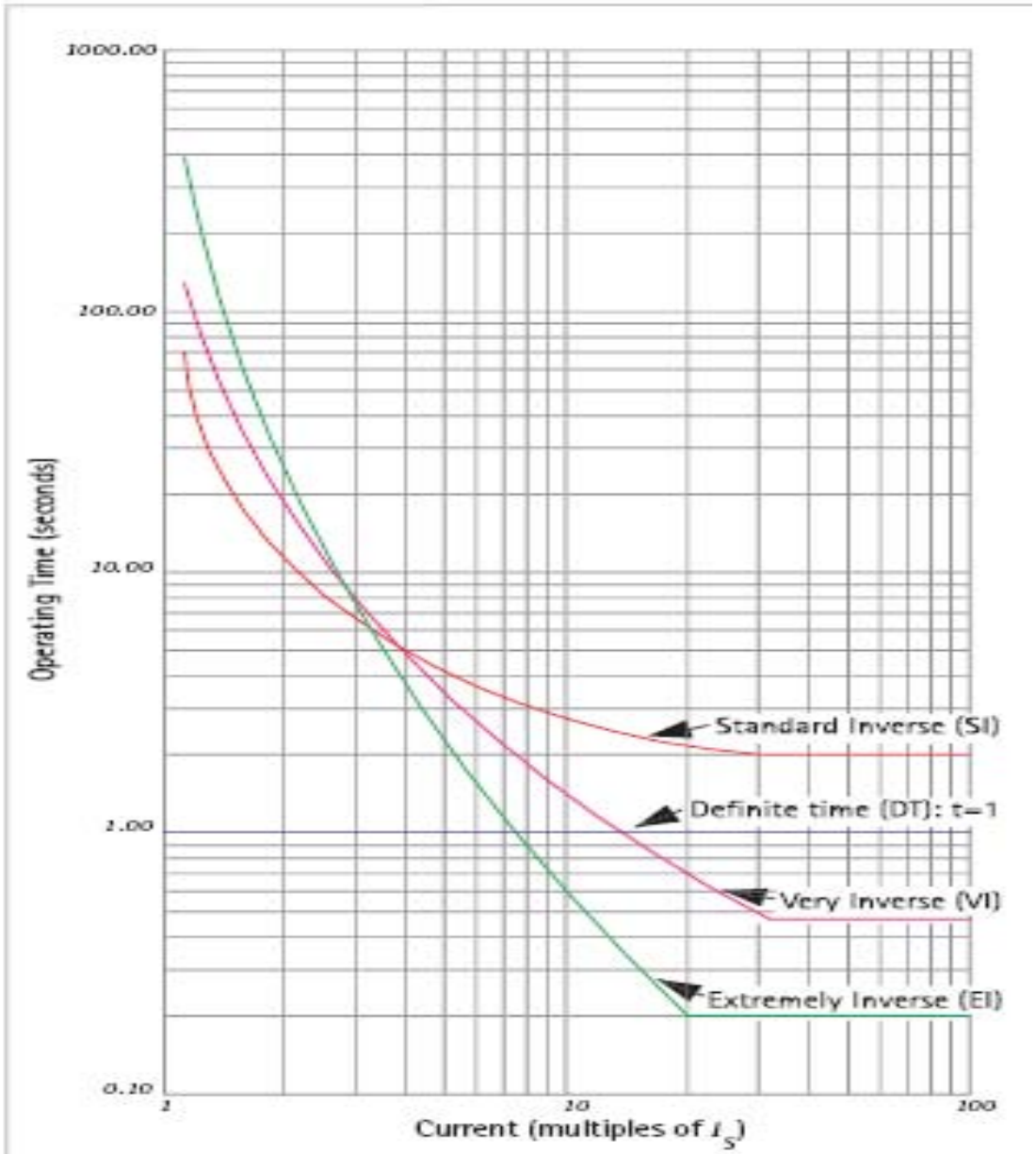
Diferentes curvas

- El tipo más común utilizado es:
  - **CURVA INVERSA NORMAL.**
- La característica muestra un **Operación de 3 segundos a**

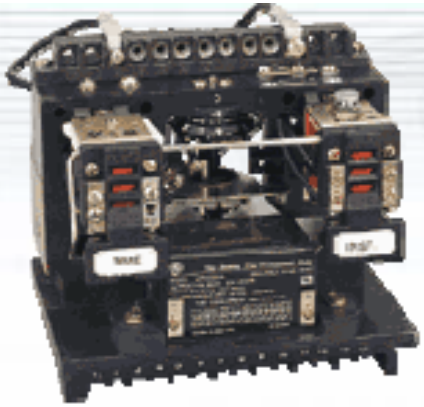
  10 - el ajuste actual del enchufe

  es decir, si el puente de enchufe se establece en 1 A y cuando fluyen 10 A, el relé cerrará sus contactos después de 3 segundos, a veces llamado relé 3/10.

- También están disponibles otras curvas características:
  - **Muy inverso**
  - **Extremadamente inverso**

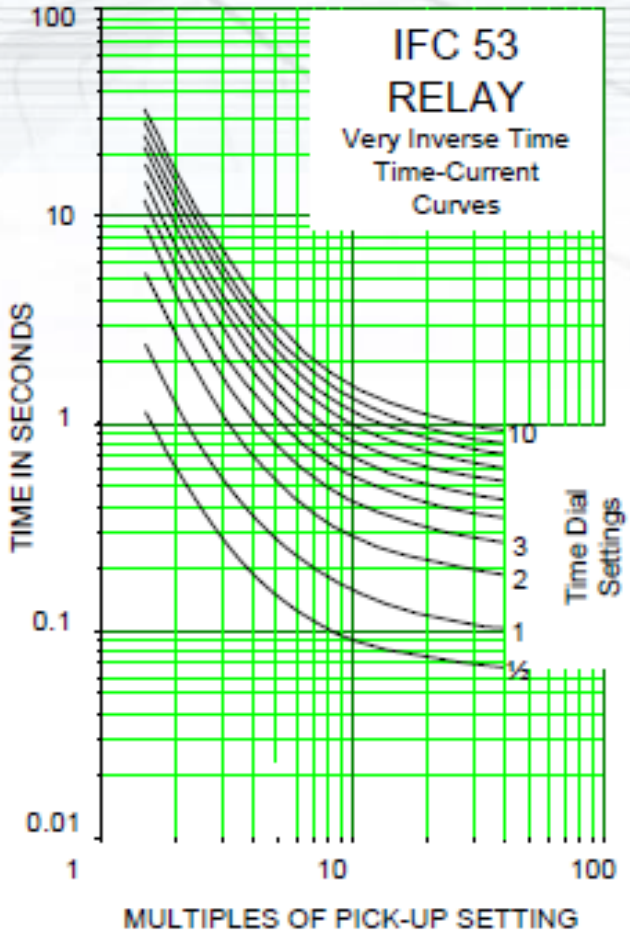


(a) IEC 60255 characteristics ; TMS=1.0



MODEL 12IFC53A2A
50/60 HERTZ
INSTRUCTION BOOK GEK-45375
PARTS BULLETIN GEF-4533
GENERAL ELECTRIC
VERY INVERSE TIME OVERCURRENT RELAY
TIME OVERCURRENT AMPERES/TAPS

A B C D E F

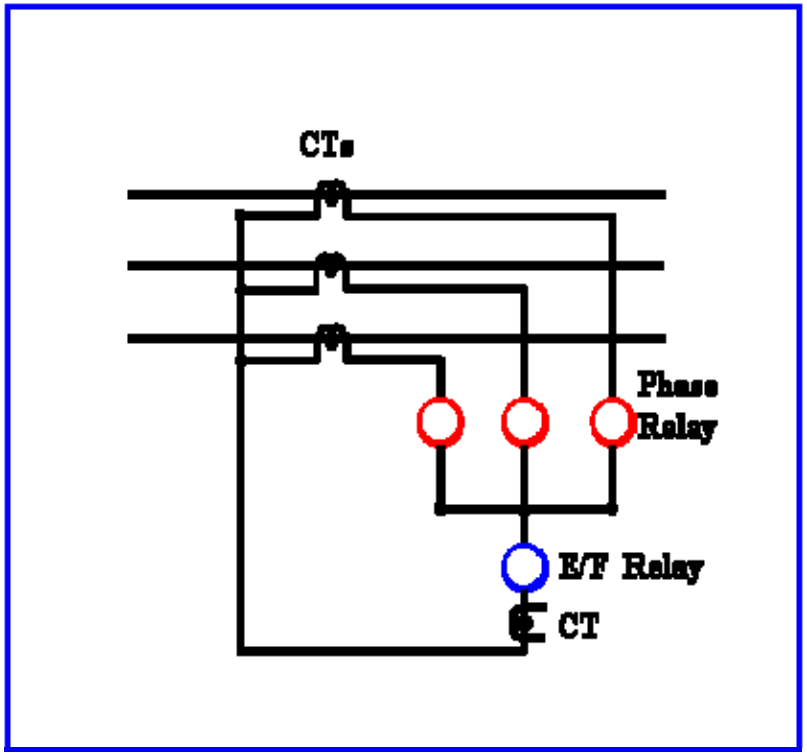

IFC 53
RELAY
Very Inverse Time
Time-Current
Curves
100
10
1
0.1
0.01
TIME IN SECONDS
1
10
100
MULTIPLES OF PICK-UP SETTING
10
3
2
1
½
Time Dial
Settings

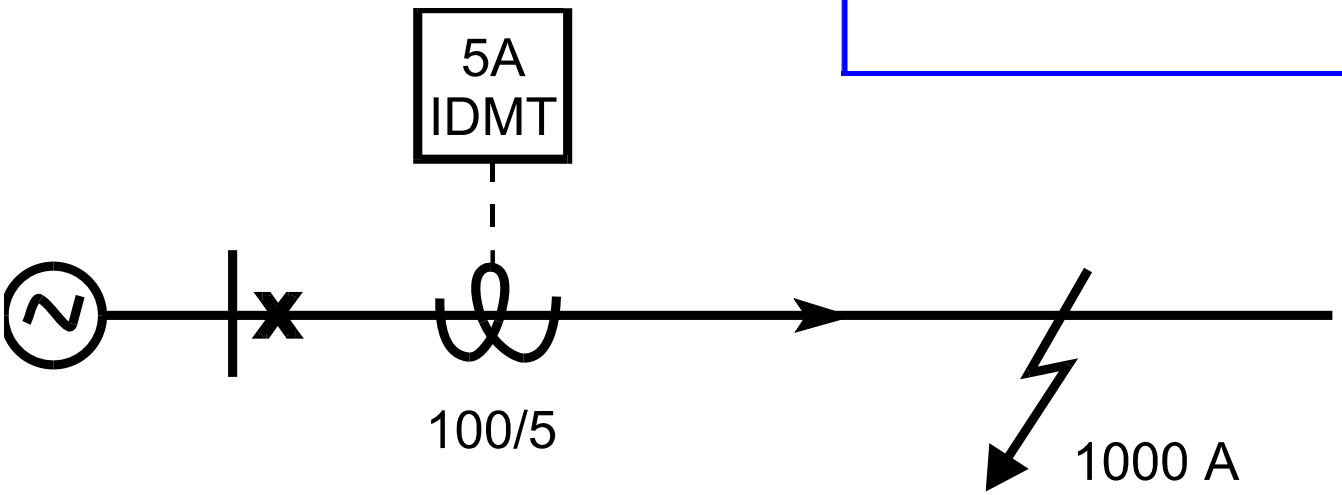
Ejemplo

Calcular:

- Ajuste de enchufe (PS)
- Ajuste del multiplicador de tiempo (TMS)

para un relé IDMTL en el la siguiente red para que se dispare en 2,4 segundos.





Respuesta

- Corriente de falla = 1000 A
- Relación CT = 100/5
- Por lo tanto, corriente en relé = $\frac{I_F}{CTR}$ =1000-5 / 100 = 50A

- Elija la configuración del enchufe (PS) de 5 A (100%) -PS = 1.0

- Por lo tanto, la corriente en el relé es un múltiplo de la configuración del enchufe.

$$PSM - \frac{I_F}{Recojo} - \frac{50}{5} - 10 \text{ veces } - PSM = 10$$

- Refiriéndose a las curvas en la página siguiente, lea la configuración del multiplicador de tiempo donde se cruzan 10 veces y 2,4 segundos ... es decir, 0,8.

-TSM = 0.8

-Configuración de relé = Configuración de enchufe PS = 5 A (PS = 100%)

= Multiplicador de ajuste de tiempo (TSM = 0.8)

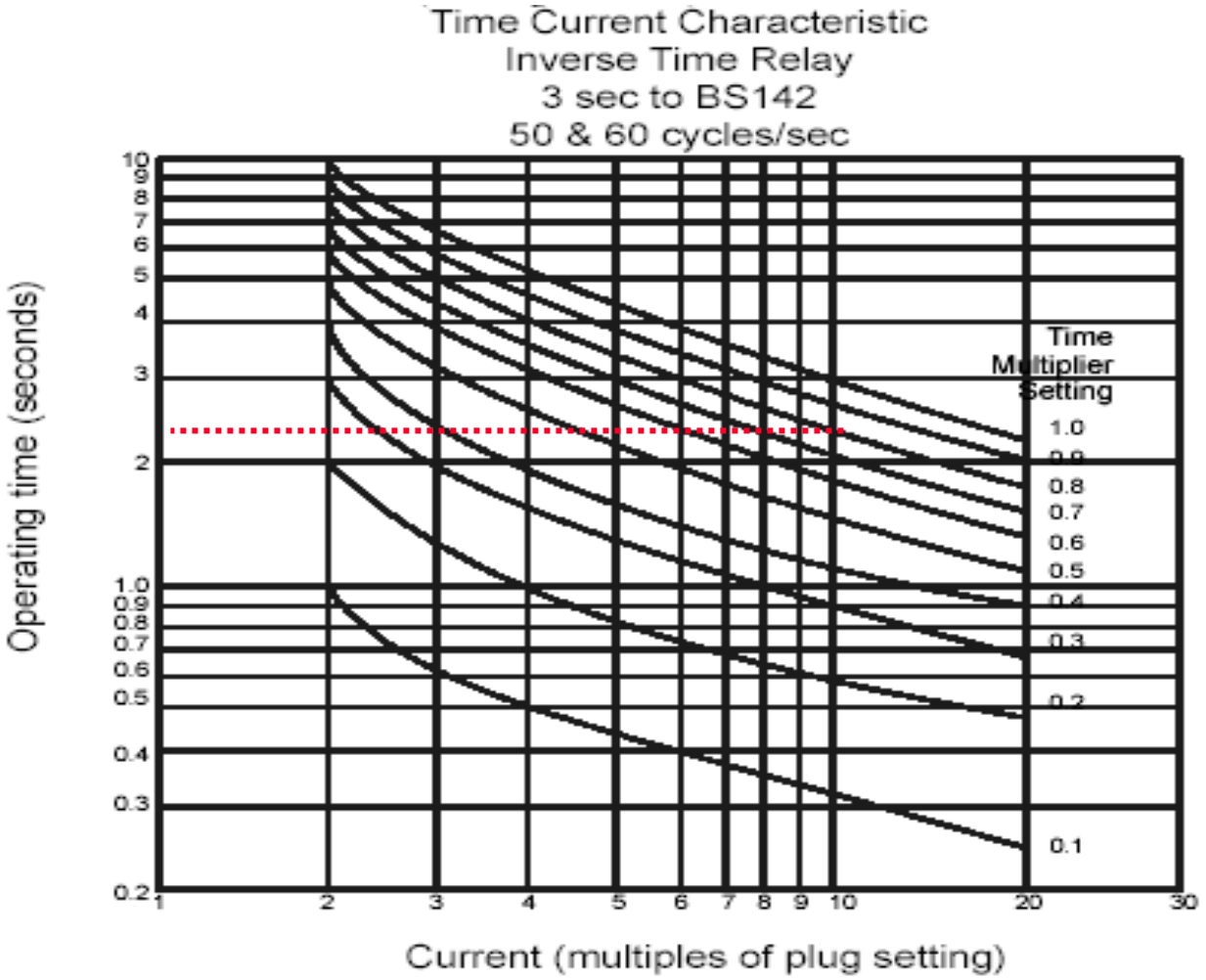


Figure 9.13
Multiples of plug setting current

Configuración de IDMT

- Esta técnica está bien si el ajuste requerido cae exactamente en la curva TM.
- Que no....
- Vaya al múltiplo de la corriente de ajuste del enchufe y lea el valor de segundos correspondiente a la curva del multiplicador de tiempo 1.0. Luego divida el ajuste de tiempo deseado por esta cifra. Esto le dará la configuración exacta del multiplicador de tiempo:
- Segundos figura en 10 tiempos = 3 (TSM = 1)
- Entorno deseado = 2,4
- Por lo tanto Multiplicador de ajuste de tiempo = 2,4 / 3 = 0,8

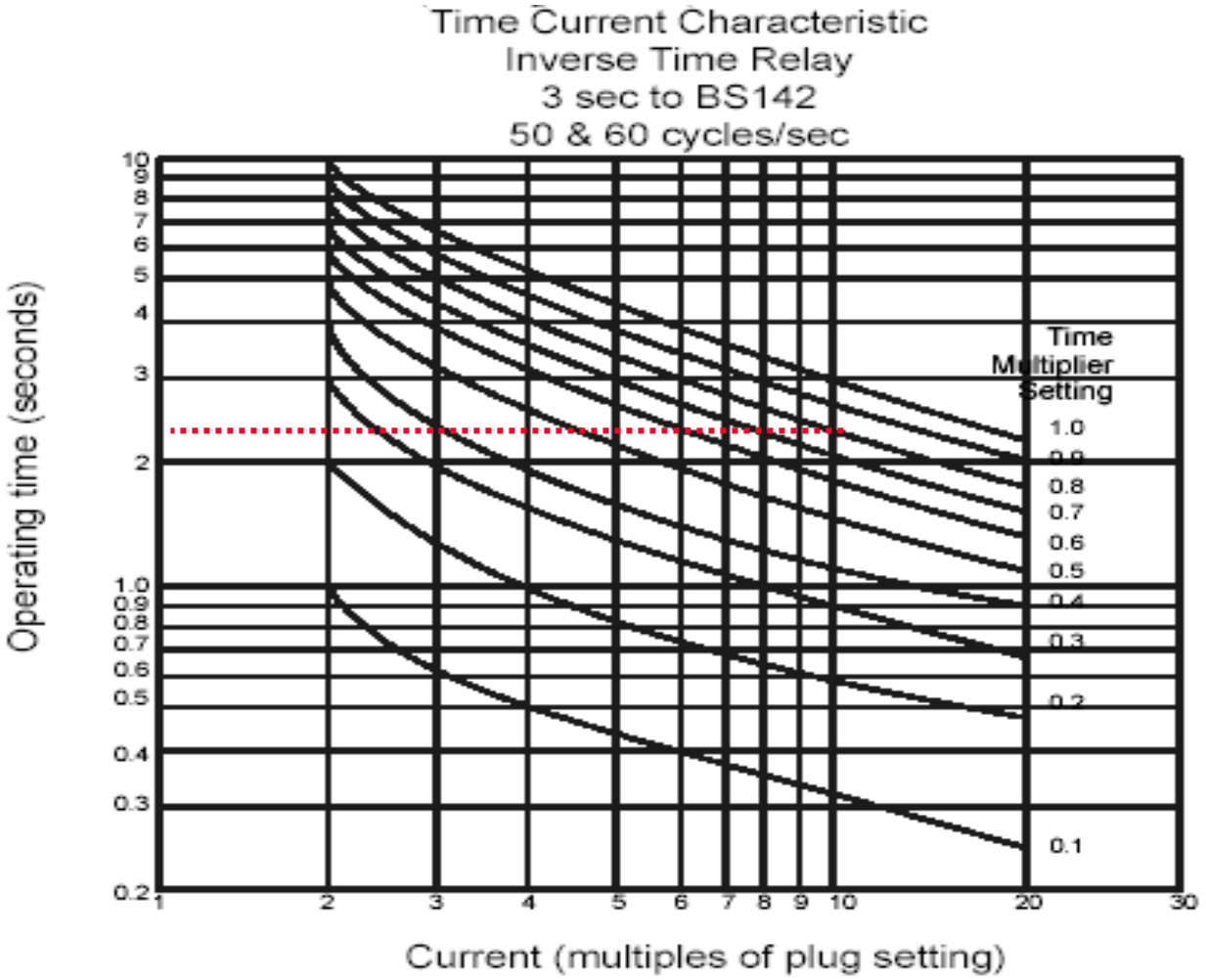


Figure 9.13
Multiples of plug setting current

Relé IDMT

- Alternativamente, si la configuración del enchufe actual se elige como 125% (6.25 A), el PSM del relé será PSM = 50 / 6.25 = 8. El gráfico muestra que la configuración del enchufe 8 veces funciona en 2,4 segundos, el multiplicador de tiempo debe ser de aproximadamente 0,7.

- Esta técnica está bien si el ajuste requerido cae exactamente en la curva TM. Sin embargo, si el ajuste deseado se encuentra entre las curvas, no es fácil estimar el ajuste intermedio con precisión, ya que las escalas del gráfico son log / log. Por tanto, se recomienda el siguiente procedimiento:

- Vaya al múltiplo de la corriente de ajuste del enchufe y lea el valor de los segundos correspondiente a la curva de 1.0 TM. Luego divida el ajuste de tiempo deseado por esta cifra. Esto le dará la configuración exacta del multiplicador de tiempo:

Valor de segundos a las 10 veces = 3 (a las 8 veces = 3,4)

Tiempo deseado (ajuste) = 2,4

-TSM = 2.4 / 3.0 = 0.8 o 2.4 / 3.4 = 0.7 en el segundo caso

Cálculo de recogida - Electromechani

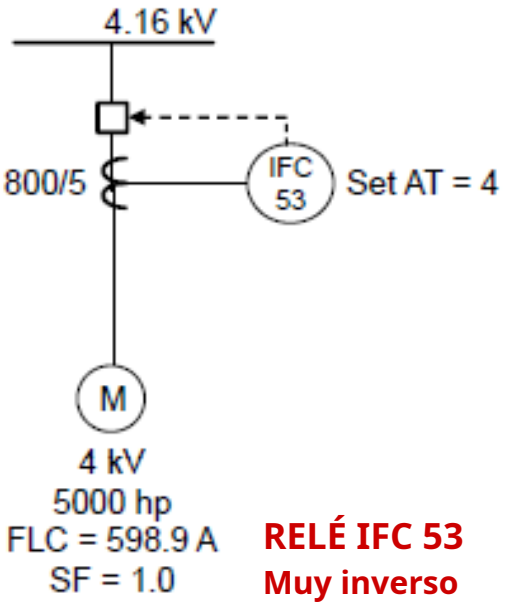
El relé debe activarse para valores de corriente superiores al FLC del motor (~ 600 A).

Para el IFC53, las configuraciones de ampere-tap (AT) disponibles son 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 1, 1.2, 1.5, 2, 2.5, 3 y 4.

Para este tipo de relé, la corriente de activación primaria se calculó como: $I_{Recoger}$ = $Yo_{Florida}$/ CTR = 600 / (800/5) = 3,75 Conjunto $I_{Recoger}$ = 4 A (secundario) $I_{Recoger}$ = 4 - CTR (principal)

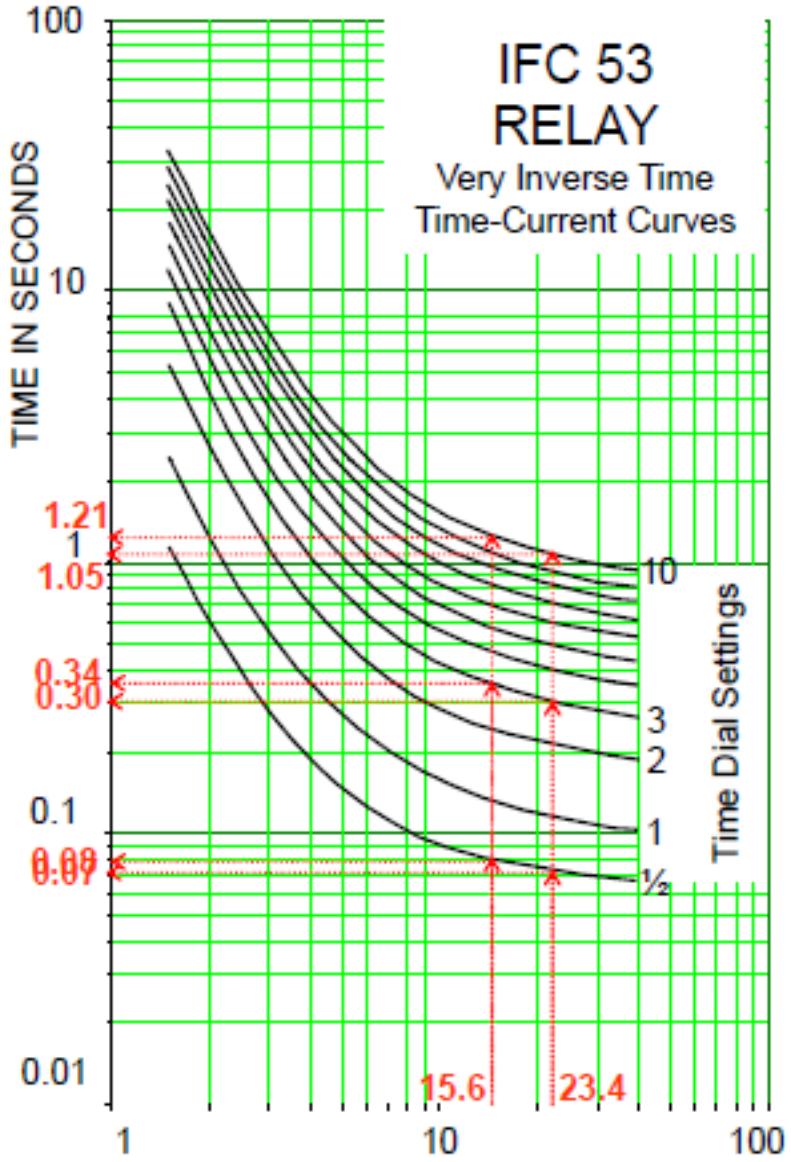
= 4 -(800/5)

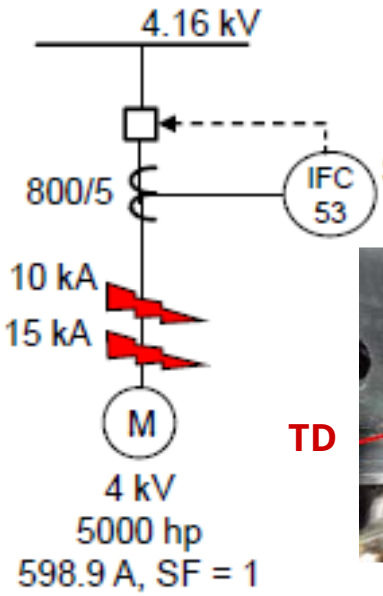
= 640 A> $I_{Florida}$



RELÉ IFC 53
Muy inverso

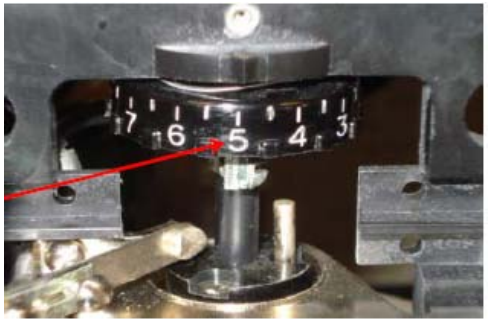
mi





Setting = 4 AT (640 A pickup)
TD = ??

TD



IFC 53 Relay Operating Times		
Fault Current	15 kA	10 kA
Multiple of Pick-up	15000/640 = 23.4	10000/640 = 15.6
Time Dial ½	0.07 s	0.08 s
Time Dial 3	0.30 s	0.34 s
Time Dial 10	1.05 s	1.21 s

Curvas inversas del estándar británico 142 e IEC 255

$$t = TMS \cdot \frac{-}{I_r - 1}$$

dónde:

- t = tiempo de funcionamiento en seg.
- TMS = ajuste del multiplicador de tiempo
- $I_r = (Yo / yo_s)$
  - I= corriente medida
  - I_s= corriente de ajuste del relé
- - Y - son constantes para la selección de curvas

C / C		
- Normal	0,02	0,14
- Muy	1,00	13,50
- Extremo	2,00	80,00

Relay Characteristic	Equation (IEC 60255)
Standard Inverse (SI)	$t = TMS \times \frac{0.14}{I_r^{0.02} - 1}$
Very Inverse (VI)	$t = TMS \times \frac{13.5}{I_r - 1}$
Extremely Inverse (EI)	$t = TMS \times \frac{80}{I_r^2 - 1}$
Long time standard earth fault	$t = TMS \times \frac{120}{I_r - 1}$

Característica de tiempo inverso estándar IEC

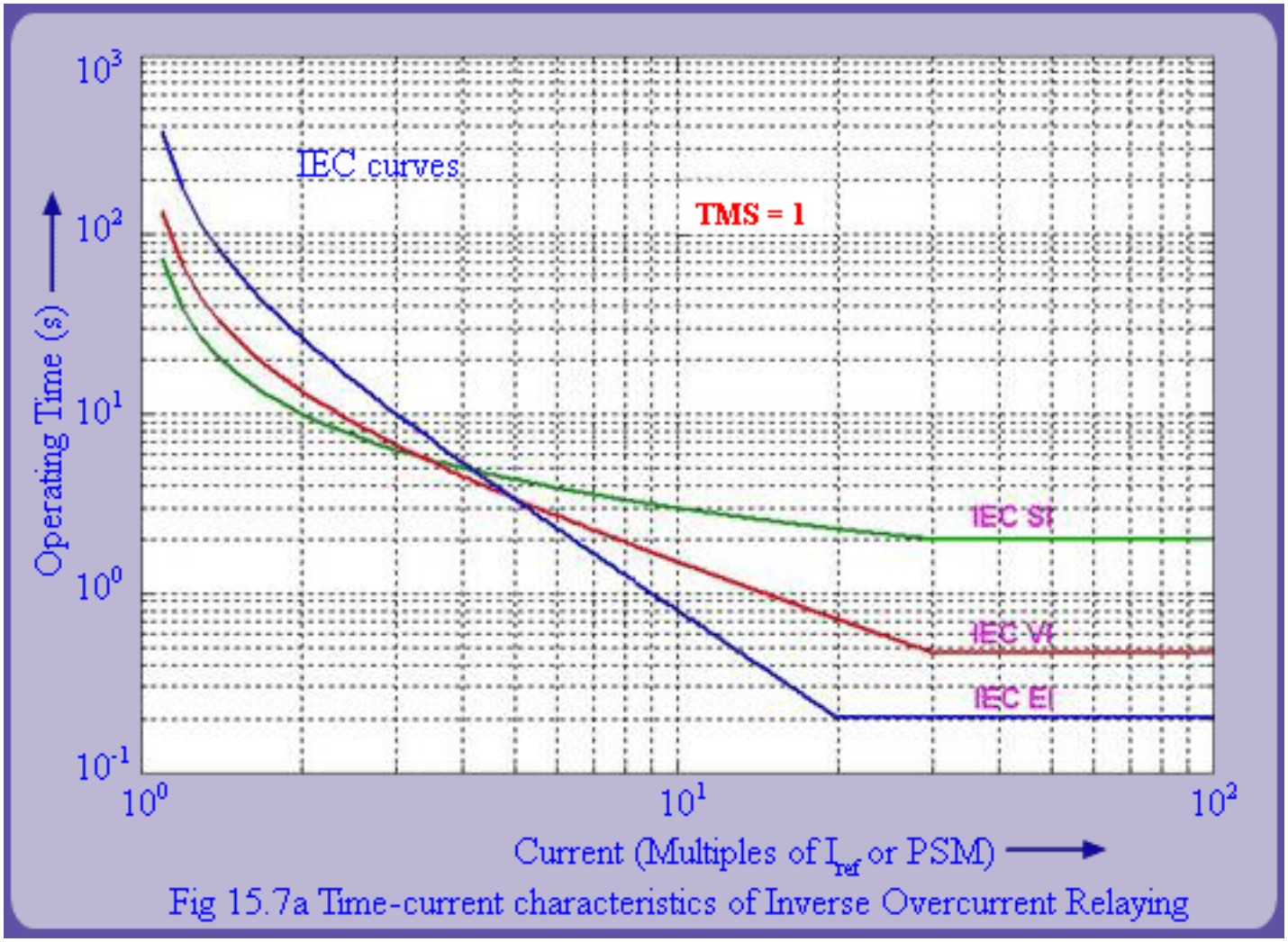
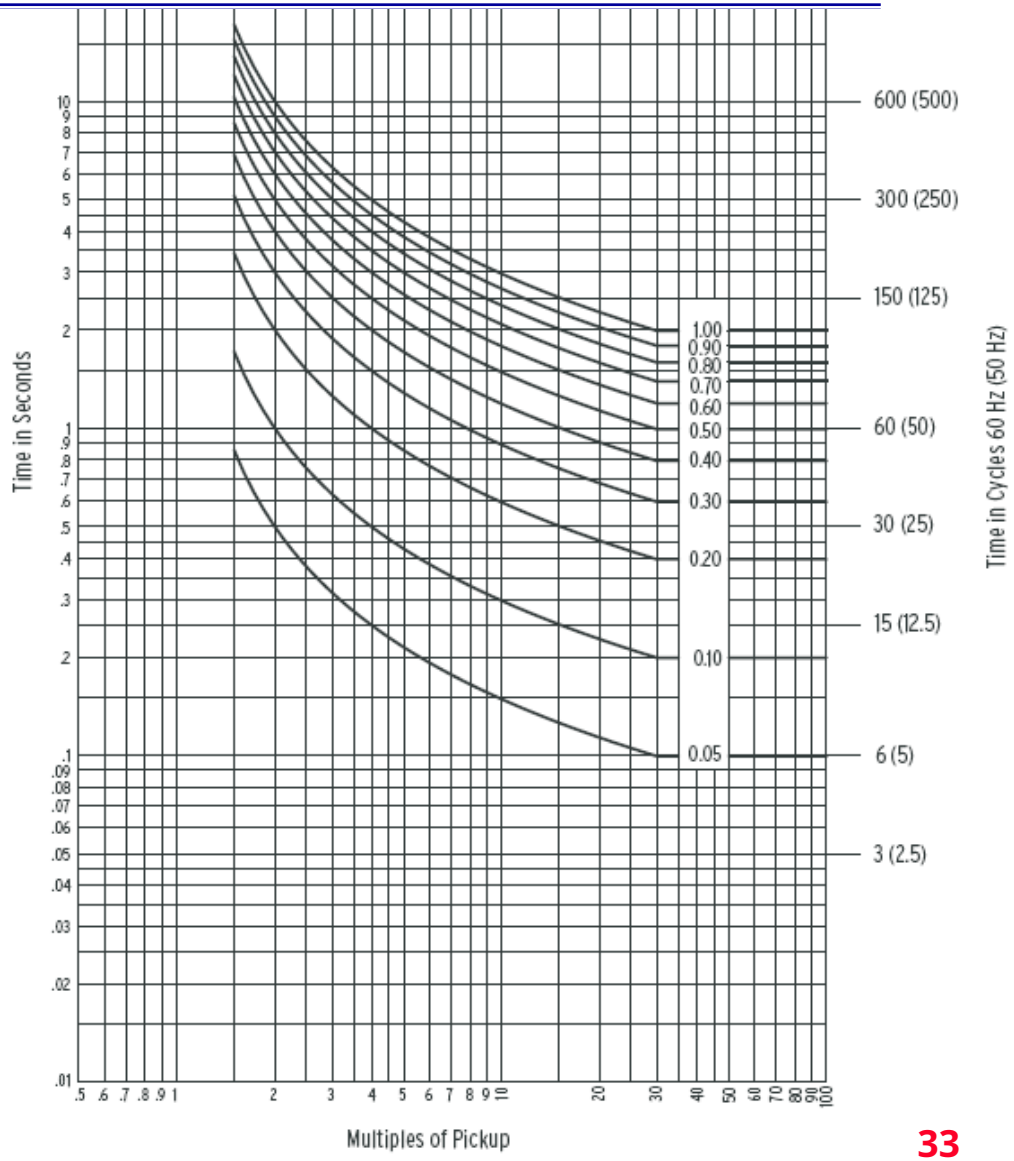


Fig 15.7a Time-current characteristics of Inverse Overcurrent Relaying

Estándar IEC Inver

Curve Type	Operating Time
C1 (Standard Inverse)	$T_p = TD \cdot \left(\frac{0.14}{M^{0.02} - 1}\right)$
C2 (Very Inverse)	$T_p = TD \cdot \left(\frac{13.5}{M - 1}\right)$
C3 (Extremely Inverse)	$T_p = TD \cdot \left(\frac{80}{M^2 - 1}\right)$
C4 (Long-Time Inverse)	$T_p = TD \cdot \left(\frac{120}{M - 1}\right)$
C5 (Short-Time Inverse)	$T_p = TD \cdot \left(\frac{0.05}{M^{0.04} - 1}\right)$

$$t - TMS - \frac{0{,}014}{METRO_{0{,}02} - 1}$$



C / C inverso estándar

Característica de tiempo inverso estándar IEEE

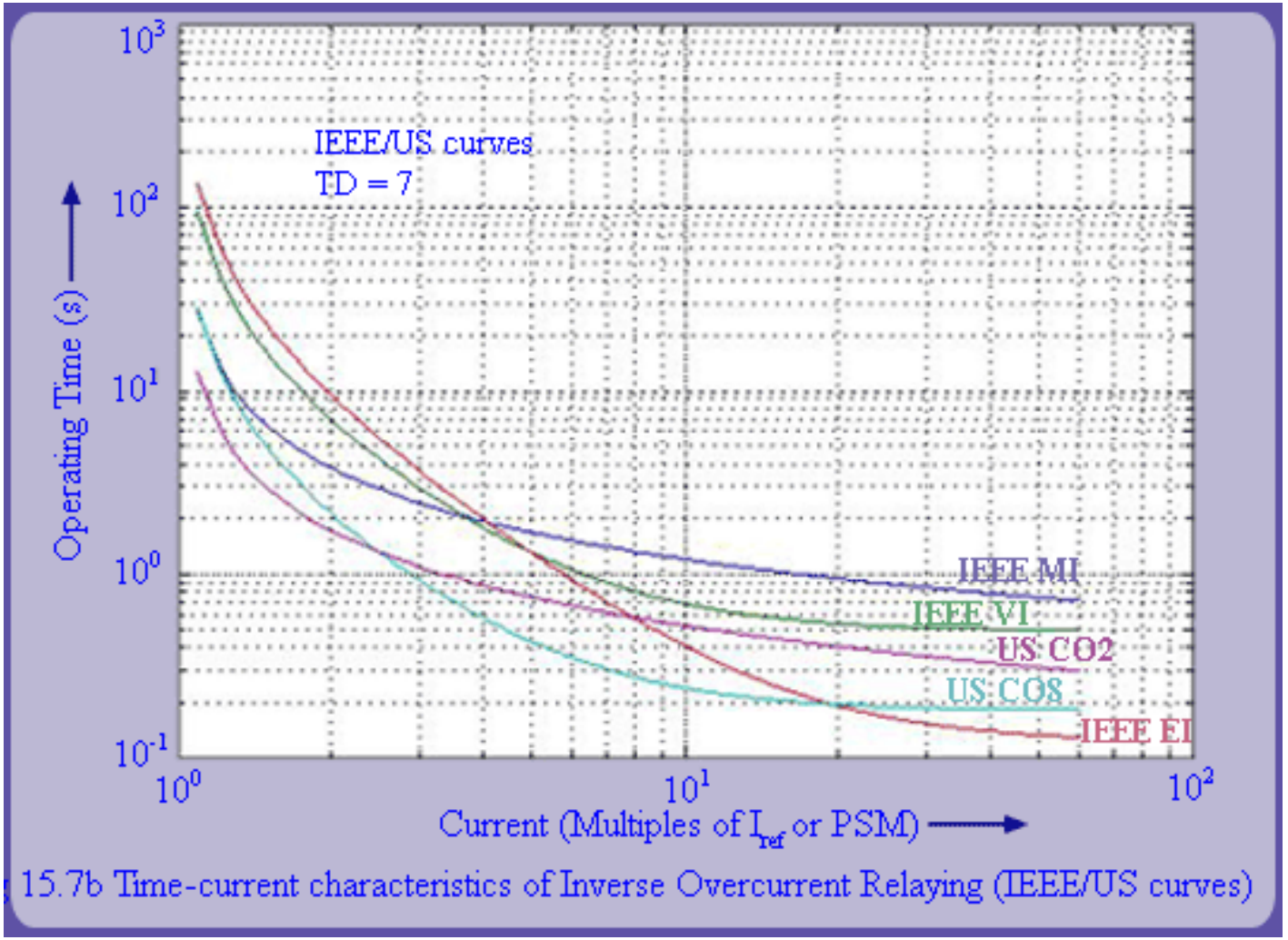
Tiempo de activación de un relé de sobrecorriente de tiempo inverso, para *METRO* > 1

$$t_{pag} = \frac{A}{\left(\frac{I}{I_{recoger}}\right)^{pag} - 1} + B \cdot TDS$$

- t_{pag}: es el tiempo de viaje en la ecuación en segundos
- *TDS*: es el ajuste del dial de tiempo
- I_r : es el $I_{aporte} / I_{recoger}$
  - ($I_{recoger}$ es el punto de ajuste de la corriente del relé)
  - *A*, *B*, *pag* : son constantes para proporcionar características de curva seleccionadas

C / C	*A*	*B*	*pag*
Moderadamente inverso	0.0515	0,1140	0,020
Muy inverso	19,61	0,491	2.000
Extremadamente inverso	28,20	0.1217	2,00

I

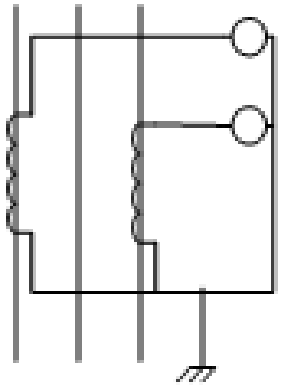
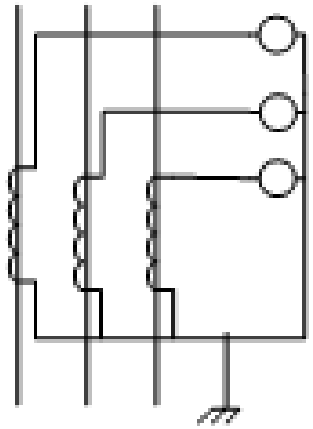


15.7b Time-current characteristics of Inverse Overcurrent Relaying (IEEE/US curves)

Métodos de conexiones de CT y relés en

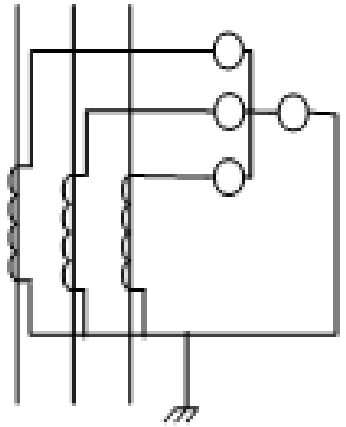
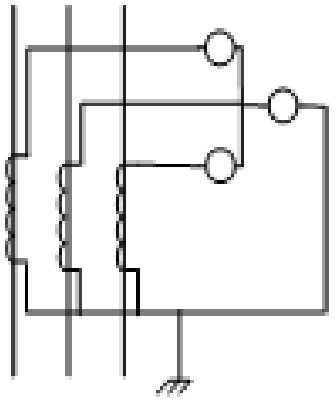
Protección OC de circuitos trifásicos

Protección OC logrado por medio de tres **Relés OC** o por dos OC rela

1		Dos relés OC con dos CT para protección de falla de fase a fase.
2		Tres relés OC con tres CT para protección de falla de fase a fase.

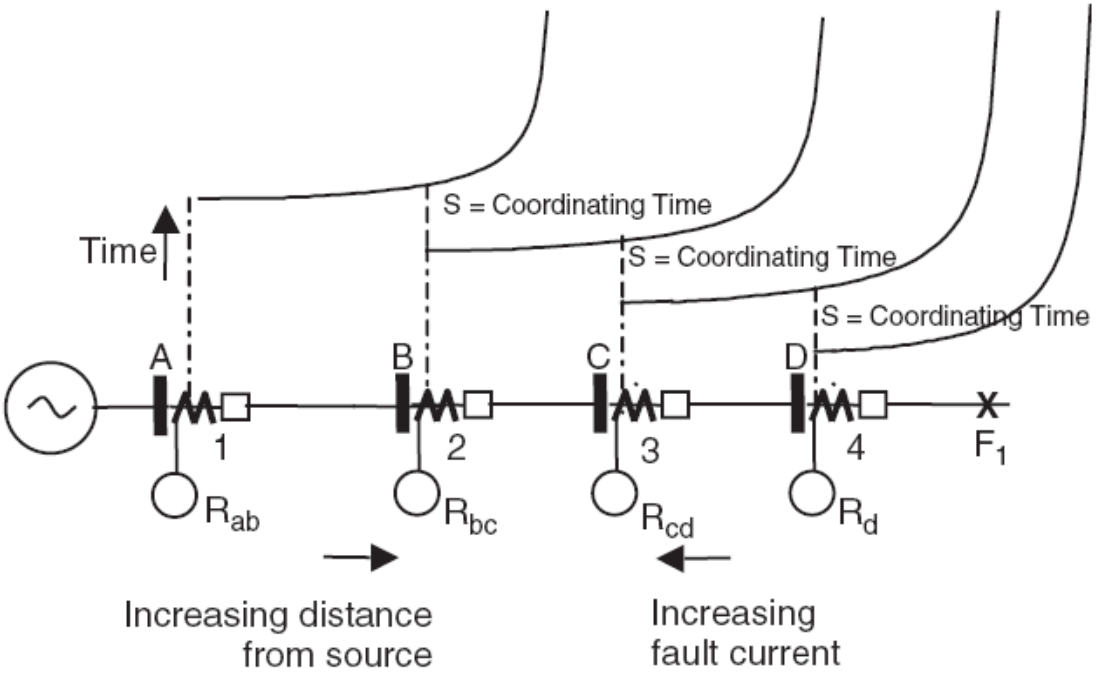
Métodos de conexiones de CT y relés en

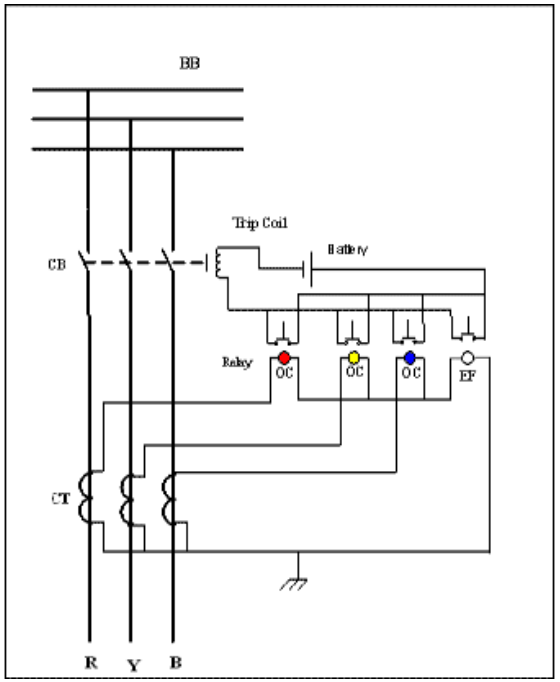
ección de circuitos trifásicos

3		Tres relés OC con tres CT para protección de falla de fase a fase y falla de fase a tierra. Configuración de EF menor que la configuración de falla de fase
4		Dos relés OC para protección fase a fase Un relé EF para protección de falla de fase a tierra

Tema 1: Protección del sistema de energía

ción





Coordinación por clasificación de tiempo

- La selectividad y la coordinación por clasificación de tiempo se pueden lograr mediante dos filosofías:

soy

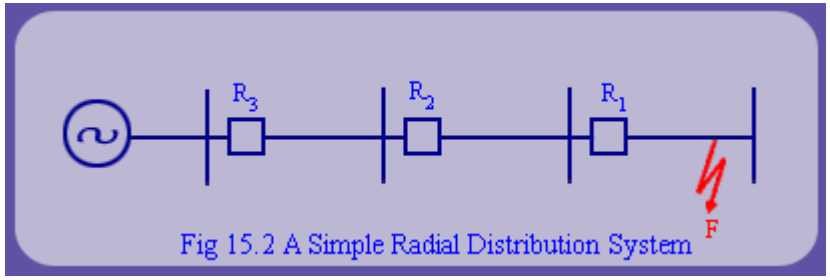
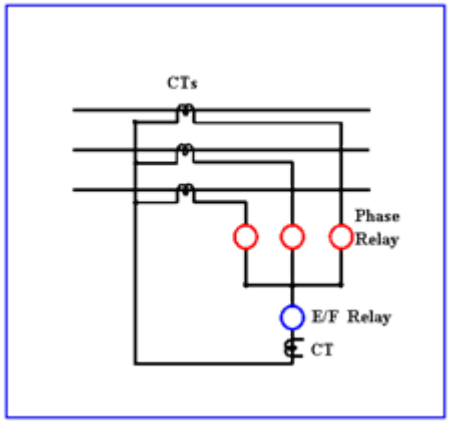


Fig 15.2 A Simple Radial Distribution System



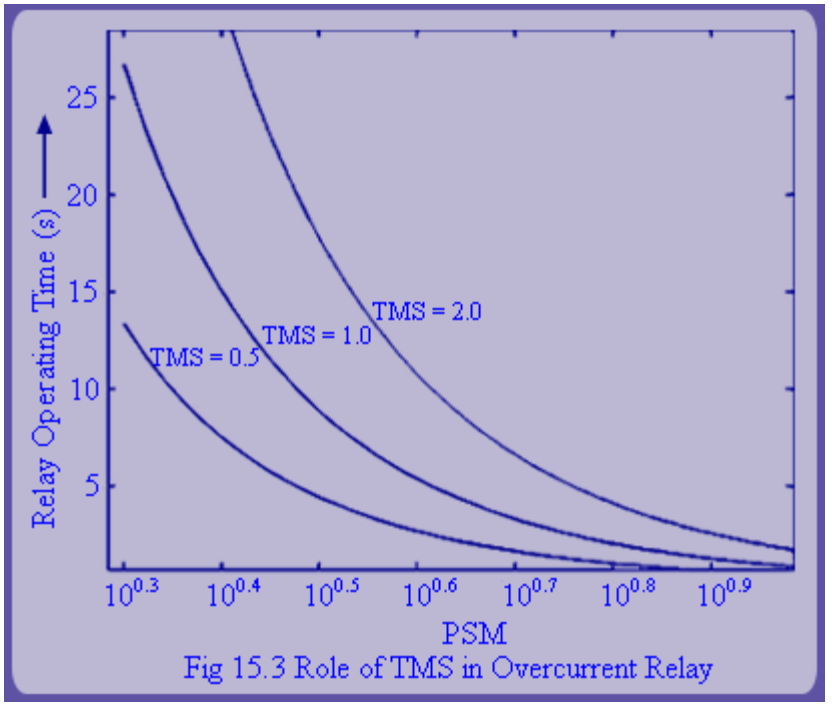


Fig 15.3 Role of TMS in Overcurrent Relay

Retraso de tiempo definido (DTL) Filosofía

- Coordinar con un tiempo definido de funcionamiento entre relés sucesivos (0,5 s)
- Relé R_1 está configurado para funcionar en el menor tiempo posible
- Los tiempos de funcionamiento del relé aumentan secuencialmente a intervalos de 0,5 s
- Desventaja
  actual) Clea

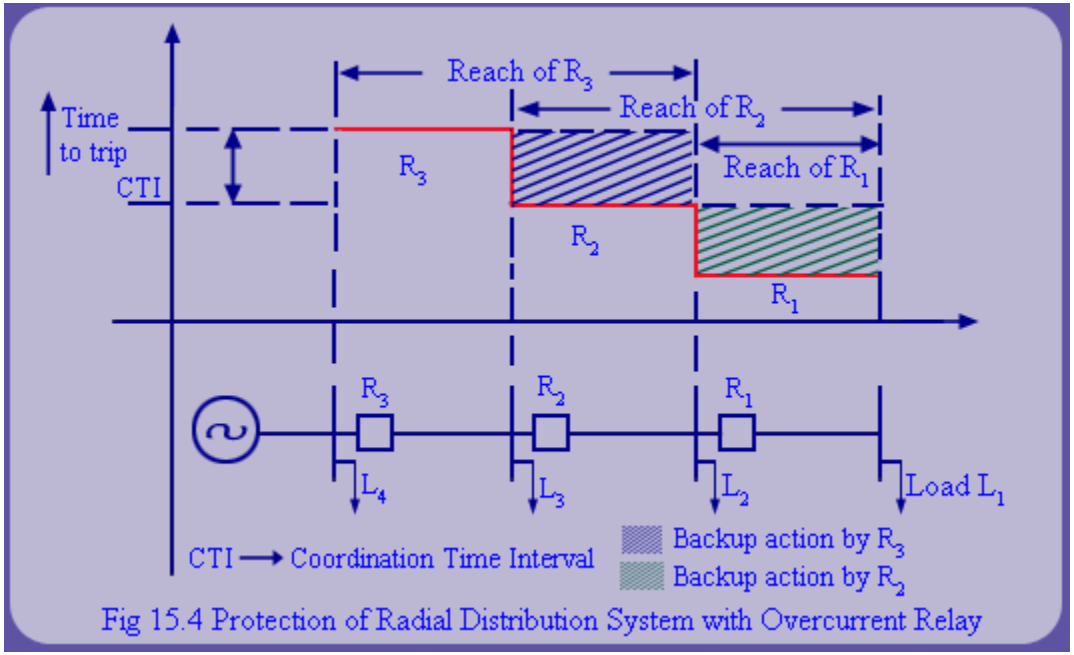
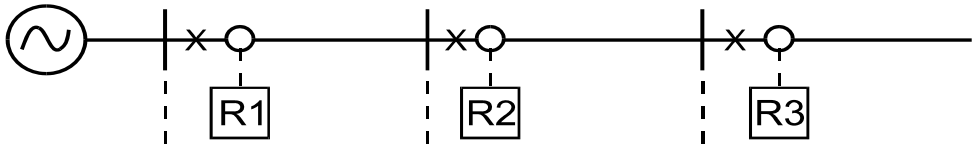


Fig 15.4 Protection of Radial Distribution System with Overcurrent Relay

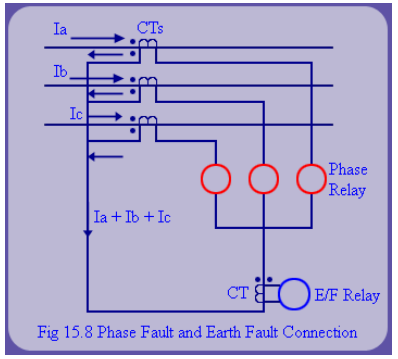
Tiempo mínimo definido inverso- (IDMT) Filosofía

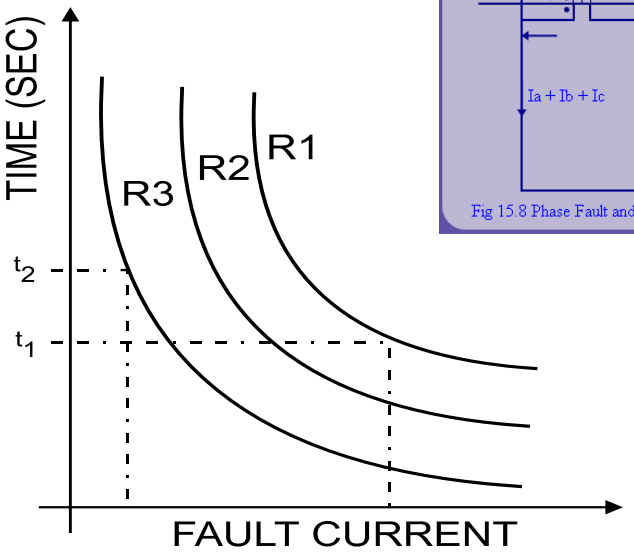
- Usar inversa *tI* Características (IDMT).
- El relé opera más rápido en las corrientes de falla más altas y más lento en las corrientes de falla más bajas.
- Los relés IDMT deben configurarse para coordinarse con los relés ascendentes y descendentes



- **Uso de relés electromecánicos**
  - Necesita un intervalo de aproximadamente 0,4 segundos entre relés sucesivos debido a errores aceptables
  - Impone restricciones basadas en el diseño de la red.
- **Uso de relés digitales**
  - Puede conseguir una mejor coordinación con un intervalo de tiempo considerablemente reducido.

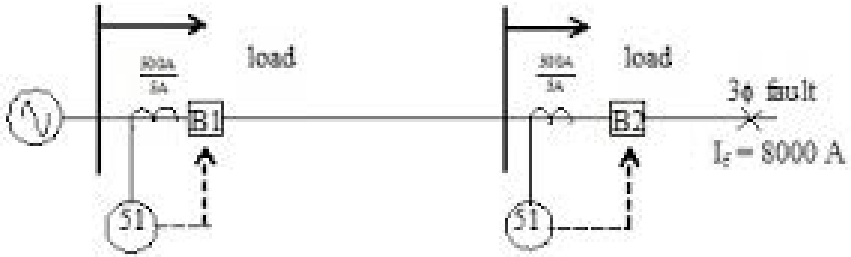
    (0,3 segundos) debido a mejores precisiones





Alimentador O

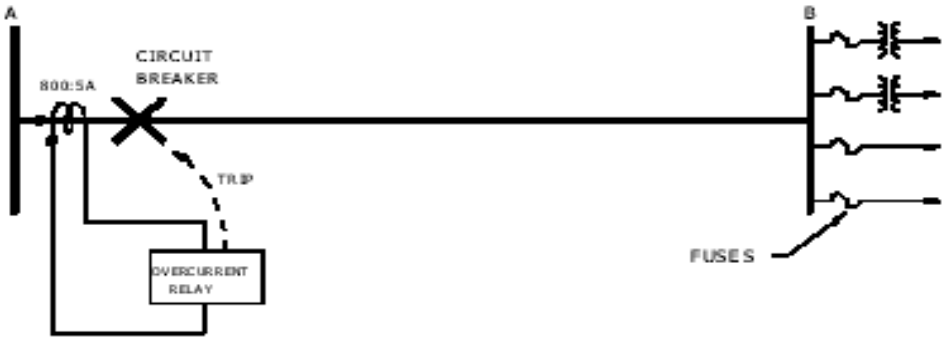
Con mucho, el tipo de protección más común para los alimentadores de distribución radial es **Sobrecorriente** proteccion.



Distribución típica

los voltajes del sistema son 33 kV y 11 kV

El punto de suministro suele estar a pocos kilómetros de la carga.



Protección del O / C del alimentador

Con ***Radial*** alimentadores hay un solo punto de suministro posible, y el flujo de corriente de falla está en ***una sola dirección***.

Protección contra la sobretensión por lo tanto, se puede utilizar para proporcionar una protección adecuada.

La corriente que ingresa al alimentador en el disyuntor se mide por medio de un transformador de corriente ubicado en la base del buje del disyuntor.

La corriente secundaria CT se suministra a los relés OC. Estos relés OC deben operar e iniciar el disparo si se detecta una condición de falla en el alimentador.

CRITERIOS PARA ESTABLECER EL TIEMPO INVERSO RELÉ SOBRE CORRIENTE

1. El relé no debe operar para la corriente de carga máxima que será transportada por el alimentador.

2. La configuración del relé debe ser lo suficientemente sensible para que el relé funcione y elimine las fallas en el extremo del alimentador.

3. La característica de funcionamiento del relé debe configurarse para coordinarse con otros dispositivos de protección, como fusibles, "aguas abajo" de la estación de suministro.

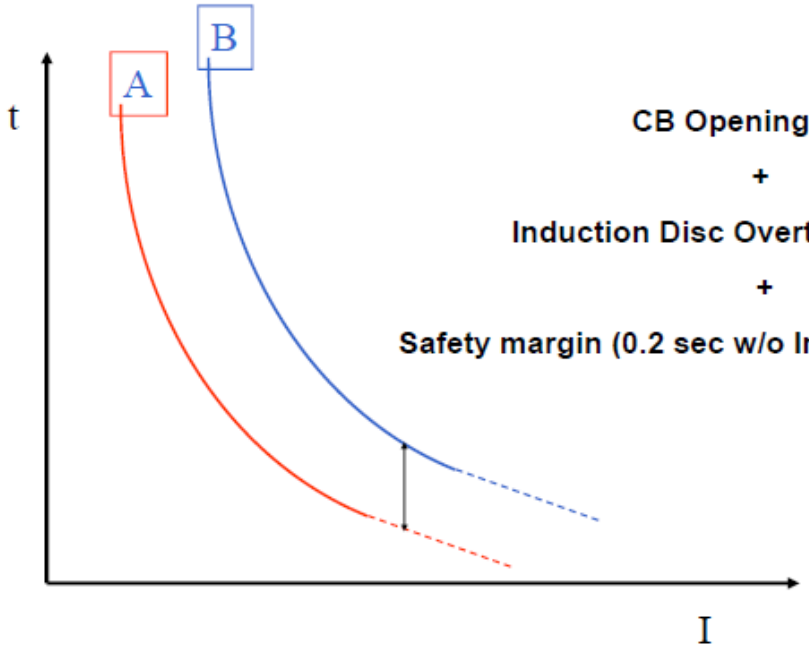
PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE DIRECCIONAL

- Si hay generación conectada a un alimentador de distribución, el sistema ya no está **RADIAL**.

- La corriente de falla puede fluir en cualquier dirección: hacia el alimentador desde el sistema de energía **o** fuera del alimentador del generador.

- Se debe usar un relé o elemento direccional para supervisar los elementos del relé de sobrecorriente para permitir que se dispare la protección contra sobrecorriente. **SOLAMENTE** si la corriente de falla fluye hacia el alimentador desde el sistema de energía.

Las curvas no deben cruzar



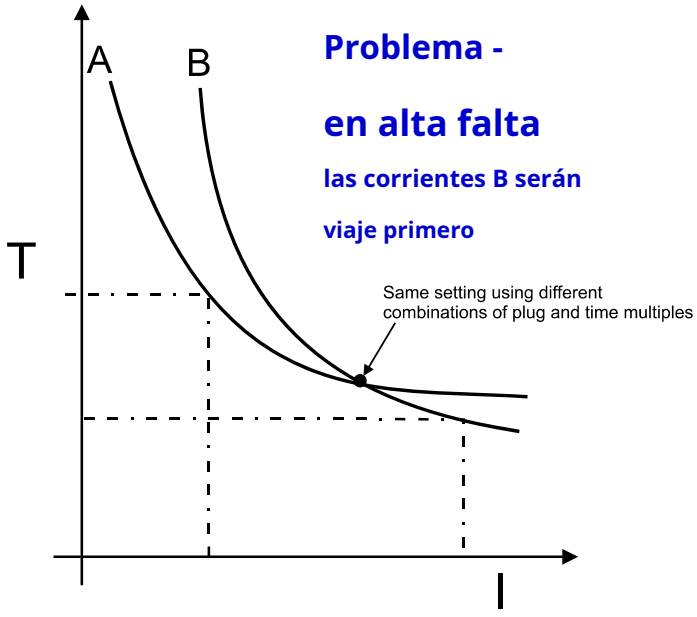
CB Opening Time

+

Induction Disc Overtravel (0.1 sec)

+

Safety margin (0.2 sec w/o Inst. & 0.1 sec w/ Inst.)



Problema -

en alta falta

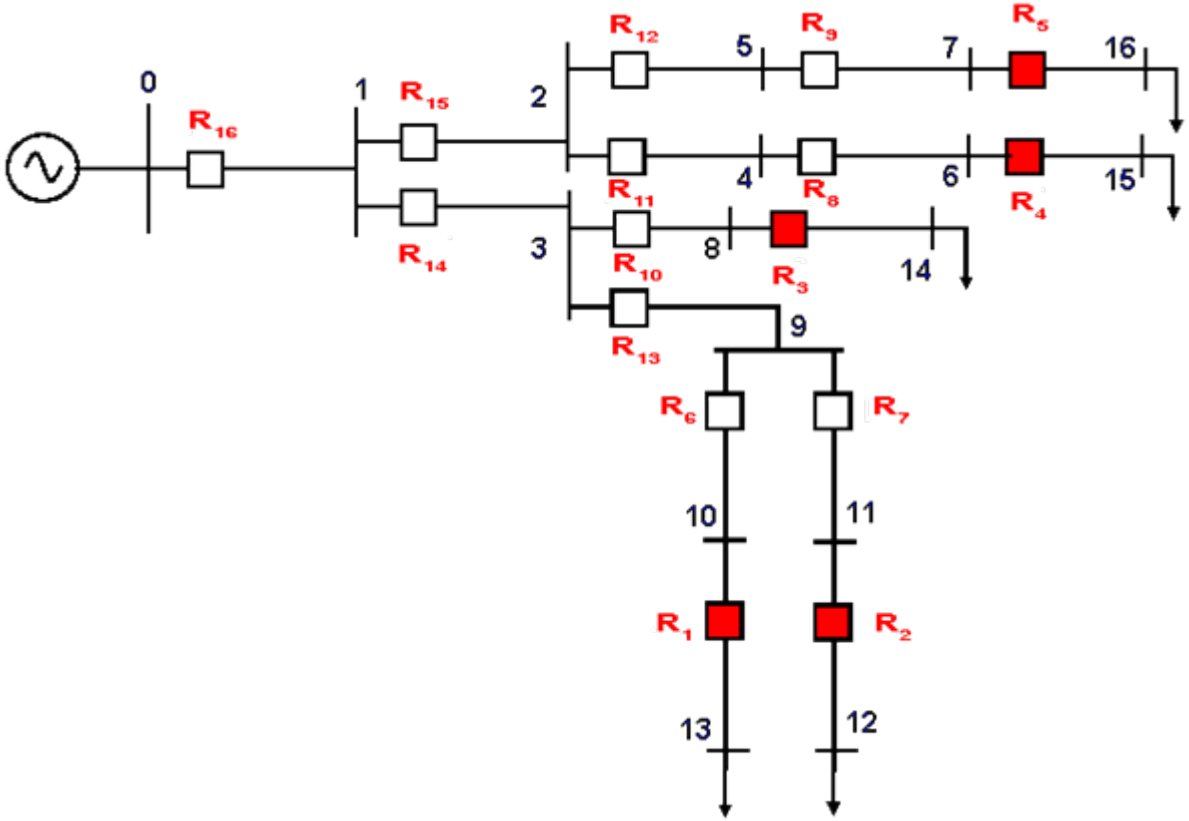
las corrientes B serán

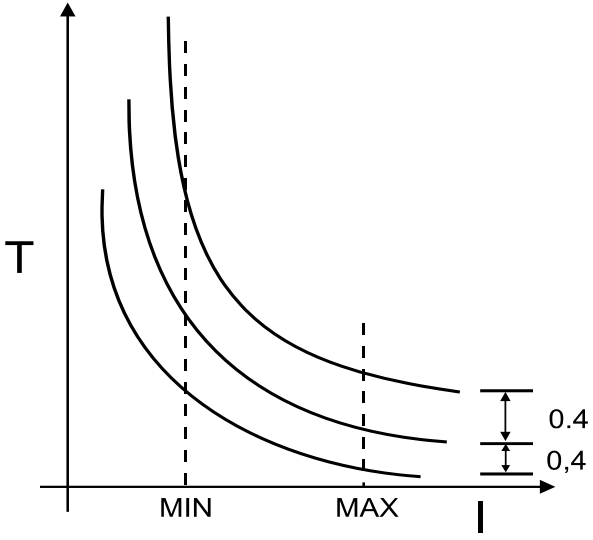
viaje primero

Coordinación ideal de curvas de ajuste

¡Dos reglas básicas!

- Pi
- METRO





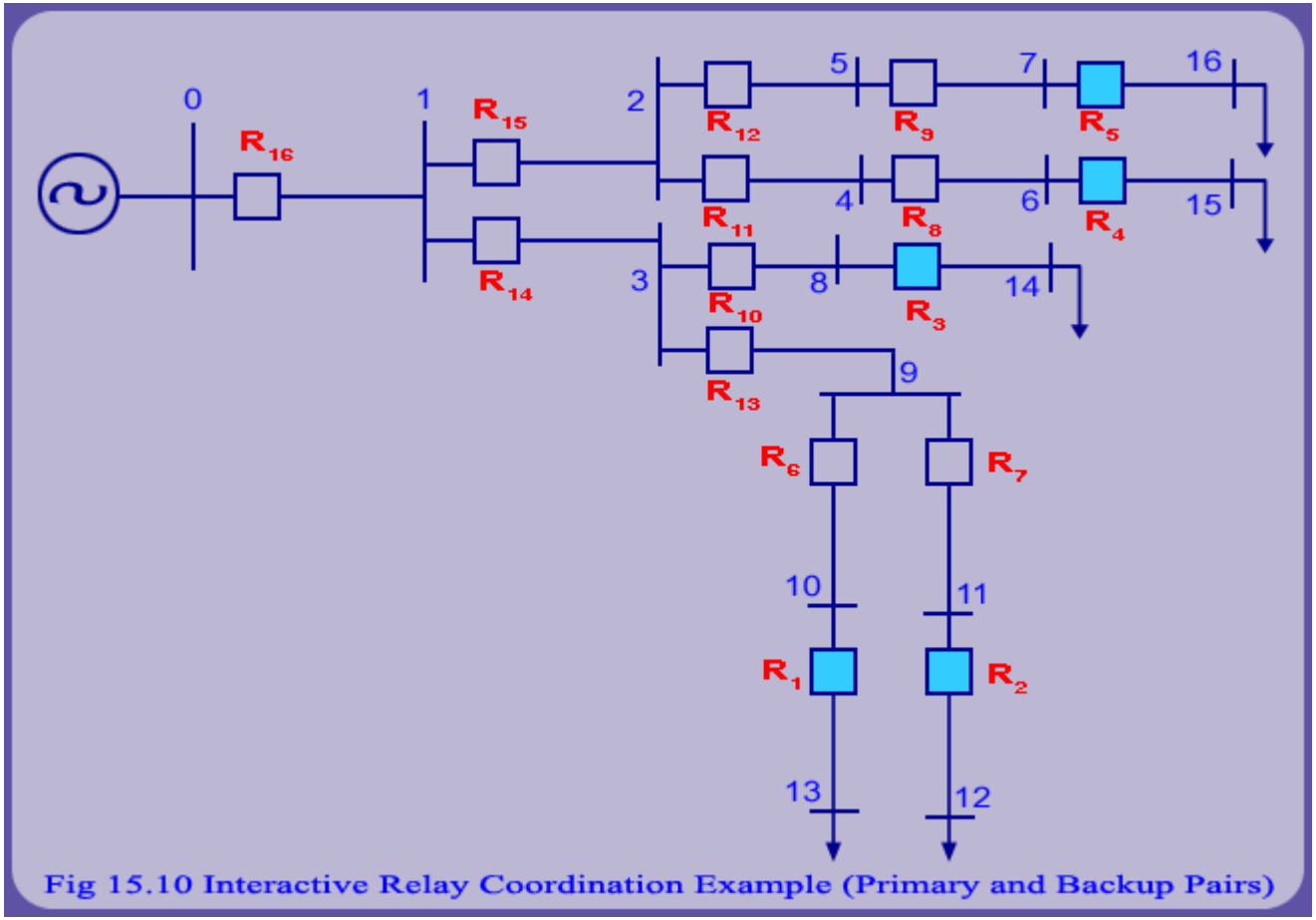


Fig 15.10 Interactive Relay Coordination Example (Primary and Backup Pairs)

Relé principal

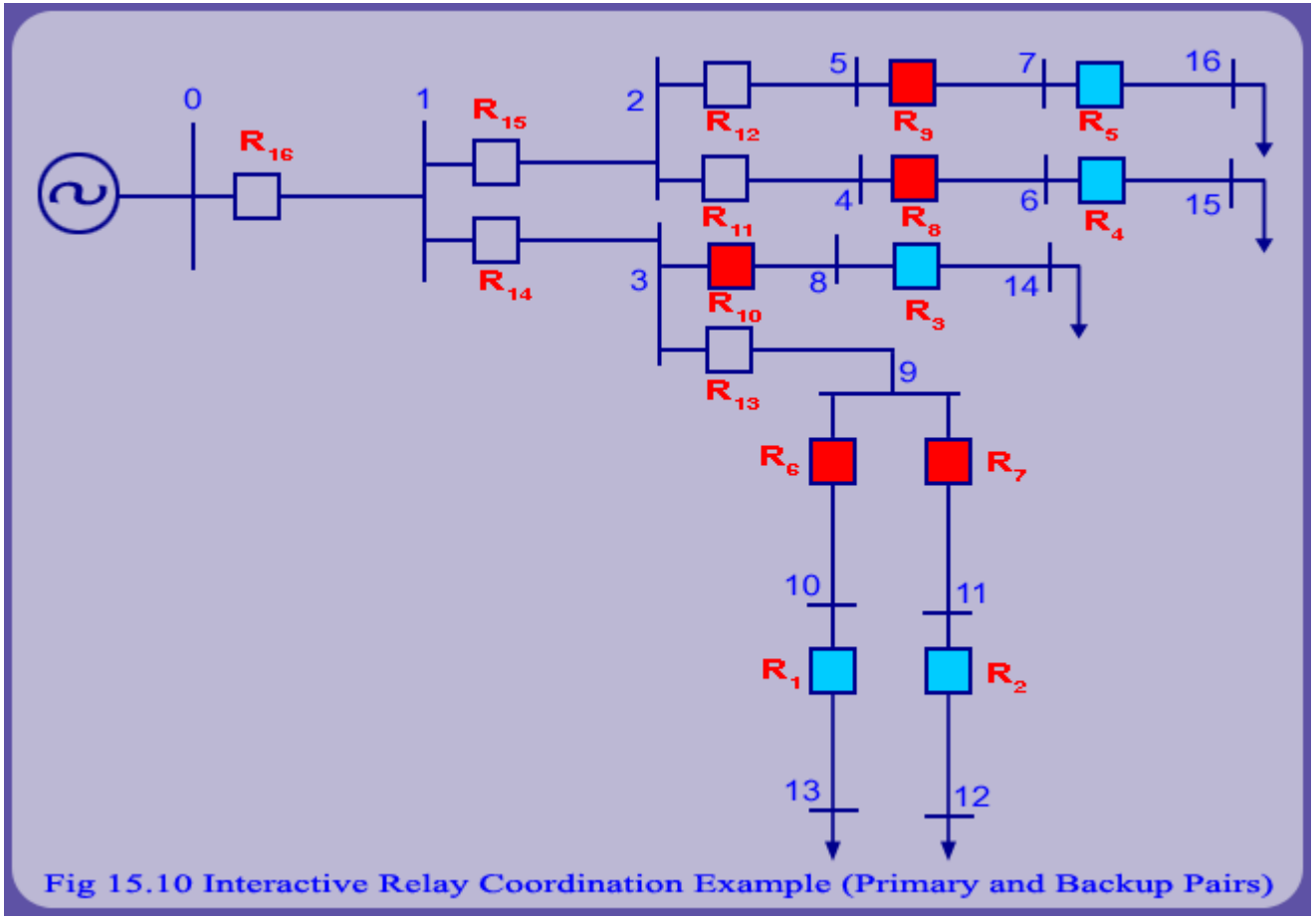


Fig 15.10 Interactive Relay Coordination Example (Primary and Backup Pairs)

Relé principal

Relé de respaldo

Ide

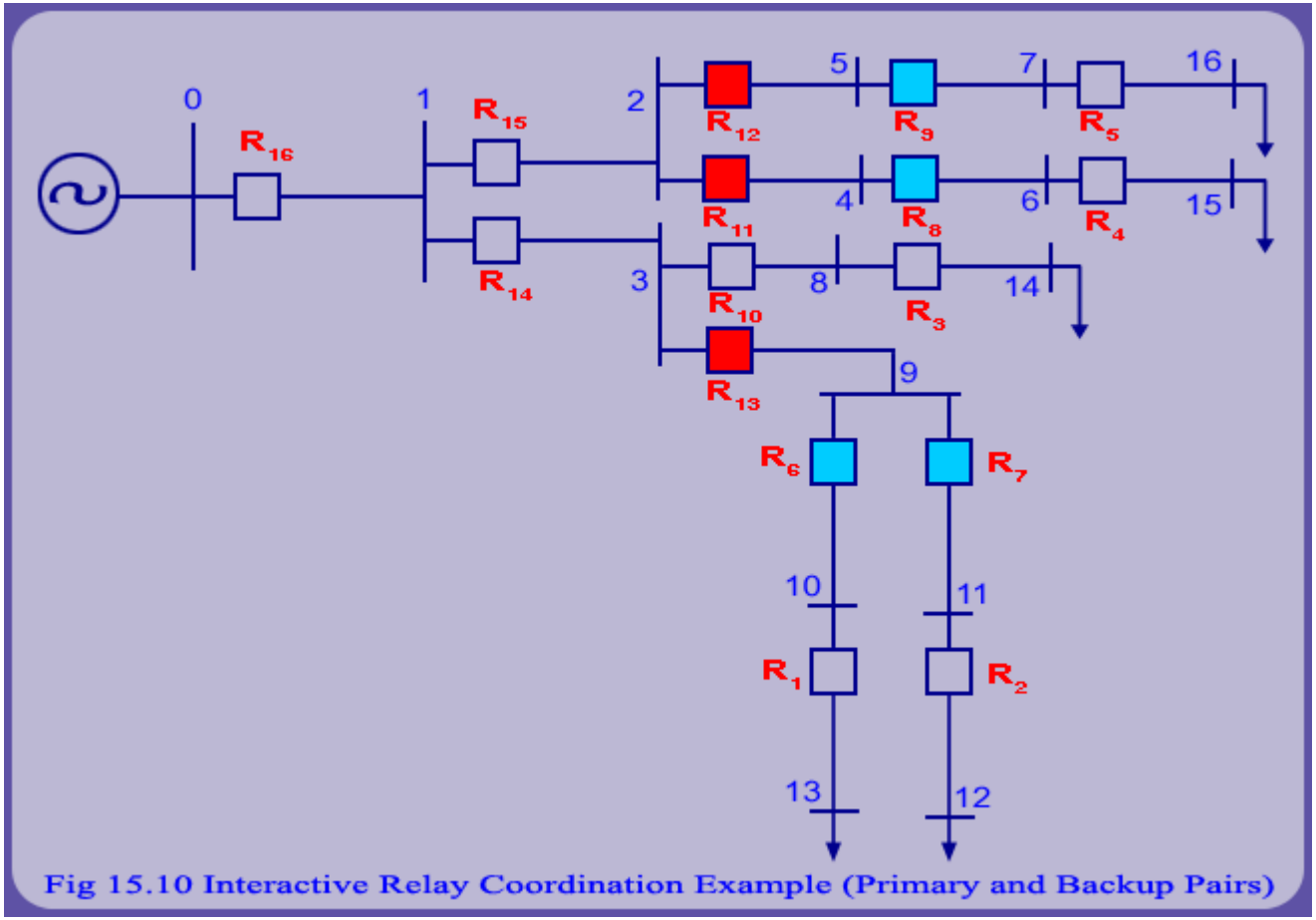


Fig 15.10 Interactive Relay Coordination Example (Primary and Backup Pairs)

Relé principal

Relé de respaldo

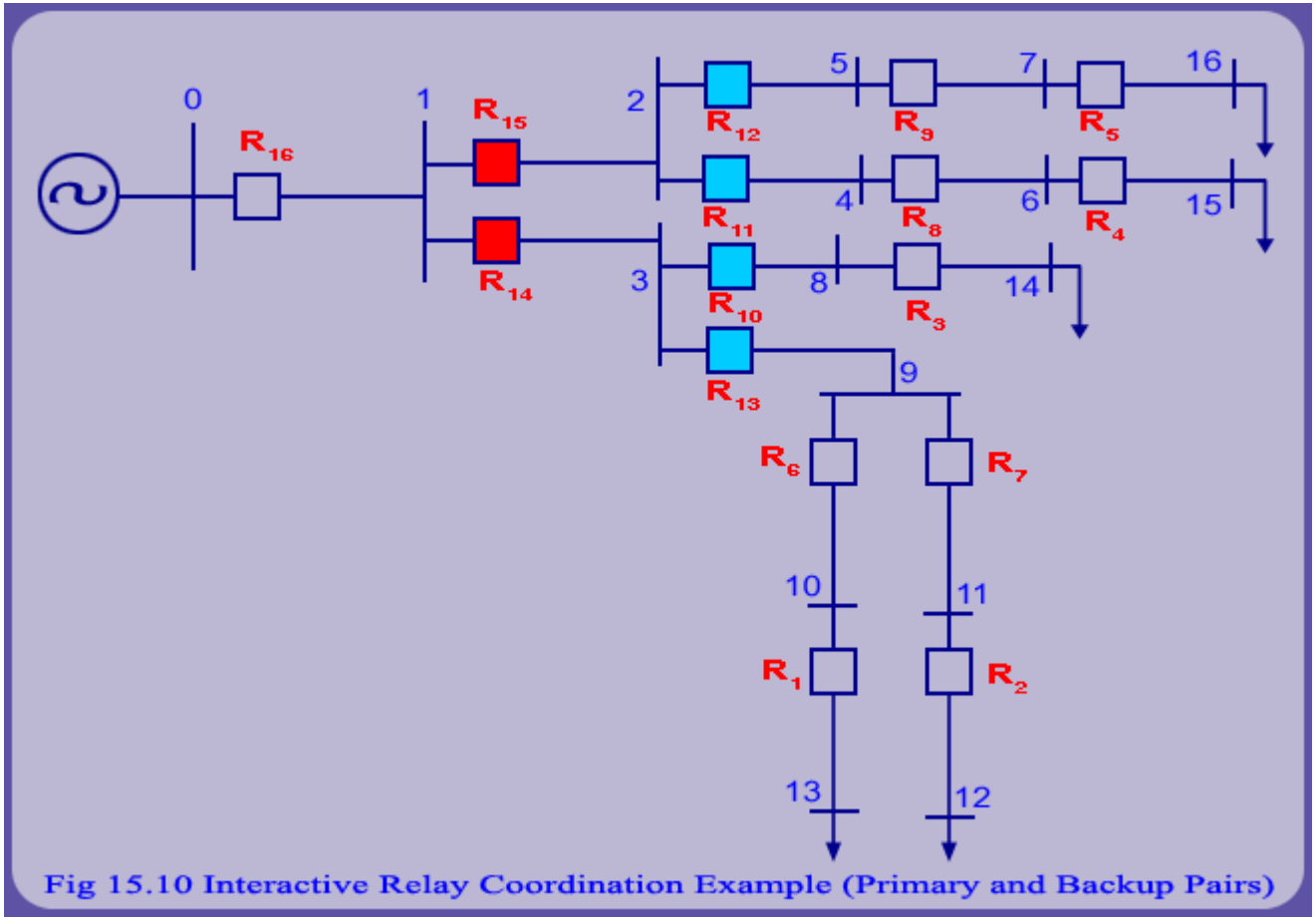


Fig 15.10 Interactive Relay Coordination Example (Primary and Backup Pairs)

Relé principal

Relé de respaldo

Ide

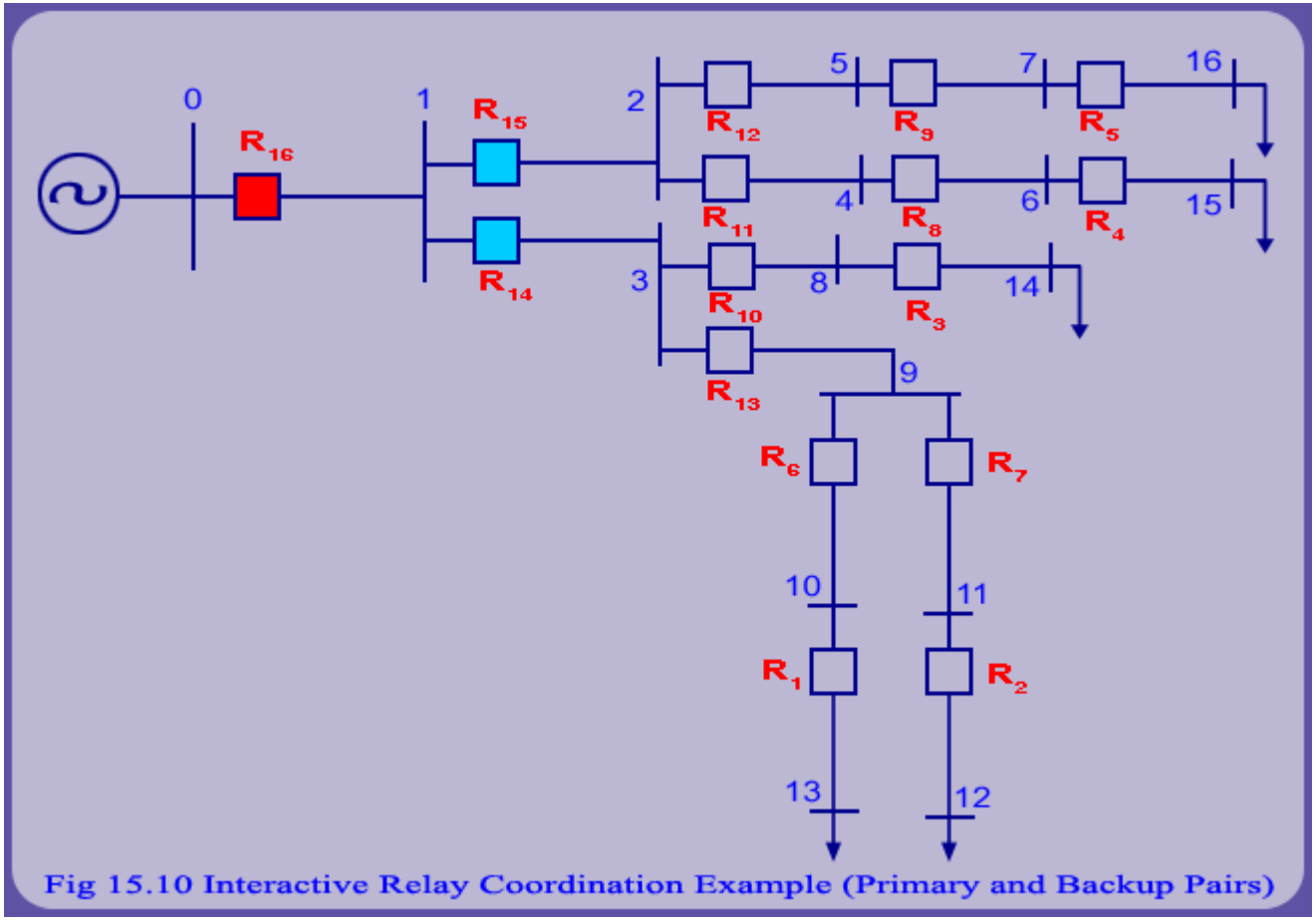
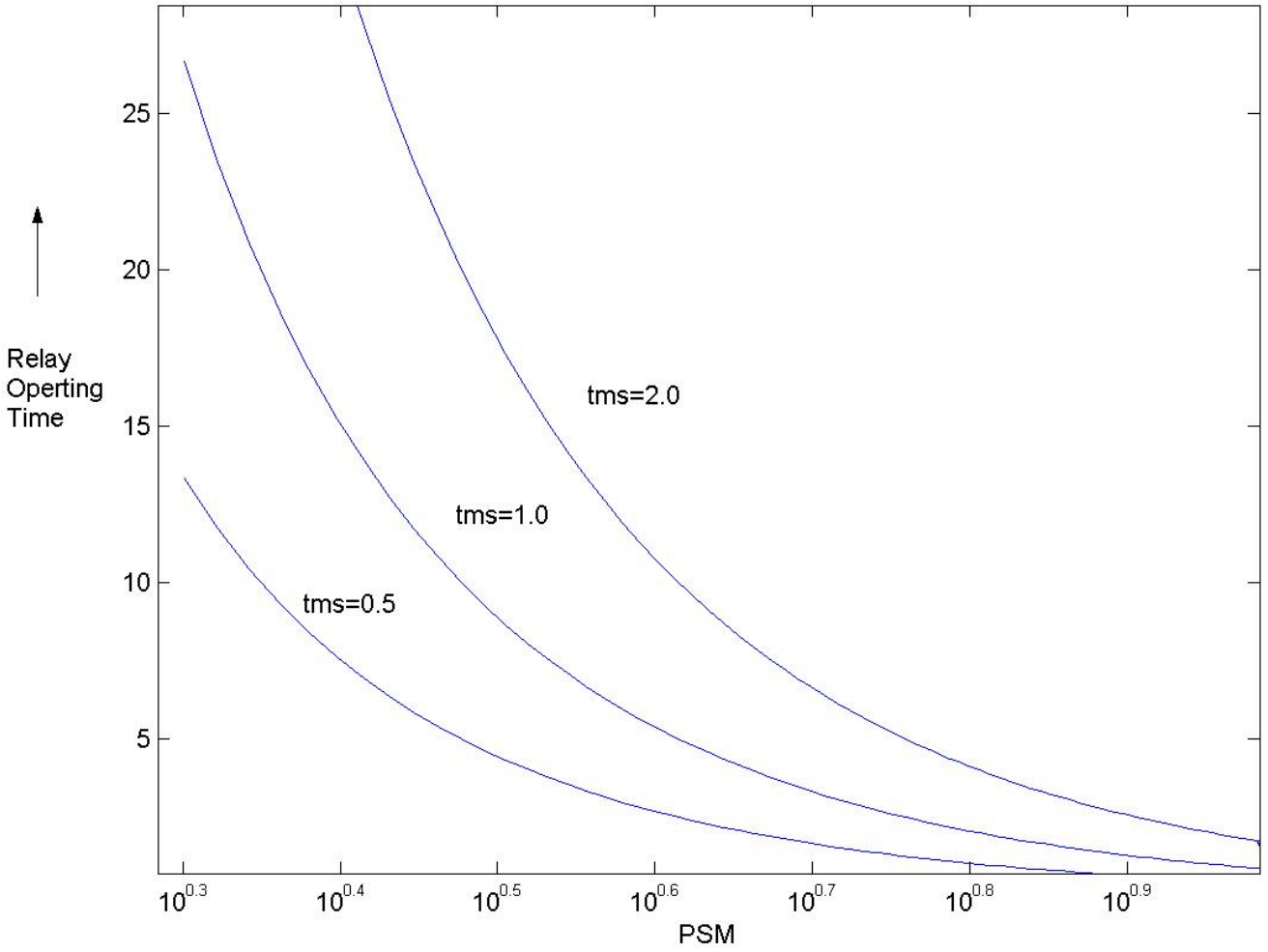


Fig 15.10 Interactive Relay Coordination Example (Primary and Backup Pairs)

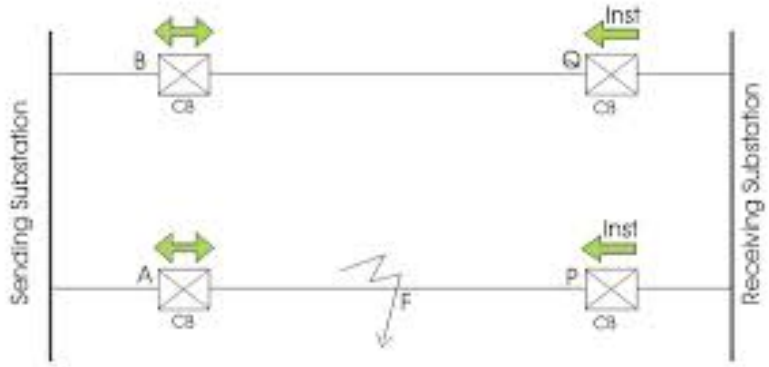
Relé principal

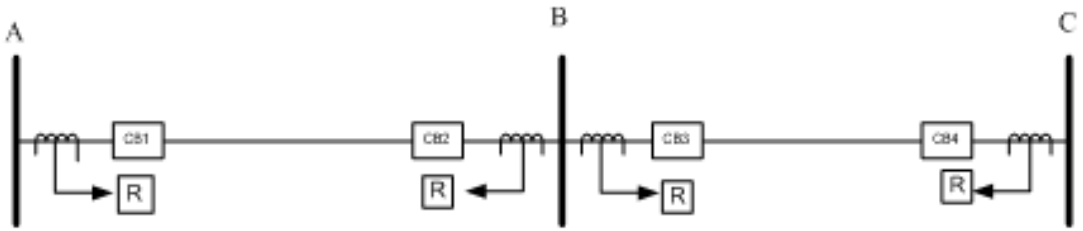
Relé de respaldo


Relay
Operting
Time
25
20
15
10
5
tms=2.0
tms=1.0
tms=0.5
$10^{0.3}$
$10^{0.4}$
$10^{0.5}$
$10^{0.6}$
$10^{0.7}$
$10^{0.8}$
$10^{0.9}$
PSM

Tema 1: Protección del sistema de energía

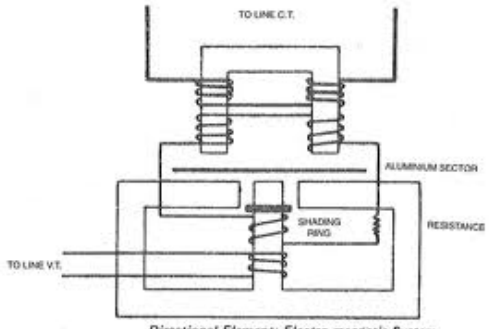
1.4-Parte 3: Sobrecorriente direccional





Relés direccionales de sobrecorriente

- Cuando la corriente de falla puede fluir en ambas direcciones a través de la ubicación del relé, puede ser necesario hacer que la respuesta del relé sea direccional mediante la introducción de una función de control direccional. La instalación se proporciona mediante el uso de entradas de voltaje adicionales al relé.
- La protección de sobrecorriente direccional comprende un relé de sobrecorriente y un relé direccional de potencia, en una sola carcasa de relé. El relé direccional de potencia no mide la potencia, pero está dispuesto para responder a la dirección del flujo de potencia.
- El relé direccional reconoce la dirección en la que ocurre la falla, en relación con la ubicación del relé. Se establece tal
  fallas que ocurren en una sola dirección. Lo hace n
  ocurriendo en la otra dirección.

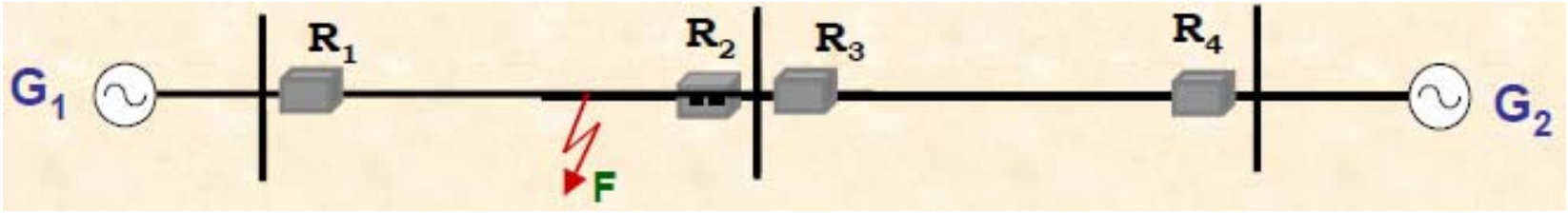


Directional Element: Electro-magnetic System.

Relés direccionales de sobrecorriente

- Cuando la corriente de falla puede fluir en ambas direcciones a través de la ubicación del relé, puede ser necesario hacer que la respuesta del relé sea direccional mediante la introducción de una función de control direccional. La instalación se proporciona mediante el uso de entradas de voltaje adicionales al relé.
- La protección de sobrecorriente direccional comprende un relé de sobrecorriente y un relé direccional de potencia, en una sola carcasa de relé. El relé direccional de potencia no mide la potencia, pero está dispuesto para responder a la dirección del flujo de potencia.
- El relé direccional reconoce la dirección en la que ocurre la falla, en relación con la ubicación del relé. Está configurado de tal manera que actúa para fau

OCC



Relés de sobrecorriente direccionales: alimentadores en paralelo

- Si se aplican relés no unitarios, no direccionales a **alimentadores paralelos que tienen una sola fuente generadora**, cualquier falla que pueda ocurrir en cualquier línea, independientemente de la configuración del relé utilizada, aislará ambas líneas y desconectará completamente la fuente de alimentación.

- Con este tipo de configuración del sistema, es necesario aplicar**relés direccionales** en el **extremo de recepción** y calificarlos con el**no**

o asegurar la correcta

discri

falla de línea g

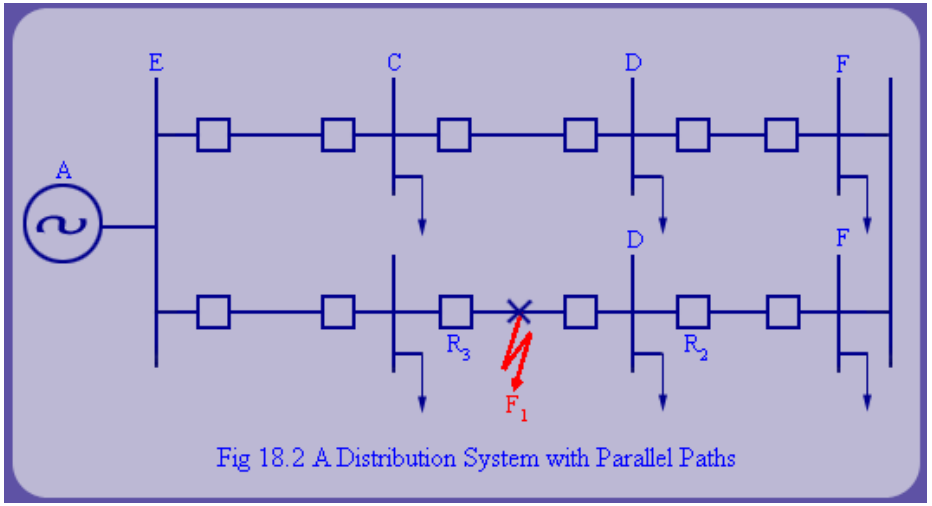
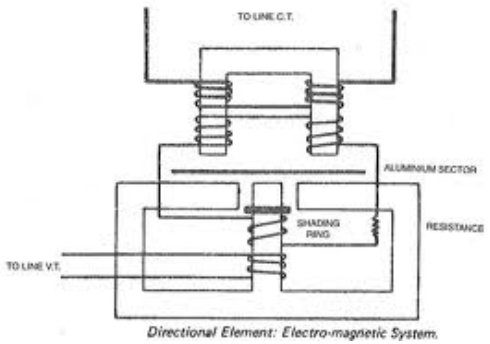


Fig 18.2 A Distribution System with Parallel Paths



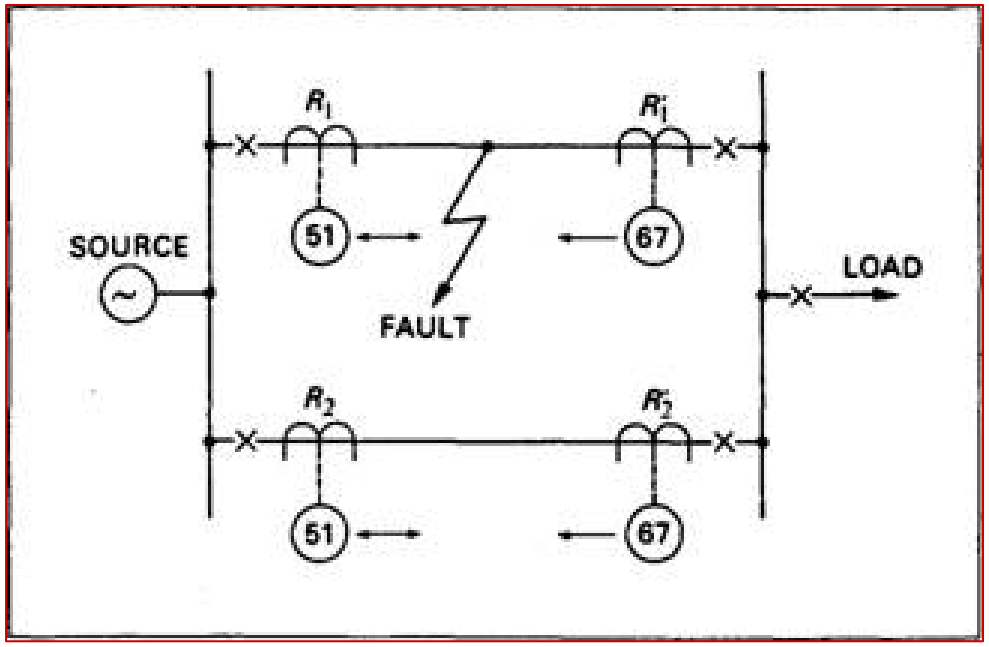
Directional Element: Electro-magnetic System.

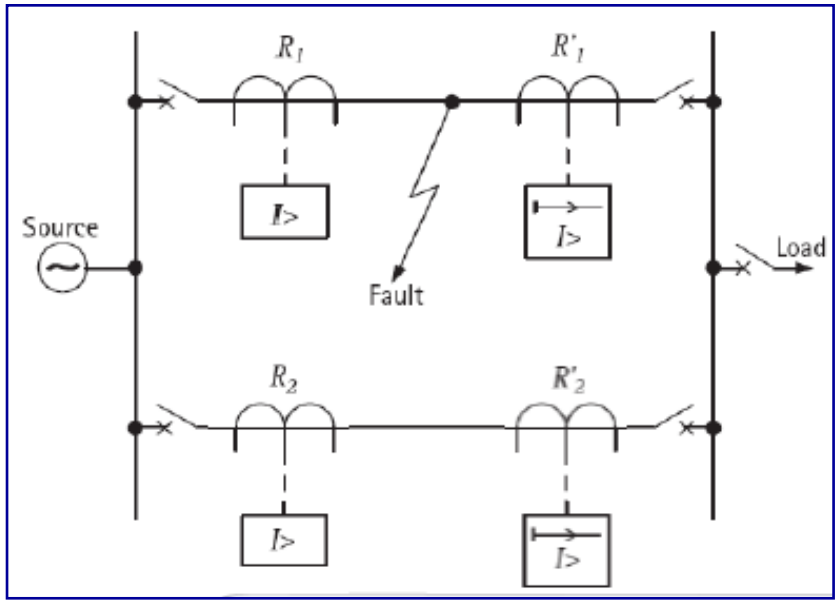
Relés OC direccionales-Alimentadores paralelos

- Esto se hace configurando el **relés direccionales *R*1' y *R*2'** con sus elementos direccionales mirando hacia la línea protegida y dándoles ajustes de tiempo y corriente más bajos que los relés *R*1 y *R*2.
-

'

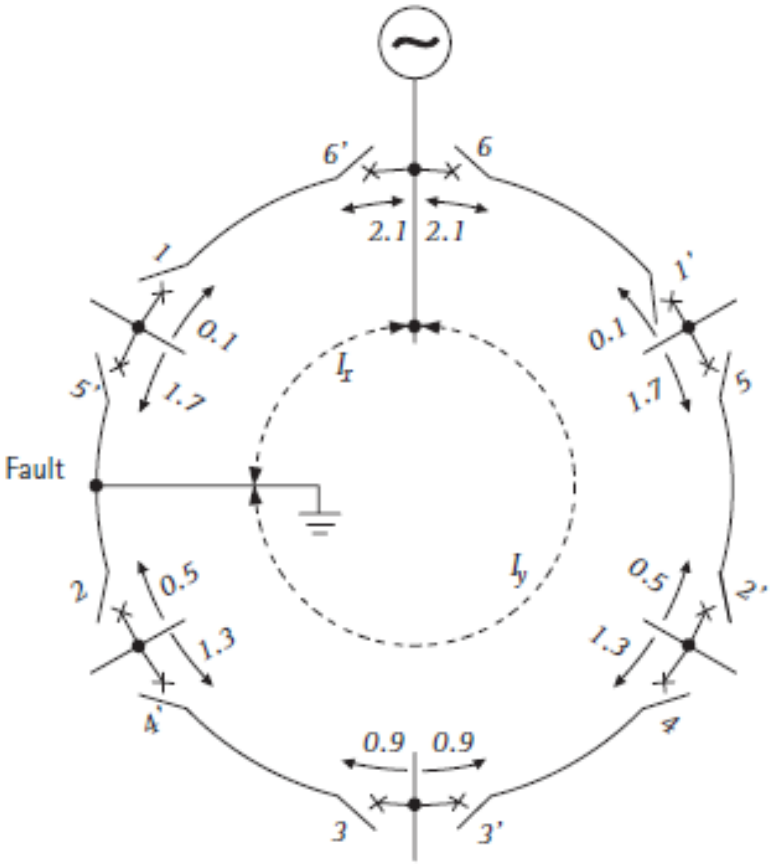
rc





Relés OC direccionales

- Un arreglo particularmente común dentro de las redes de distribución es el Ring Main. La razón principal de su uso es mantener los suministros para consumidores en caso de que ocurran condiciones de falla en los alimentadores de interconexión.
- En un anillo principal típico con protección contra sobrecorriente asociada, la corriente puede fluir en cualquier dirección a través de las diversas ubicaciones de relé y, por lo tanto,**relés direccionales de sobrecorriente** se aplican.



- Con **relés numéricos modernos**, una instalación direccional está a menudo disponible por poco o ningún costo adicional, por lo que en la práctica puede ser más simple de aplicar**relés direccionales** en todas las ubicaciones

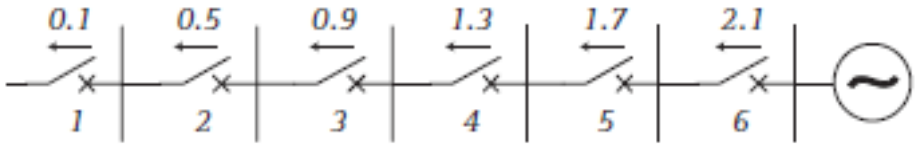
Clasificación de anillos principales

- El procedimiento de clasificación habitual para los relés en un circuito principal de anillo es abrir el anillo en el punto de suministro y califique los relés primeroagujas del reloj y luego en sentido antihorario.

- Los relés loo

  dispuestos a op

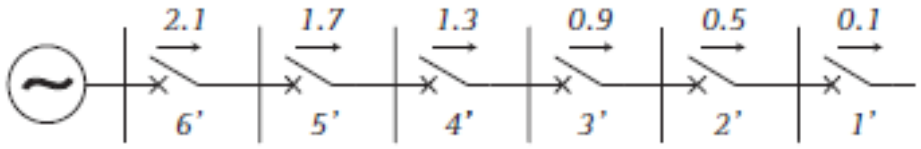
El anillo es



- Los relés parecen

  operar en el s

Arreglado para

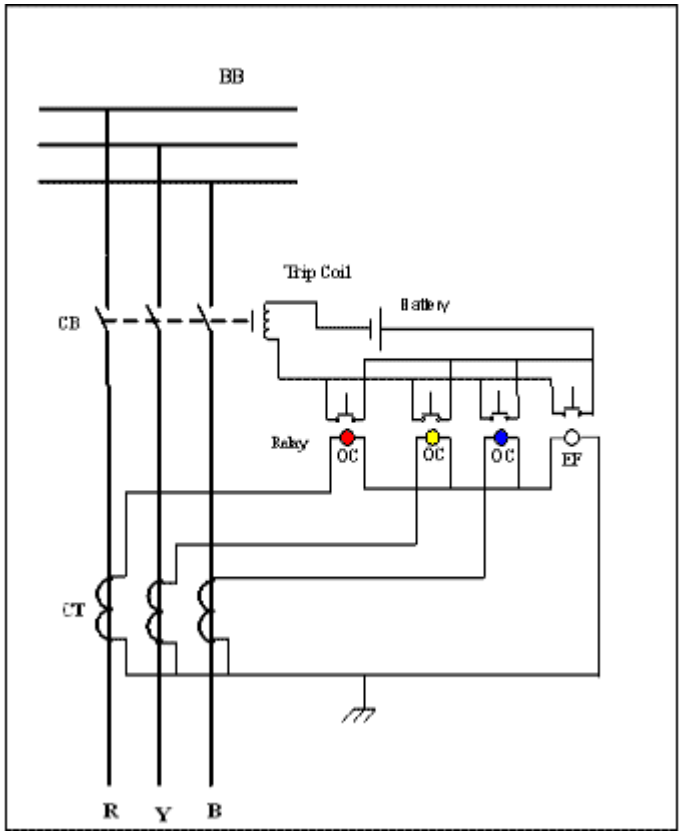


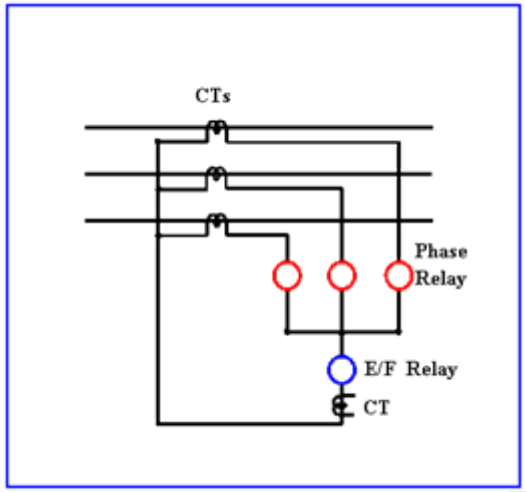
Clasificación de anillos principales

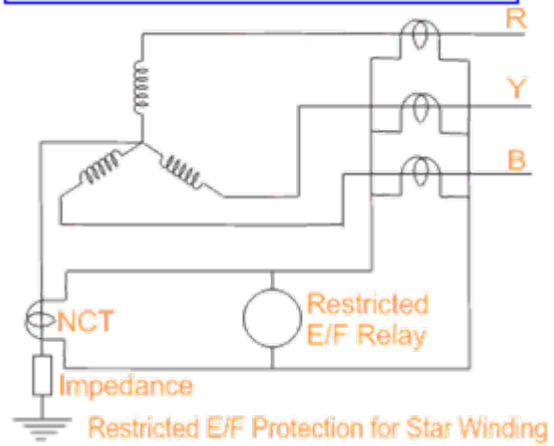
- Las flechas asociadas con los puntos de retransmisión indican la dirección del flujo de corriente que hará que funcione el relé.
- Se utiliza una flecha de dos puntas para indicar un **relé no direccional**, como aquellos **en el punto de suministro** donde el **el poder puede fluir solo en una dirección**.
- Se utiliza una flecha de una sola punta para indicar un relé direccional, como los **en subestaciones intermedias** alrededor del ring donde el **el poder puede fluir en cualquier dirección**.
- **Los relés direccionales** se establecen de acuerdo con la regla invariable, aplicable a todas las formas de protección direccional, que**La corriente en el sistema debe fluir desde las barras colectoras de la subestación hacia la línea protegida.** para que los relés puedan operar.

Tema 1: Protección del sistema de energía

1.4-Parte 4: Prot. De falla a tierra







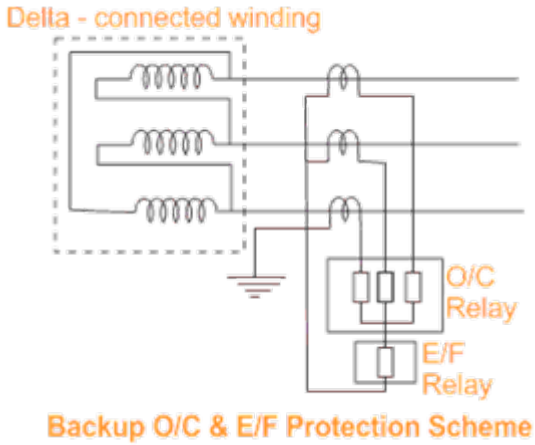
Protección contra fallas a tierra

- Cuando la corriente de falla fluye a través de la ruta de retorno a tierra, la falla se llama ***Falla a tierra***.
- Otras fallas que no involucran tierra se denominan fallas de fase.
- Dado que las fallas a tierra son relativamente frecuentes, la protección contra fallas a tierra es necesaria en la mayoría de los casos.
- Cuando la protección de falla a tierra separada no es económica, los relés de fase detectan las corrientes de falla a tierra. Sin embargo, tal protección carece de sensibilidad. Por lo tanto, generalmente se proporciona una protección de falla a tierra separada.
- La protección de falla a tierra detecta la corriente de falla a tierra. A continuación se muestra el método de protección de falla a tierra.

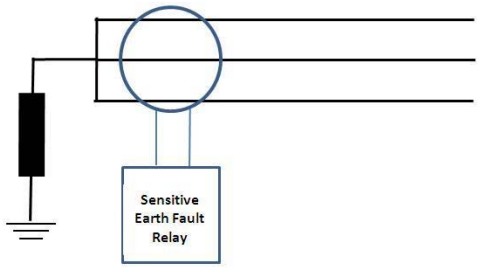
Métodos de protección contra fallas a tierra

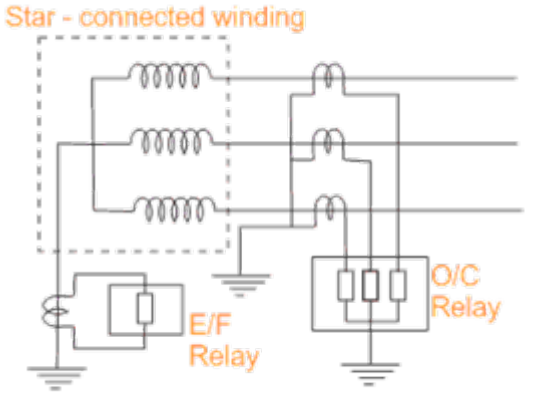
1. Relé conectado de forma residual.
2. Relé conectado en circuito neutro a tierra.
3. Esquema de equilibrio básico.
4. Relés de distancia dispuestos para la detección de fallas a tierra en las líneas.5

norte



Backup O/C & E/F Protection Scheme

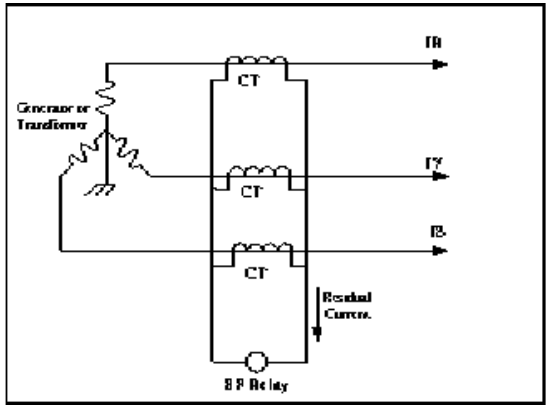




O/C & Unrestricted E/F Protection Scheme

Conexiones de TC para falla a tierra

1. Relé de falla a tierra conectado de forma residual



- Se puede obtener una protección más sensible contra fallas a tierra mediante el uso de un relé que responda solo a la corriente residual del sistema, ya que solo existe un componente residual cuando la corriente de falla fluye a tierra.

- En ausencia de falla a tierra, la suma vectorial de tres corrientes de línea es cero. De ahí el vector suma de tres las corrientes secundarias también es cero.

$$I_R + Y_Y + Y_B = 0$$

La suma **($I_R + Y_Y + Y_B$)** se llama corriente residual

- El relé de falla a tierra está conectado de manera que la corriente residual fluya a través de él (Figura 1 y Figura 2).
- En ausencia de falla a tierra, por lo tanto, el relé de falla a tierra conectado residual no funcionar.

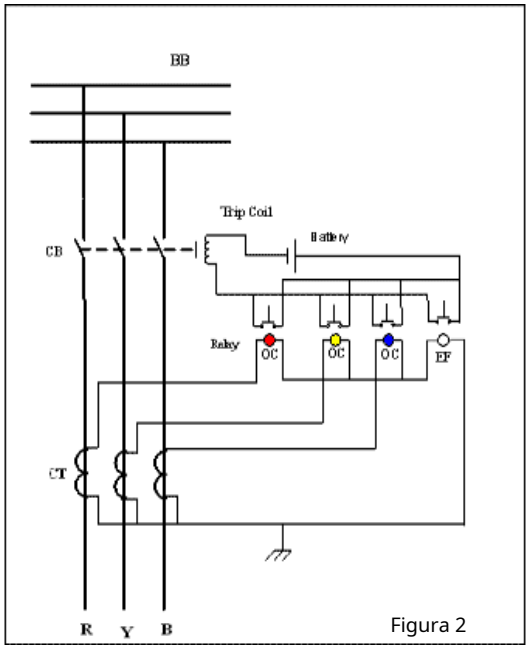
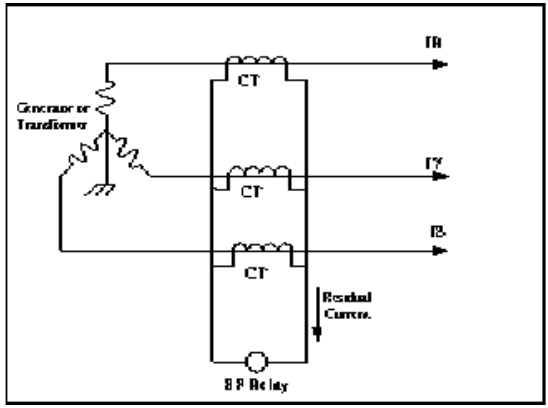


Figura 2

Conexiones de TC para falla a tierra

1. Relé de falla a tierra conectado de forma residual



- Se puede obtener una protección más sensible contra fallas a tierra mediante el uso de un relé que responda solo a la corriente residual del sistema, ya que solo existe un componente residual cuando la corriente de falla fluye a tierra.

- En ausencia de falla a tierra, la suma vectorial de tres corrientes de línea es cero. De ahí el vector suma de tres las corrientes secundarias también es cero. $I_R + Yo_Y + Yo_B = 0$

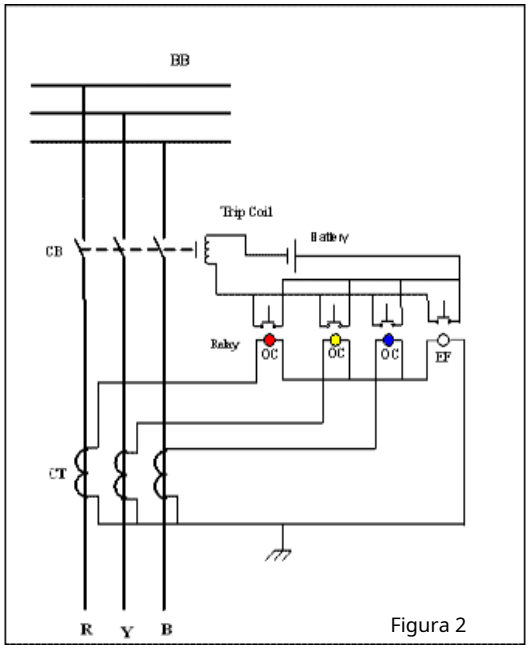


Figura 2

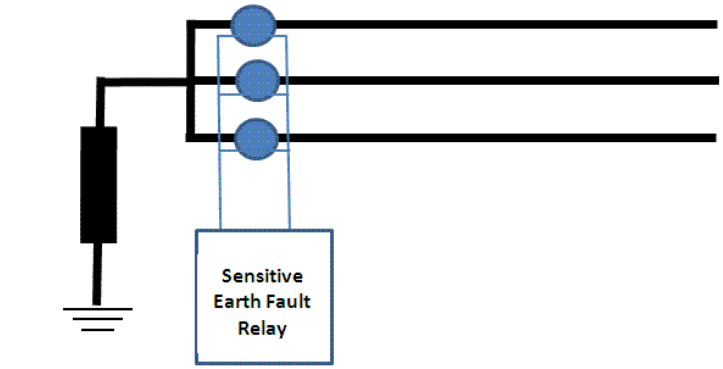
- La suma $(I_R + Yo_Y + Yo_B)$ se llama corriente residual
- El relé de falla a tierra está conectado de manera que la corriente residual fluya a través de él (Figura 1 y Figura 2).
- En ausencia de falla a tierra, por lo tanto, el relé de falla a tierra conectado residual no funcionar.

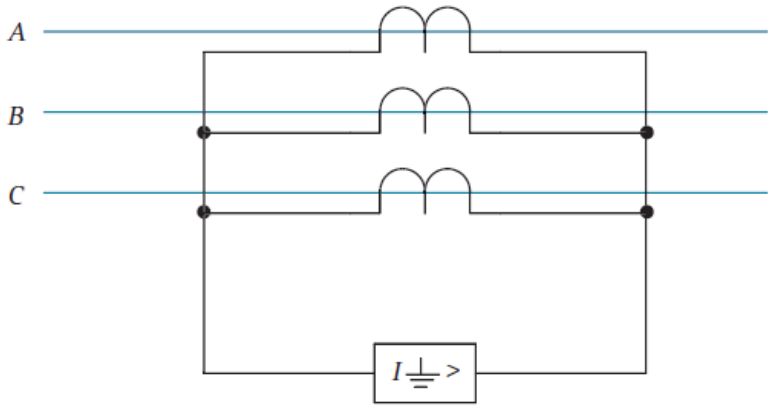
1. Conectado de forma residual E

- El componente residual es extraído por c transformadores en paralelo.

- Sin embargo, en presencia de falla a tierra, las condiciones se alteran y **(I_R+ Y_OY+ Y_OB)** ya no es cero. Por lo tanto fluye a través del relé de falla a tierra. Si la corriente residual está por encima del valor de activación, se activa el relé de falla a tierra. (20% -40% de la corriente a plena carga)

- En la Conexión Residual, la falla a tierra en cualquier ubicación cerca o lejos de la ubicación de los TC puede causar el flujo de corriente residual. Por tanto, la zona protegida no es definida. Tal protección se llama**Protección sin restricciones contra fallas a tierra**





(a)

2. Relé de falla a tierra conectado en Neutra

- Otro método para conectar un relé de falla a tierra se ilustra en la Fig. 3. El relé se conecta al secundario de un CT cuyo primario está conectado en neutro a la conexión a tierra.
- Dicha protección se puede proporcionar a varios niveles de voltaje conectando un relé de falla a tierra en la conexión de neutro a tierra de ese nivel de voltaje.
- La corriente de falla encuentra la ruta de retorno a través de la tierra y luego fluye a través de la conexión de neutro a tierra.

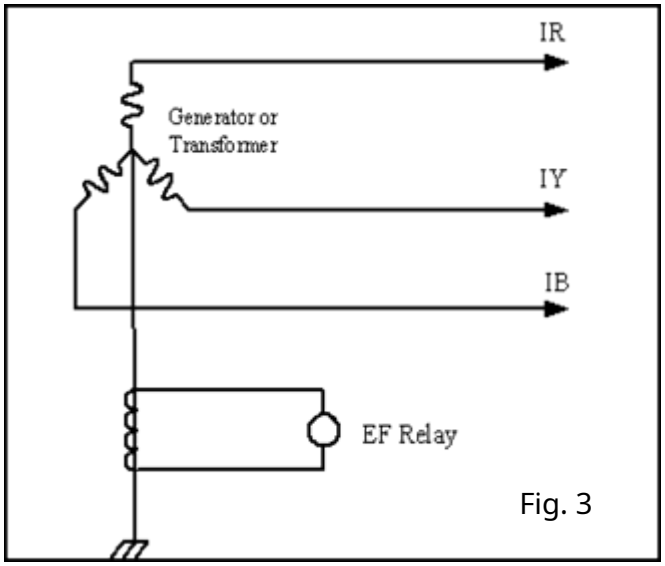
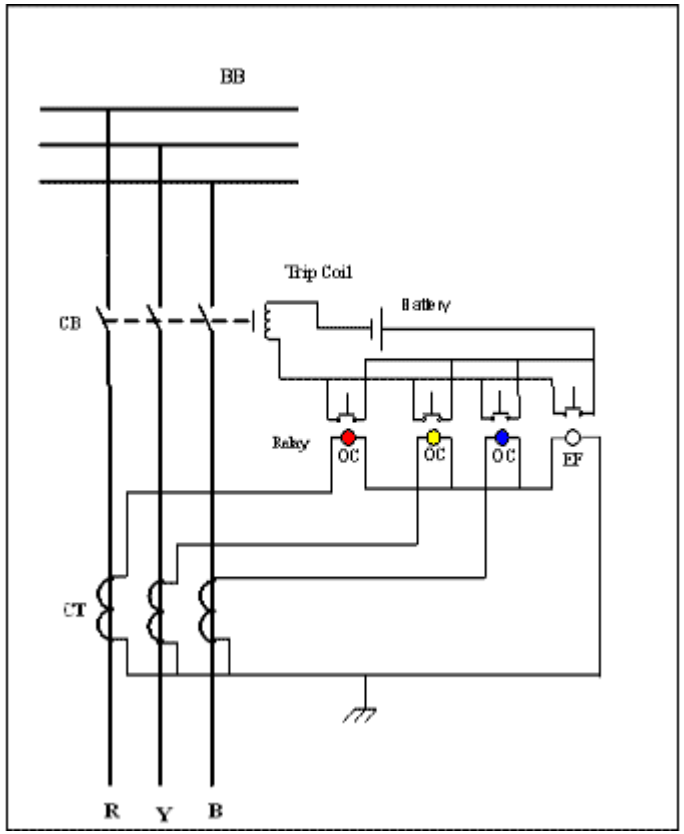


Fig. 3

- La magnitud de la corriente de falla a tierra depende del tipo de puesta a tierra (resistencia, reactancia o sólido) y ubicación de la falla. En este tipo de protección, la zona de protección no se puede definir con precisión. El área protegida no se limita únicamente al devanado del transformador / generador. El relé detecta el fallas a tierra más allá del devanado del transformador / generador, por lo que dicha protección se llama **Protección sin restricciones contra fallas a tierra.**

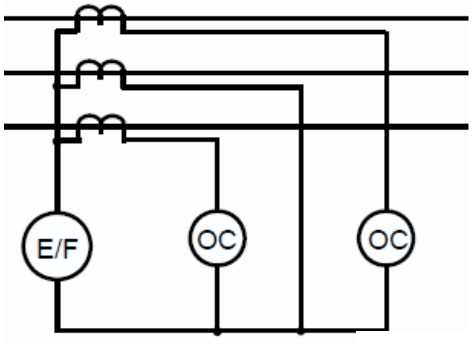
3. Falla a tierra y fase F combinadas

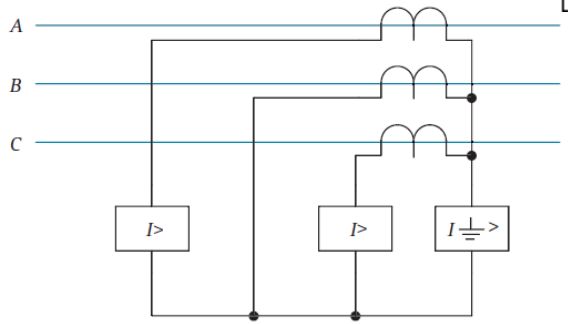
- Es conveniente incorporar relés de falla de fase y relé de falla a tierra en una protección combinada de falla de fase y falla a tierra. (Figura 4)
- El aumento de la corriente de fase provoca el correspondiente aumento de las respectivas corrientes secundarias. La corriente secundaria fluye a través de las respectivas unidades de relé Muy a menudo, solo se proporcionan relés de dos fases en lugar de tres, porque en caso de fallas de fase, la corriente en al menos dos fases

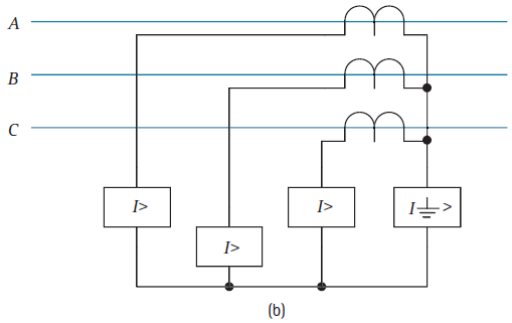


ÉI

Arkansas







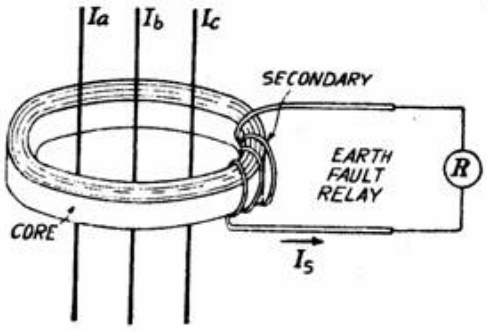
(b)

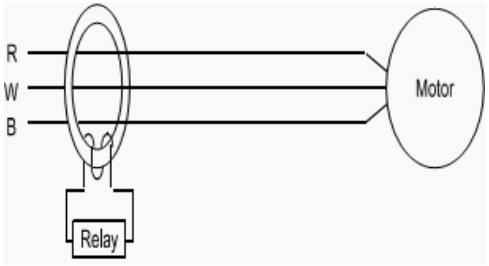
Economice utilizando 2x relés OC

4. Protección de falla a tierra con transformadores

Core Balan. Falla a tierra sensible P

- En este tipo de protección (Fig. 5), un solo núcleo de material magnético en forma de anillo rodea los conductores de las tres fases. Una bobina secundaria está conectada a una unidad de relé.
- La sección transversal del núcleo del anillo es amplia, por lo que la saturación no es un problema.
- Durante la condición sin falla a tierra, los componentes de los flujos debidos a los campos de tres conductores están equilibrados y la corriente secundaria es insignificante.
- Durante las fallas a tierra, dicho equilibrio se altera y se induce corriente en el secundario.
- La protección del equilibrio del núcleo se puede utilizar convenientemente para la protección de sistemas de voltaje medio y bajo.





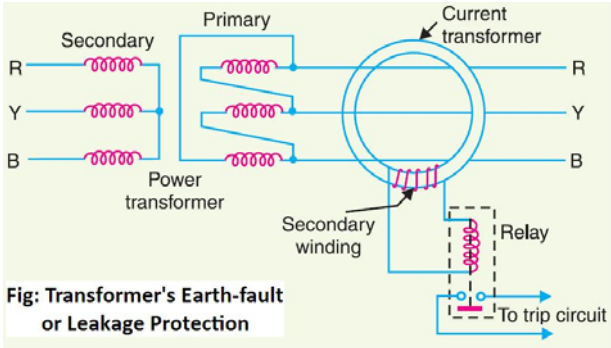
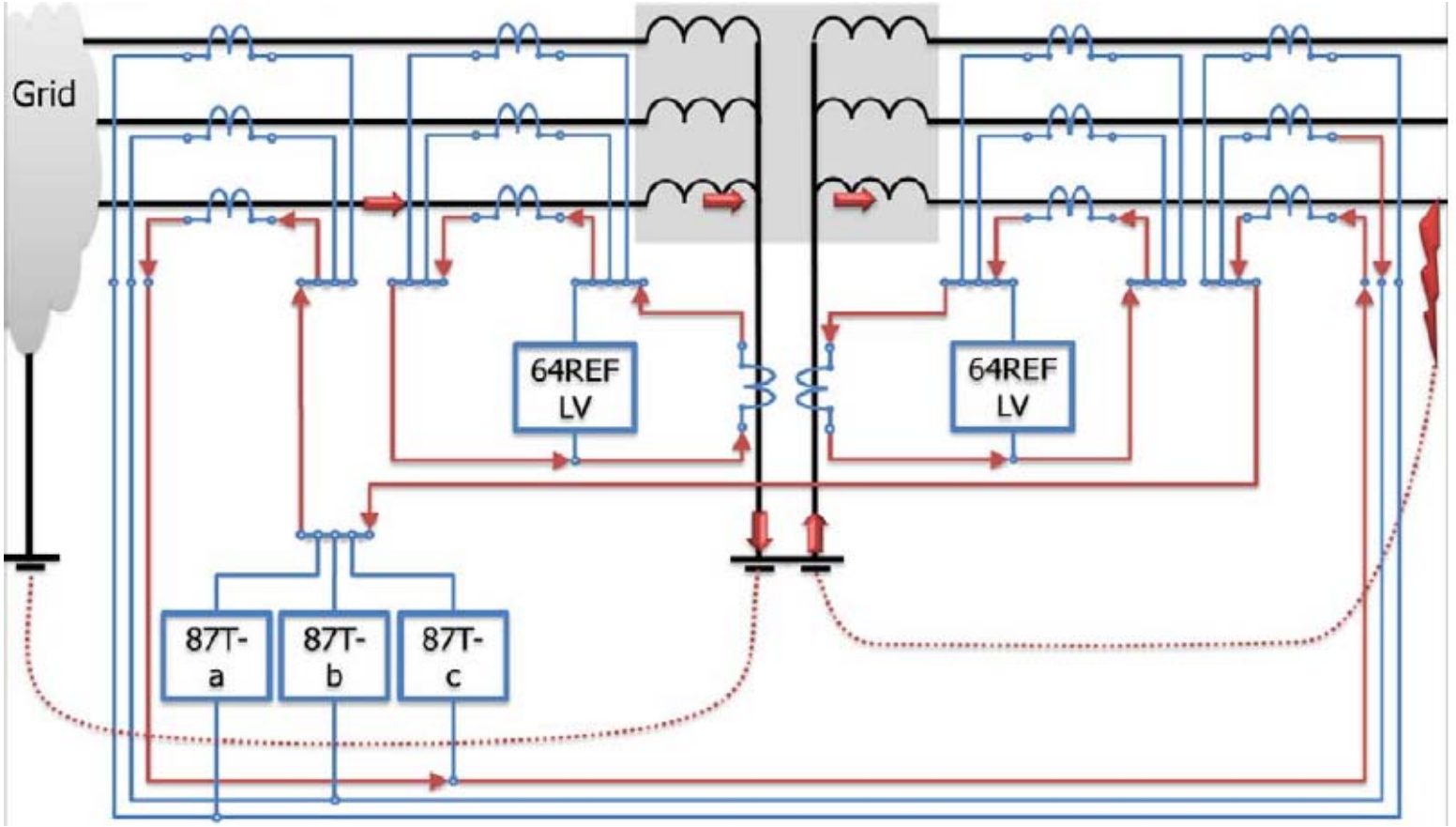


Fig: Transformer's Earth-fault or Leakage Protection

Tema 1: Protección del sistema de energía



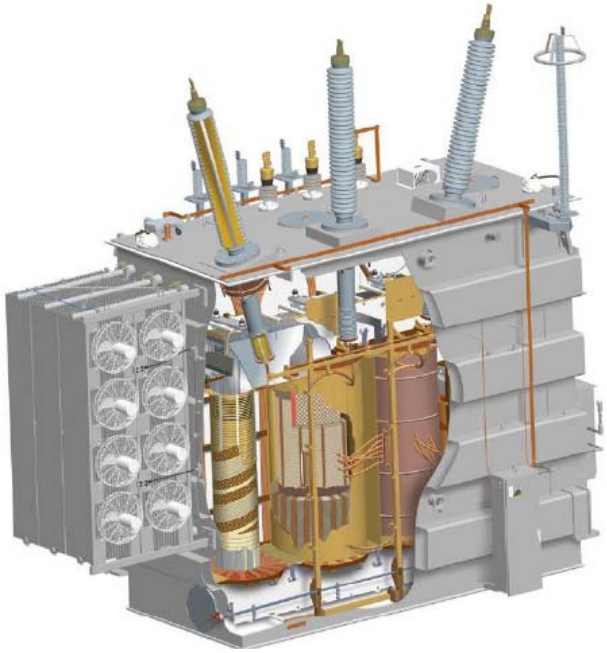
Protección del transformador

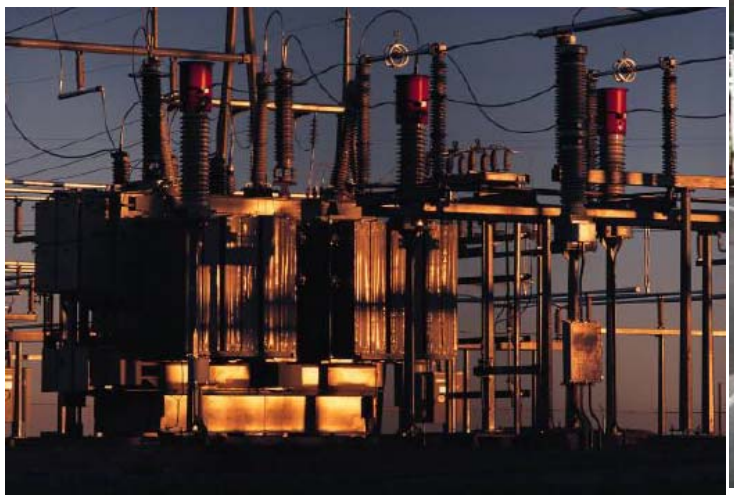
- Los transformadores de potencia son caros.

  -La protección debe ser eficaz

- ¿Qué puede ir mal?

  - Fallas de bobinado a bobinado
  - Fallas de bobinado a tierra

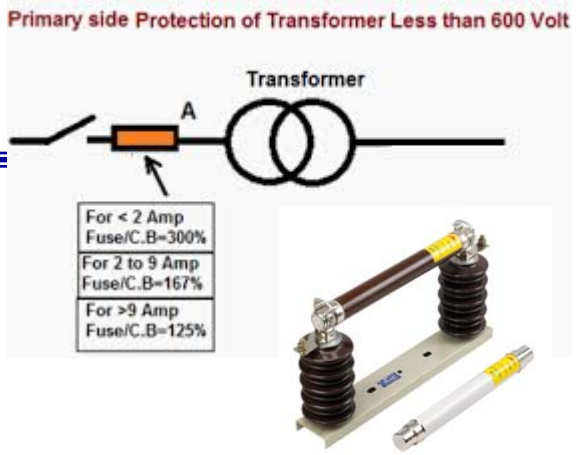


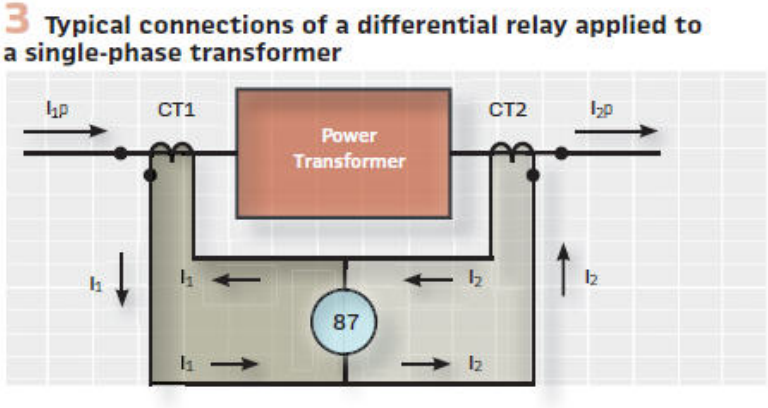


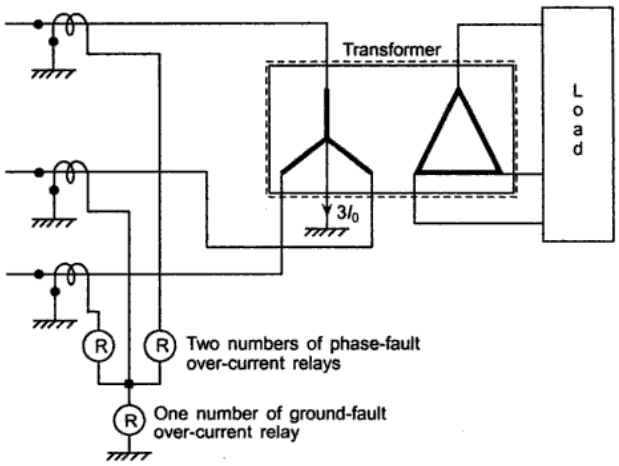
Protección del transformador

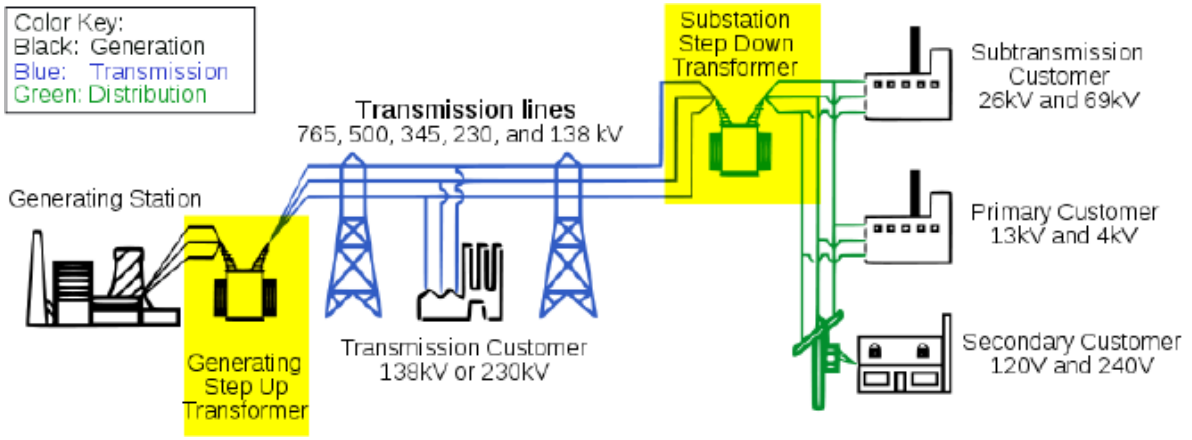
- Métodos de protección
  - -La protección debe ser eficaz
- ¿Qué puede ir mal?
  - Protección de fusibles
  - Protección contra la sobretensión

O







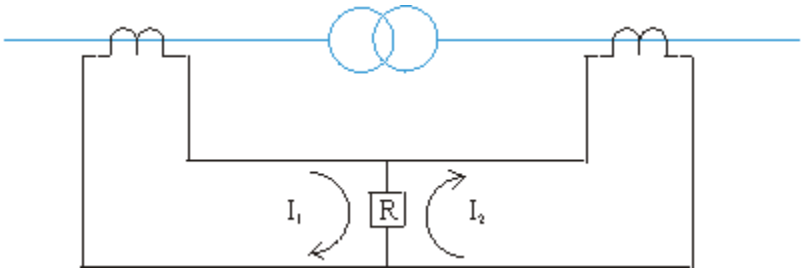


Sistemas de relés de protección

- La función básica de la protección es detectar fallas y eliminarlas lo antes posible.
- Se debe desconectar un número mínimo de elementos del equipo.
  - Llamado **SELECTIVIDAD**.

- **Velocidad** y **Selectividad** son las características más deseables de Protección
- Pero el costo también decide el

Protección de la unidad -

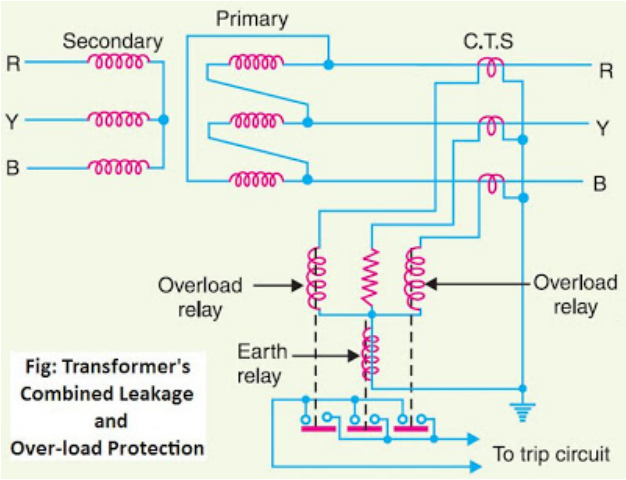


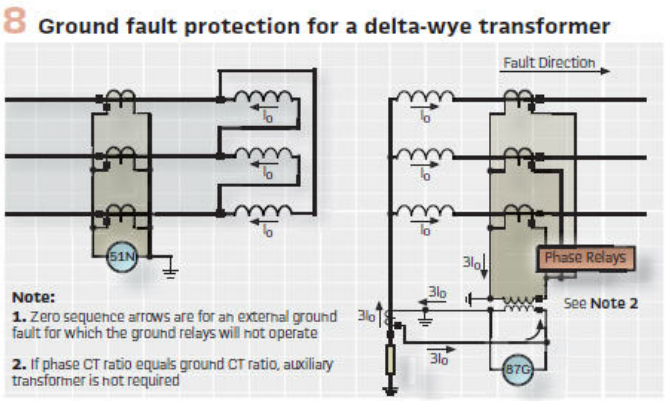
Protección de Transfor

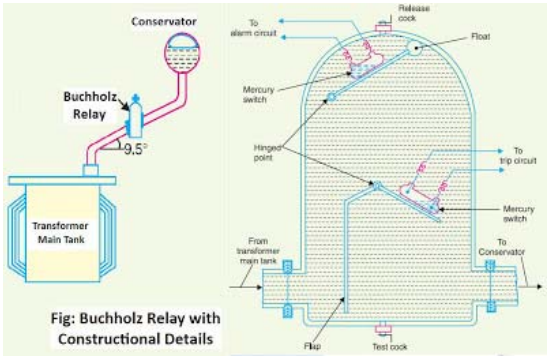
- Los transformadores son caros e importantes.
- Los relés IDMTL no son para Sobrecarga.
- Protección recomendada
  - **Protección diferencial (opcional)**
  - **Falla a tierra restringida de AT y BT.**

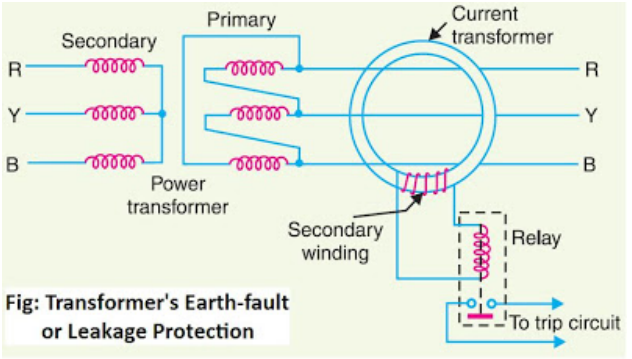
relé rge.

pag





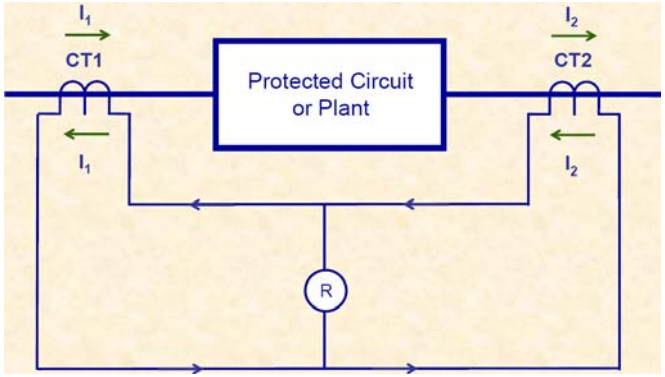




Aplicaciones de Unit Pro

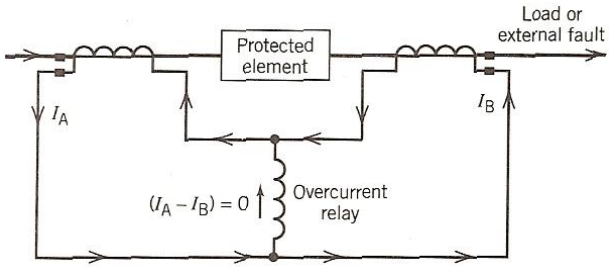
-**Corriente circulante** sistemas generalmente utilizados para

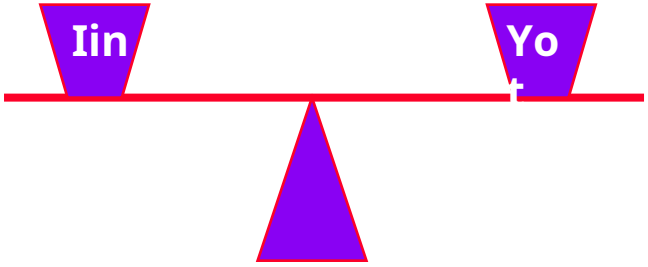
- Transformador,
- Generador,
- Barras colectoras



-Los TC están situados en la misma subestación con relé común

- Compara las corrientes que entran y salen de una zona protegida
- Funciona cuando se alcanza un valor establecido de corrientes diferenciales (diferencia)
- Analo



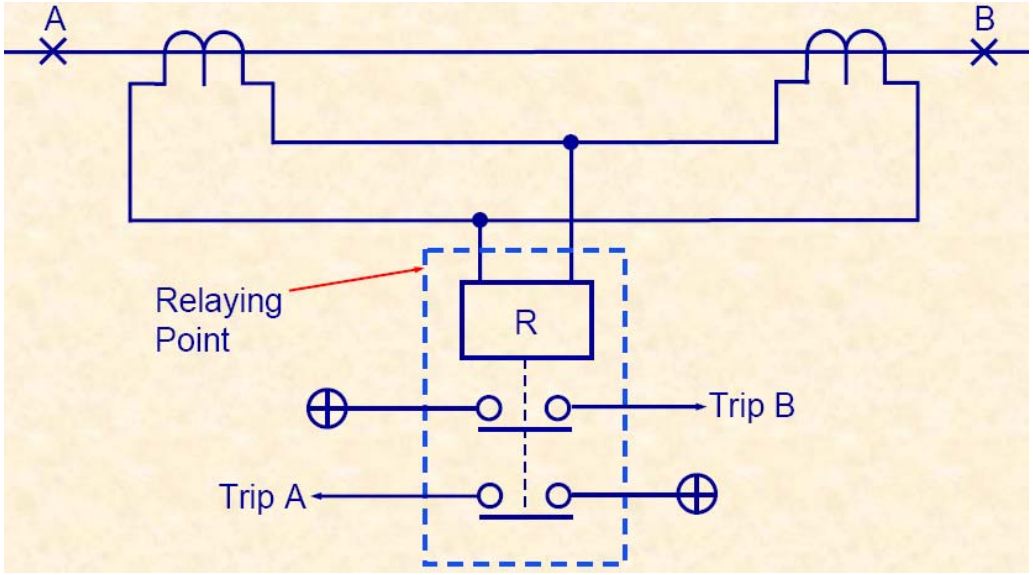


Corriente circulante equilibrada

- Compara las corrientes que entran y salen de una zona protegida

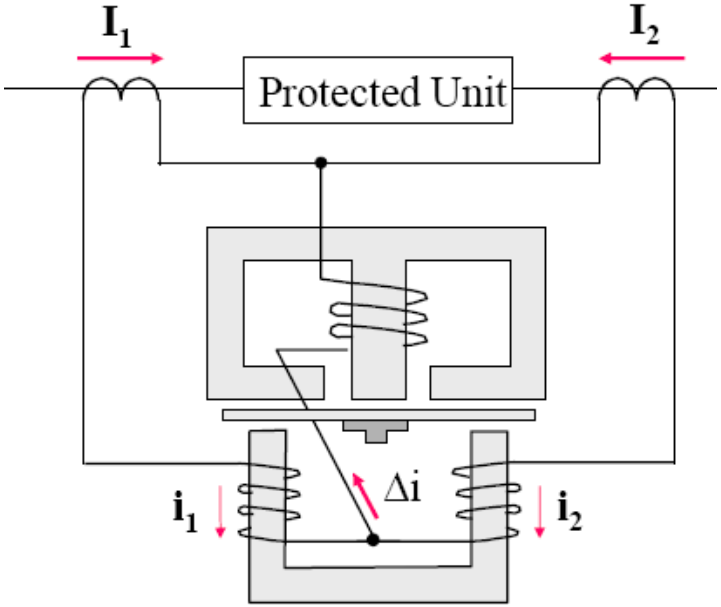
hora

Dakota del Norte



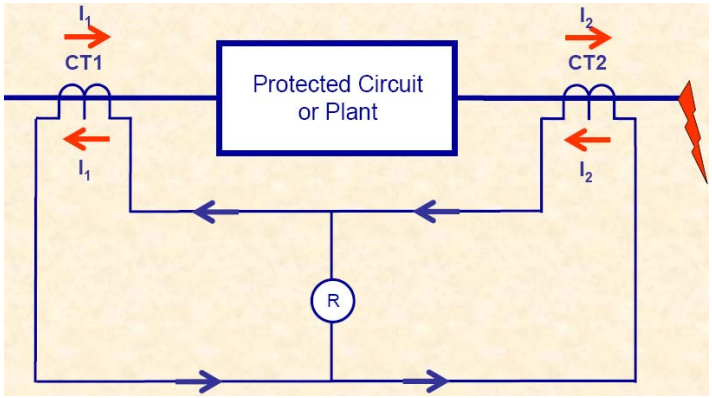
Saldo actual

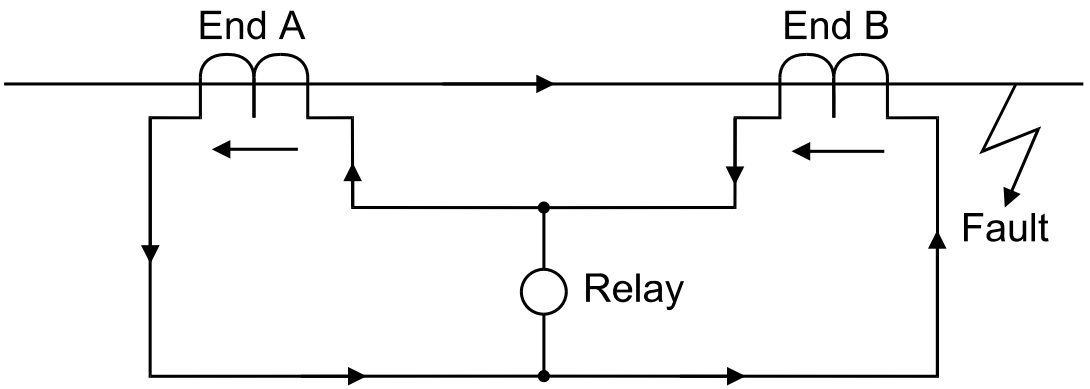
esquema de corriente circulante

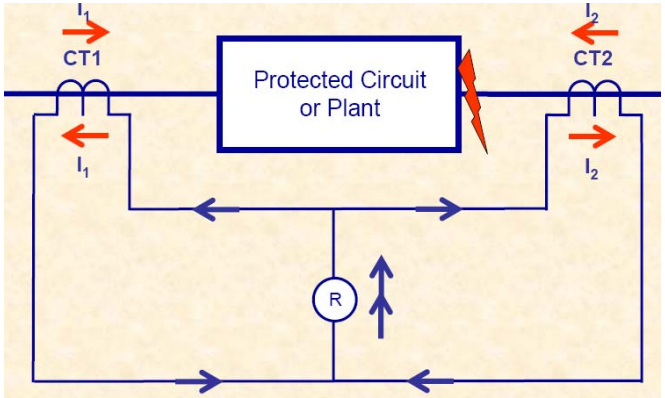


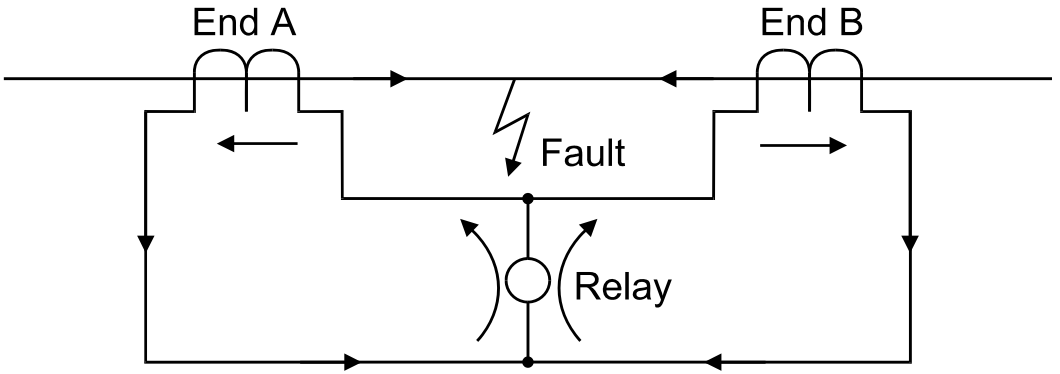
Corriente circulante equilibrada

Fallos externos: estable







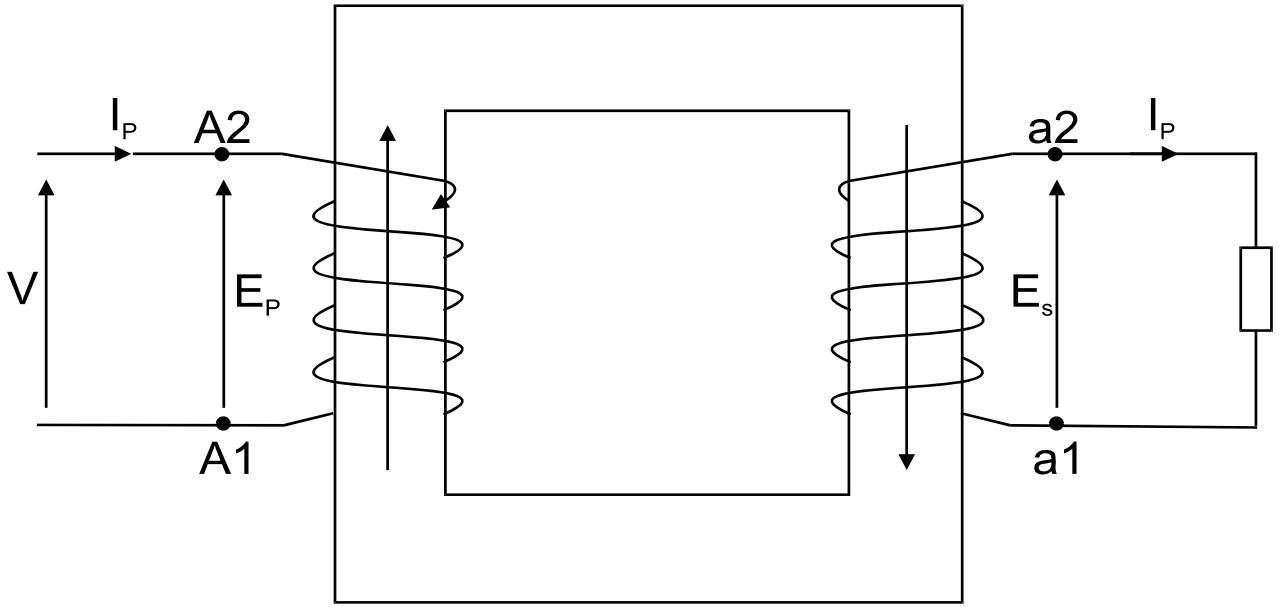


- **Fallos internos: funciona**

Polaridad de bobinado

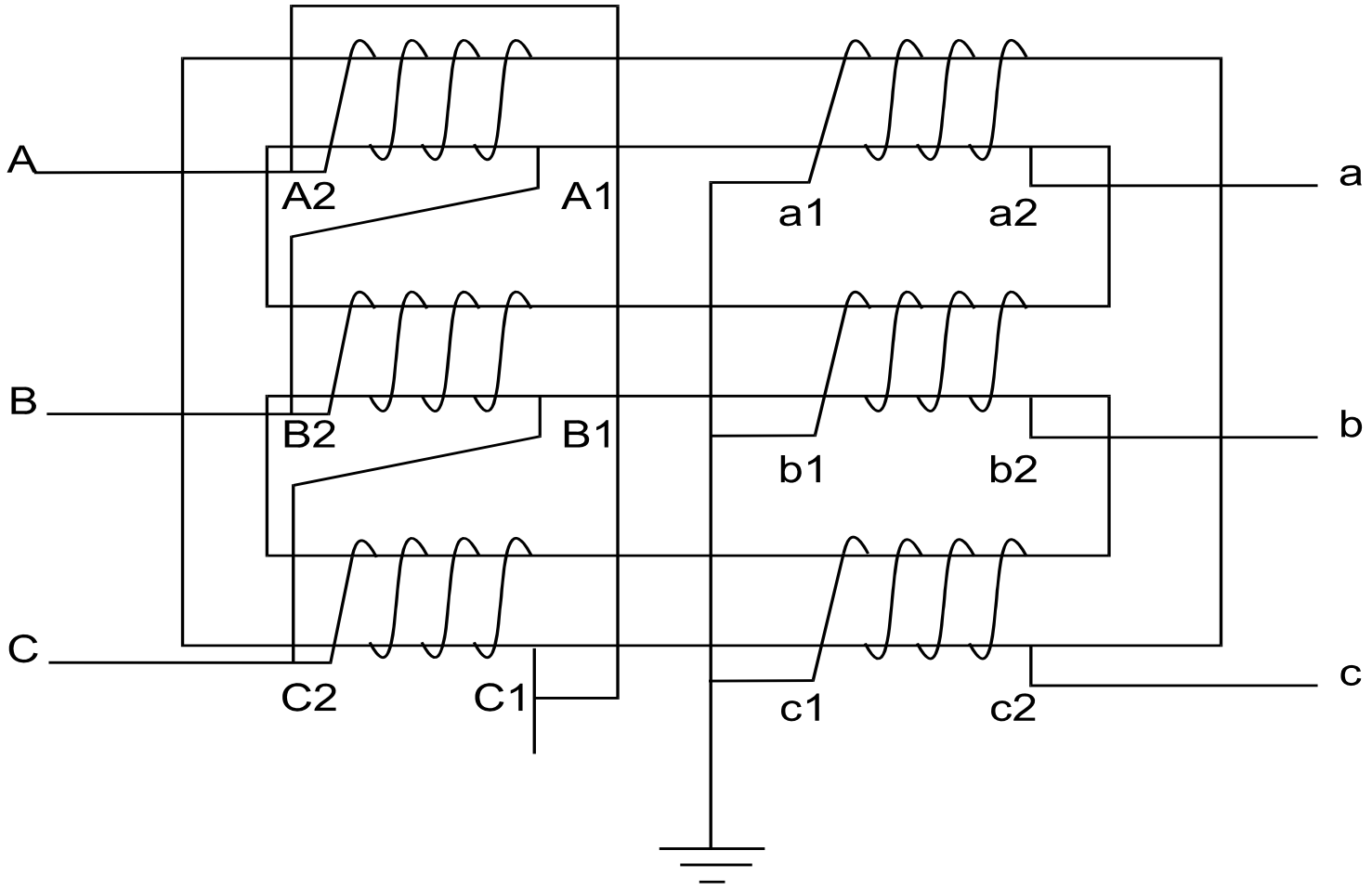
- Los estándares internacionales definen la polaridad

- Actual hacia **A2** en primario - Luego actual desde**a2** en secundaria porque ***mis*** es desde **a1** para **a2**

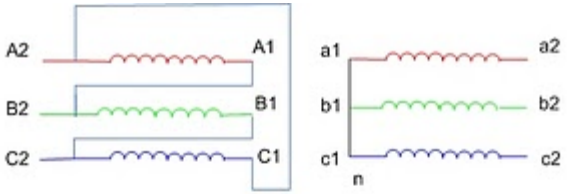


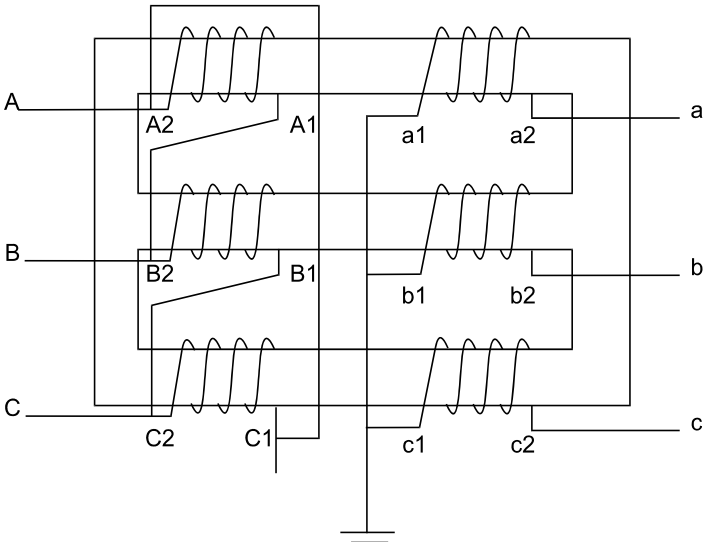
Conexiones de transformador

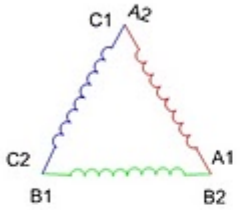
Conexión trifásica -Típica estrella delta (--Y)

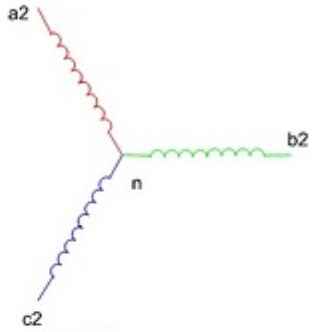


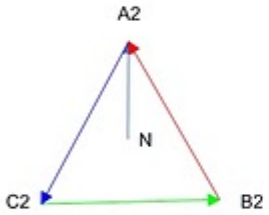
Representación vectorial

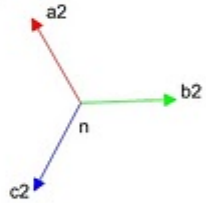


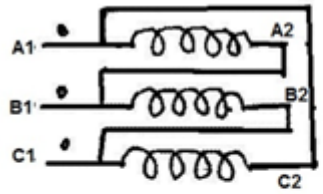


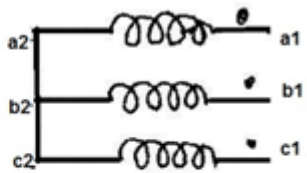


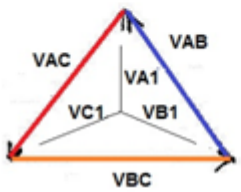












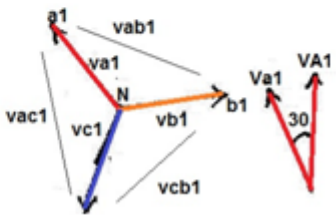
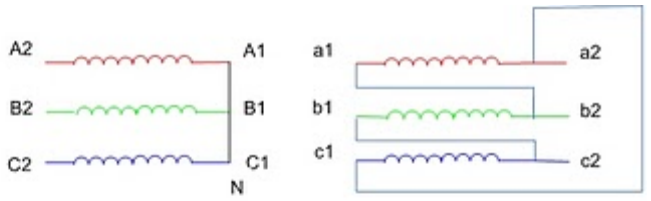
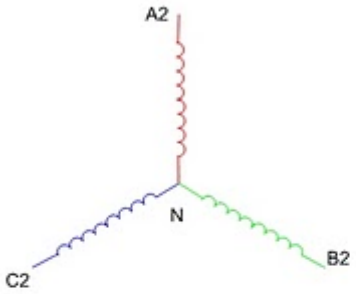


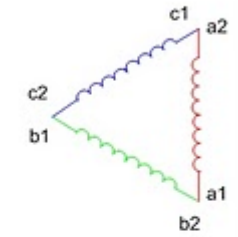
Fig D: Delta - Wye connection for Dy11 vector group

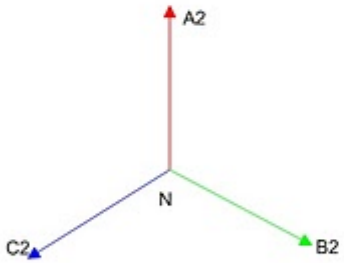
Cambio de fase

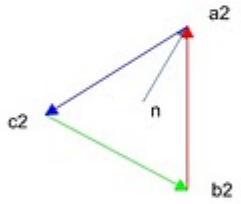
- Dependiendo de cómo estén dispuestos los devanados en el transformador, los voltajes secundarios pueden estar desfasados del primario











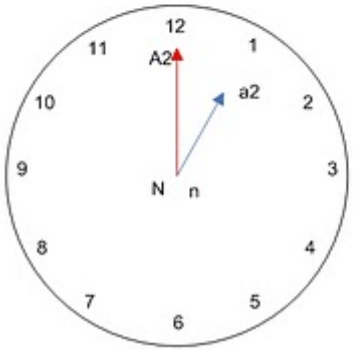
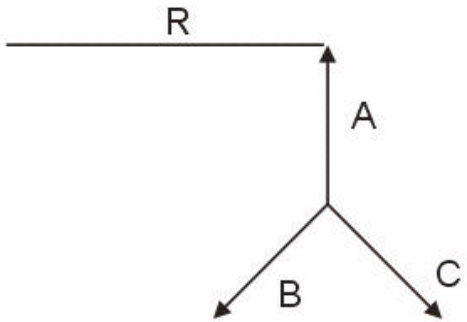
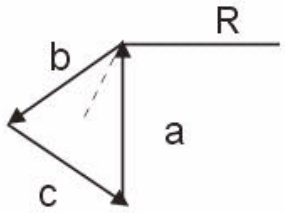


Fig B: Wye - Delta connection for Yd1 vector group





Representación de grupos de vectores de transformadores

- Cambio de fase representado por posiciones de reloj de 12 horas
- Cada 30 grados corresponde a un turno de 1 hora
- tu

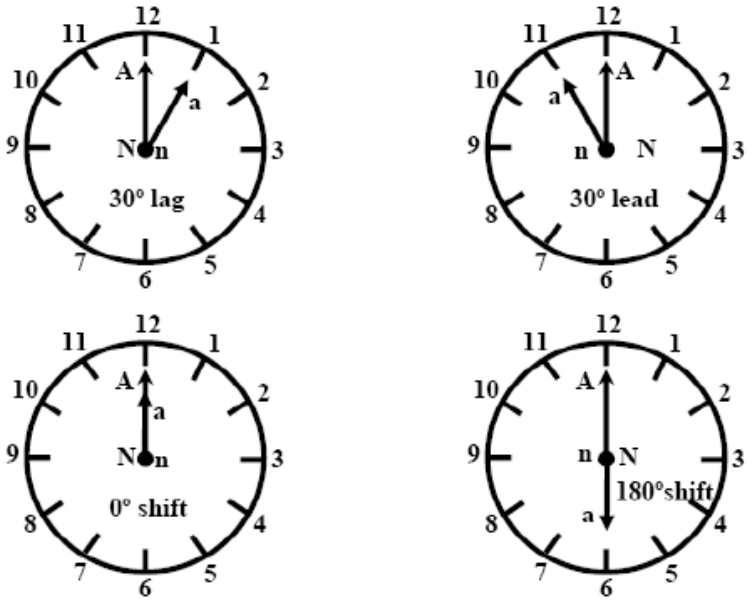


Figure2: Clock convention representing vector groups.

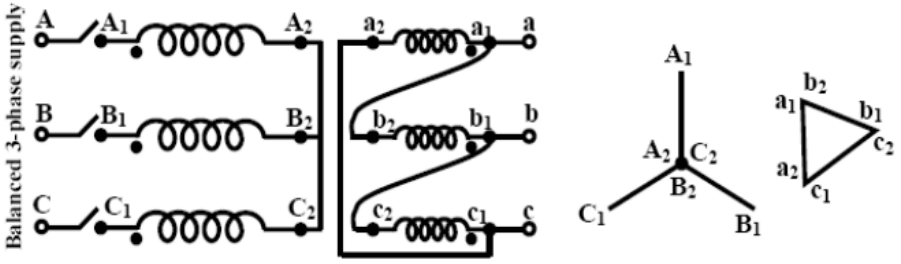


Figure 3: Connection and phasor diagram for *Y d*11.

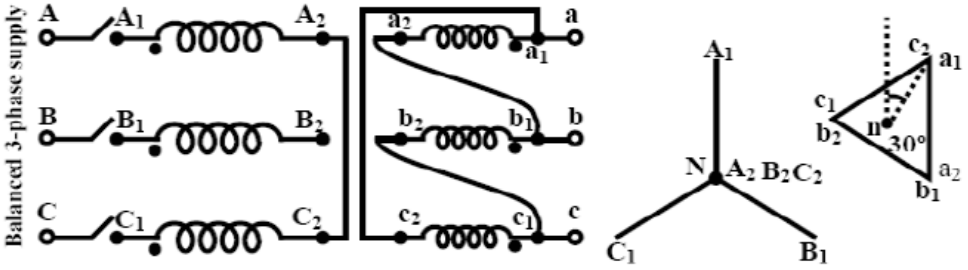
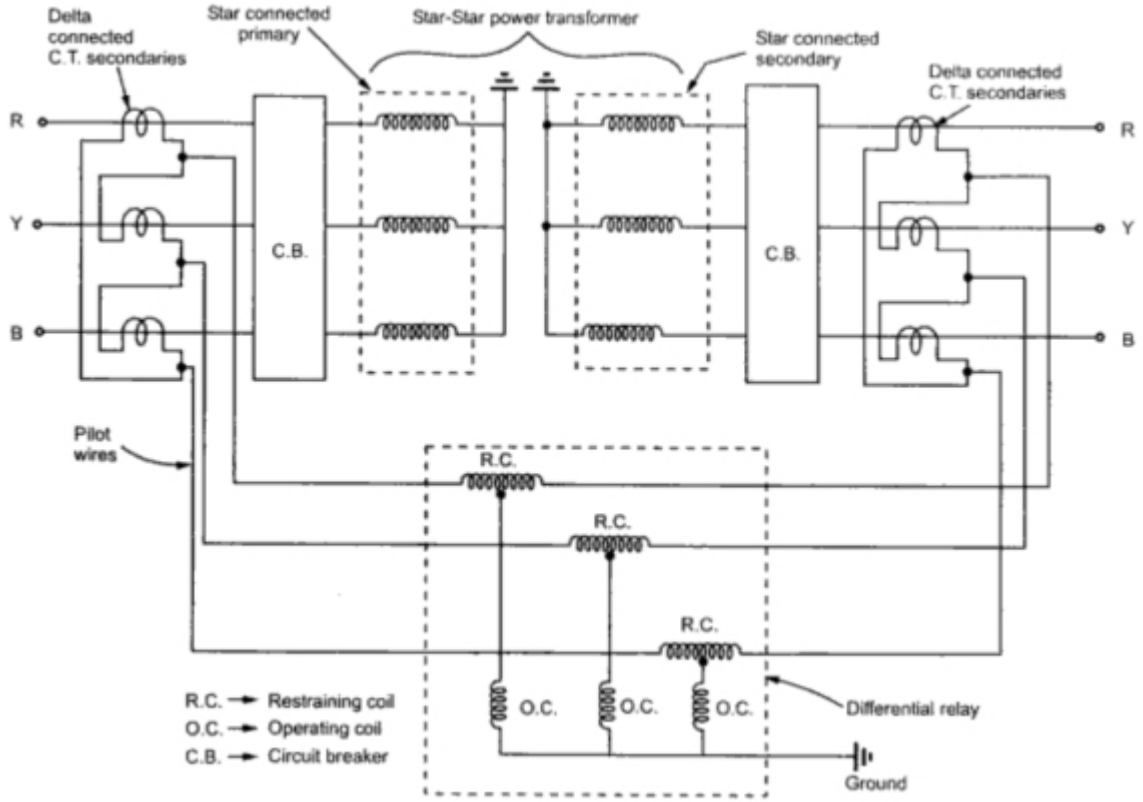


Figure 4: Connection and phasor diagram for *Y d*1.

Star-Sta ección



Conexión diferencial del transformador Delta-Delta

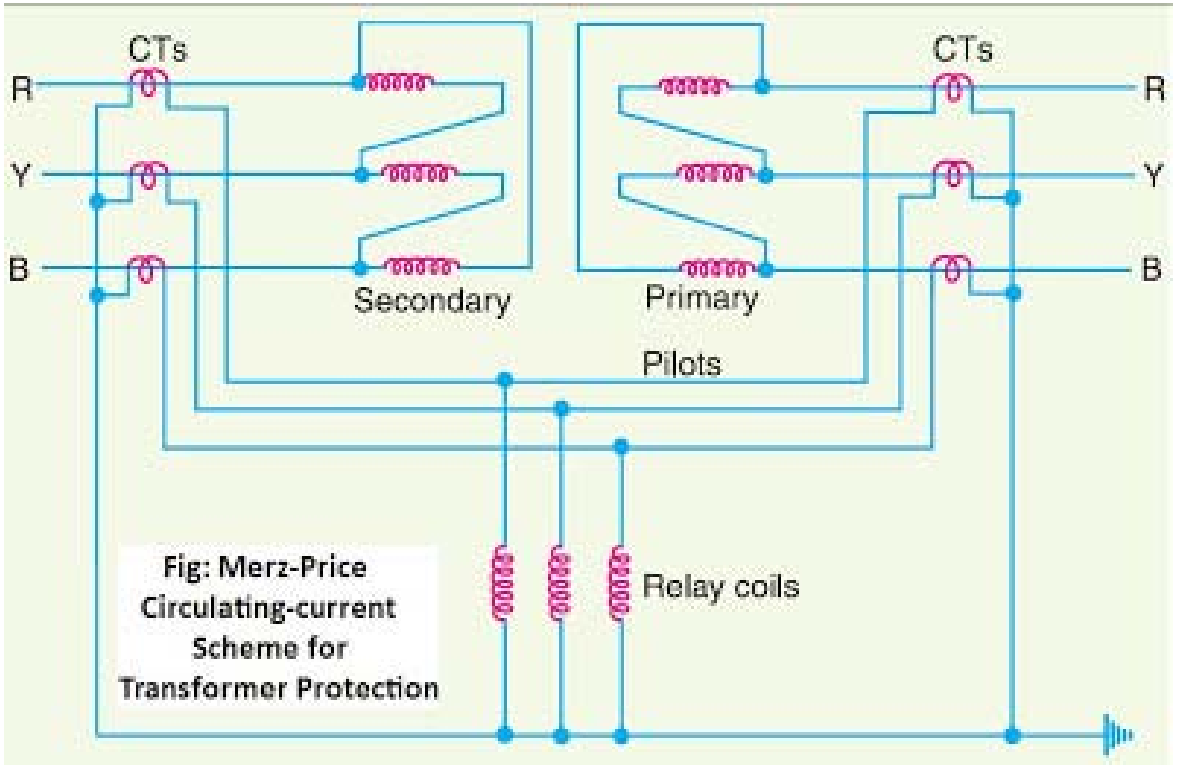
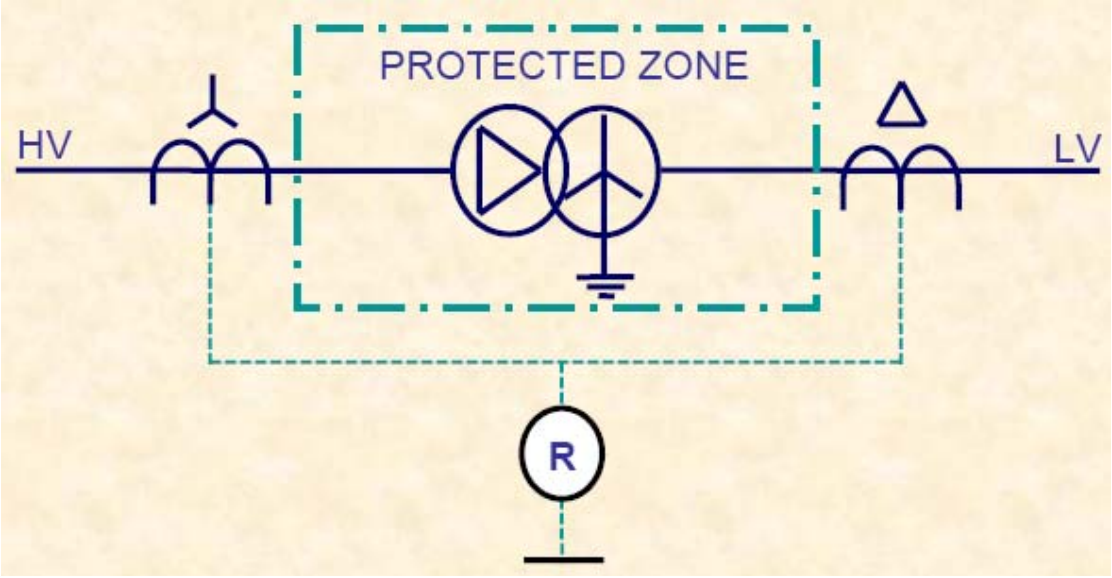


Fig: Merz-Price Circulating-current Scheme for Transformer Protection

Delta-Star t ección



La aplicación correcta de la protección diferencial requiere que la relación del TC y las conexiones de los devanados coincidan con las del transformador.

El circuito secundario del TC debe ser una "réplica" del sistema primario.

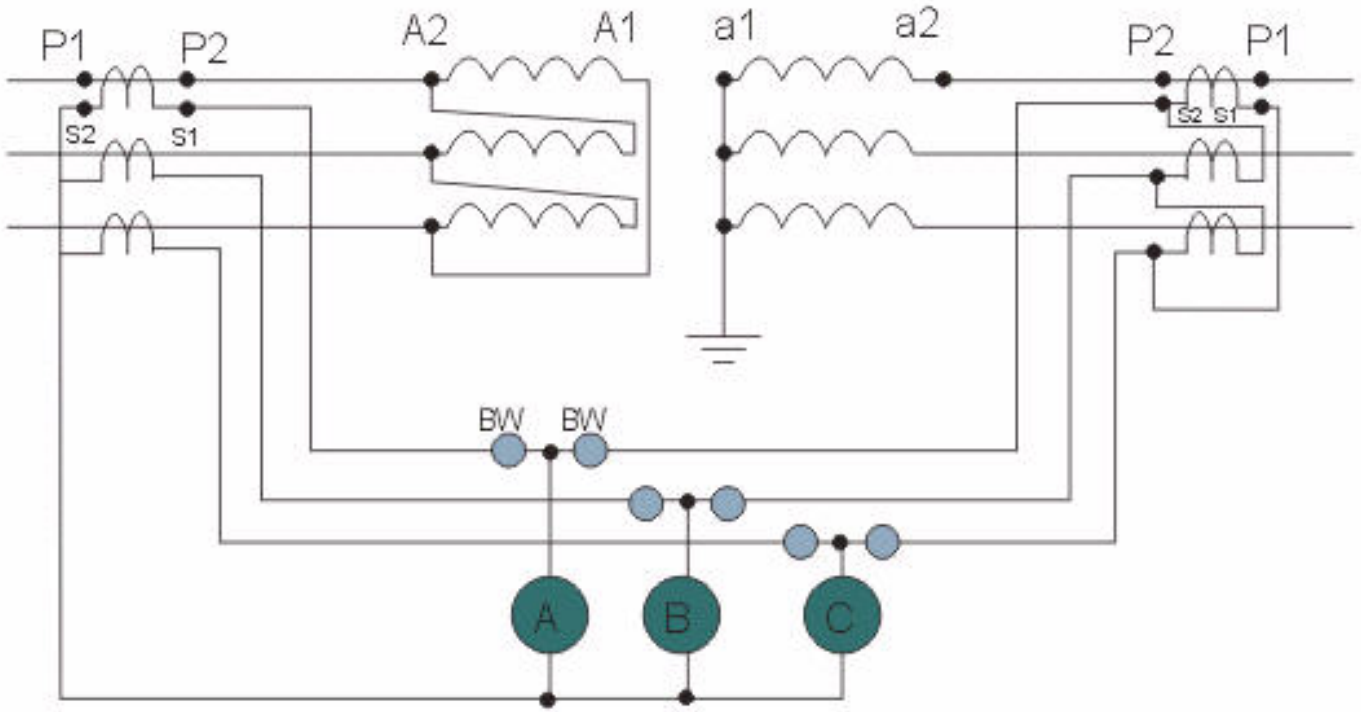
Considerar:

(1) Diferencia en magnitud actual

(2) Cambio de fase

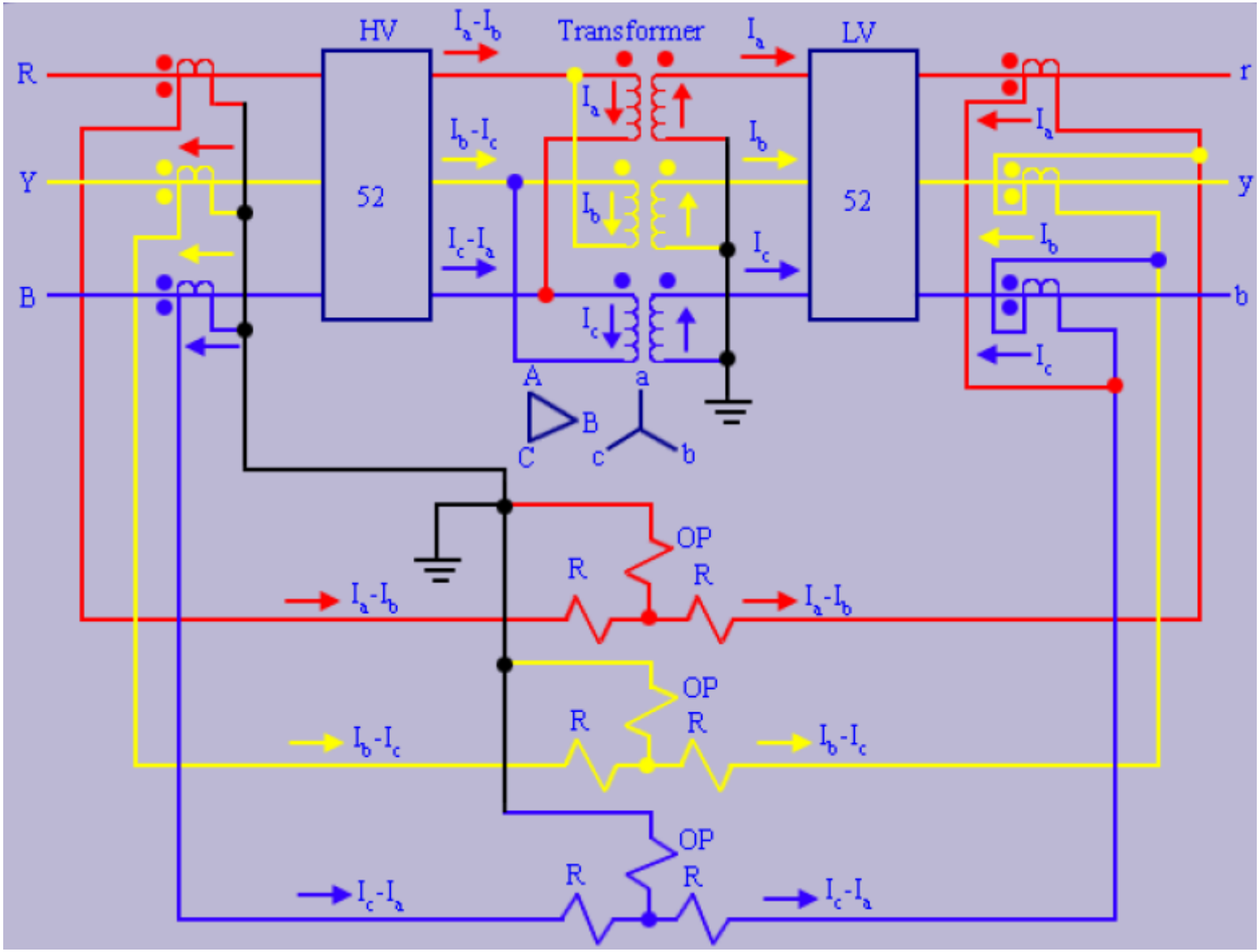
(3) Corrientes de secuencia cero

Delta-S



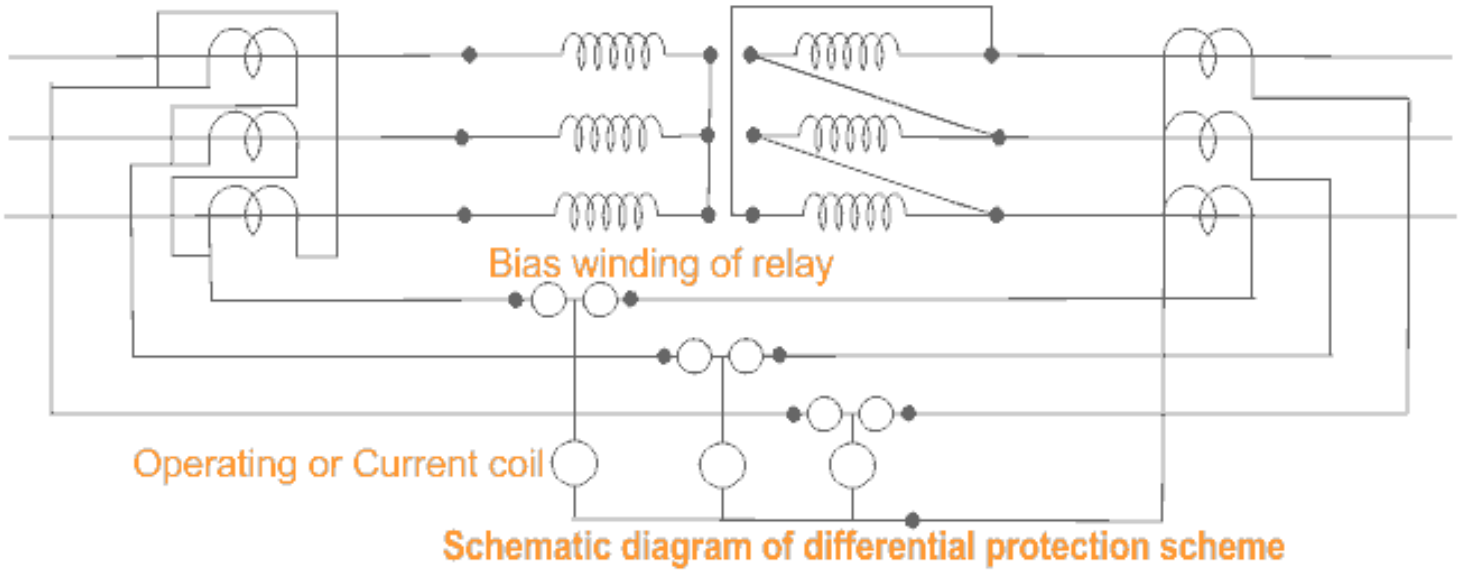
Conecte los TC de AT y BT en Estrella delta opuesto a las conexiones de grupo de vectores de los devanados primarios

Delta-


HV
Transformer
LV
R
Y
B
r
y
b
52
52
I_a-I_b
I_b-I_c
I_c-I_a
I_a
I_b
I_c
A
B
C
a
b
c
OP
R
R

Estrella- D

sobre



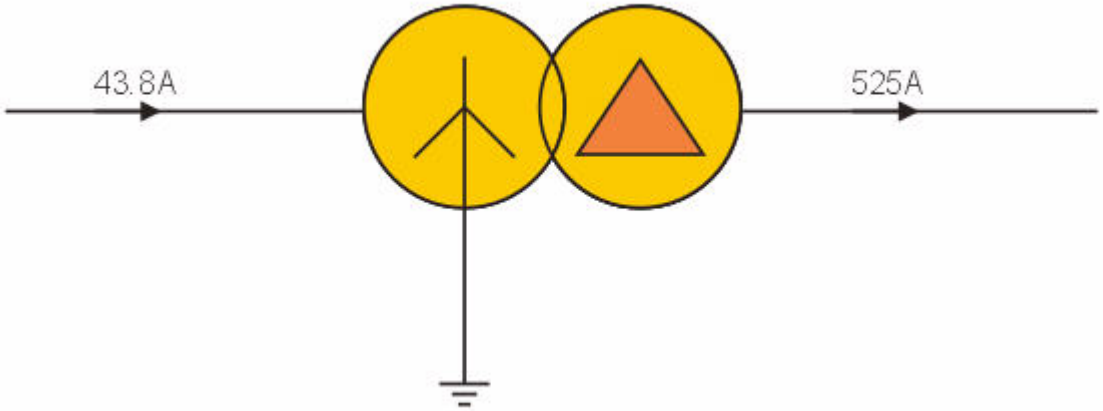
Schematic diagram of differential protection scheme

Conecte los TC de AT y BT en estrella delta opuesto a las conexiones de grupo de vectores de los devanados primarios

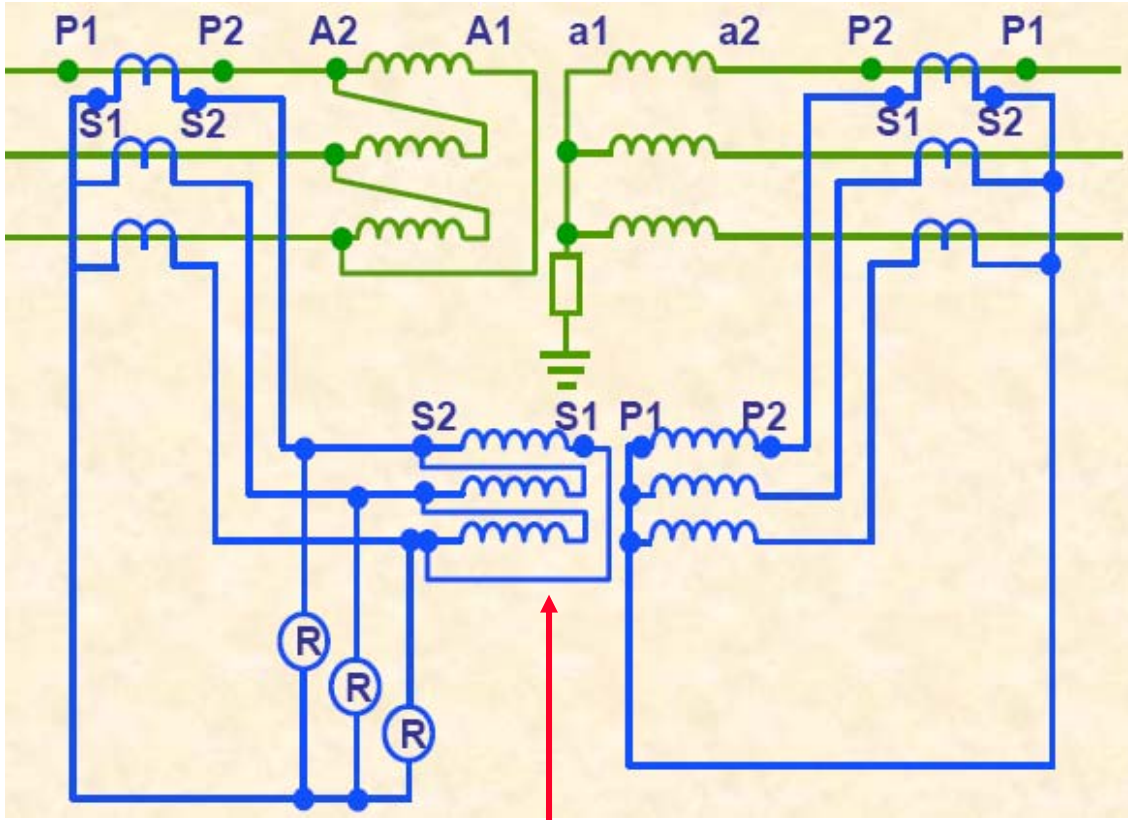
Mis-m

132/11 kV

10 MVA



- **TC requeridos en primario y secundario para protección**
- **La relación más cercana disponible a 43,8 amperios es 50/1 -- 0.876 amperios secundarios**
- **la relación más cercana a 525 amperios es probablemente 500/1 - 1.05 amperios secundarios**
- **Además, los CT pueden ser de diferentes fabricantes.**
- **Se requiere un transformador auxiliar o correspondiente**



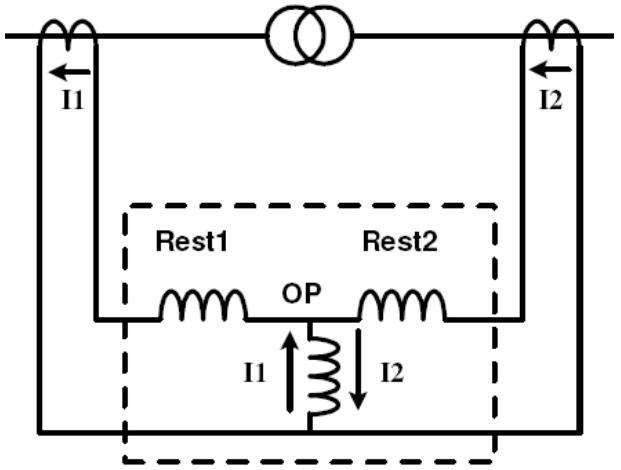
Interposing CT provides :

- Vector correction
- Ratio correction
- Zero sequence compensation

Transformador a juego

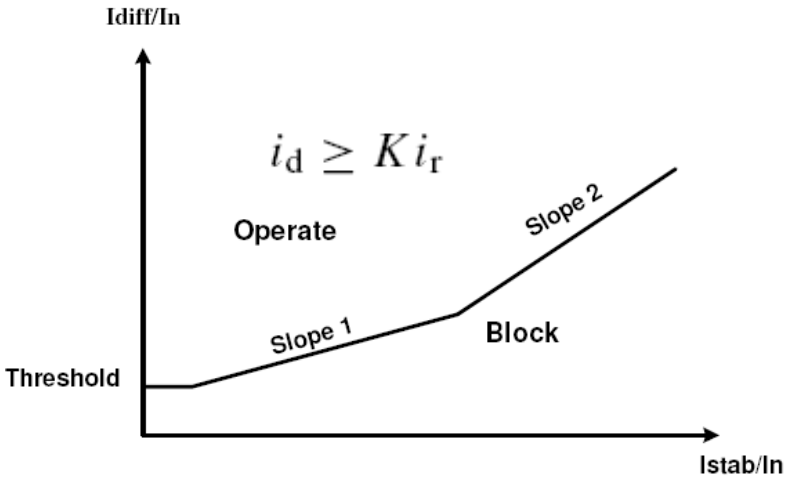
Diferencial sesgado Re

- Una falla externa grande puede causar una operación falsa del relé diferencial simple (debido a la saturación del CT).
- Para hacer que el relé diferencial sea más estable a fallas externas y mejorar el relé calidad, se insertaron bobinas de contención.
- Se utilizan dos bobinas de restricción (polarización) y una operativa como se muestra. Las bobinas de restricción se opondrán al funcionamiento de la bobina operativa. El relé operará solo cuando el f
fuerza restrictiva.



Medición

- $I_{bias} = (|I_1| + |I_2|)/2$
- $I_{diff} = |I_1 + I_2|$

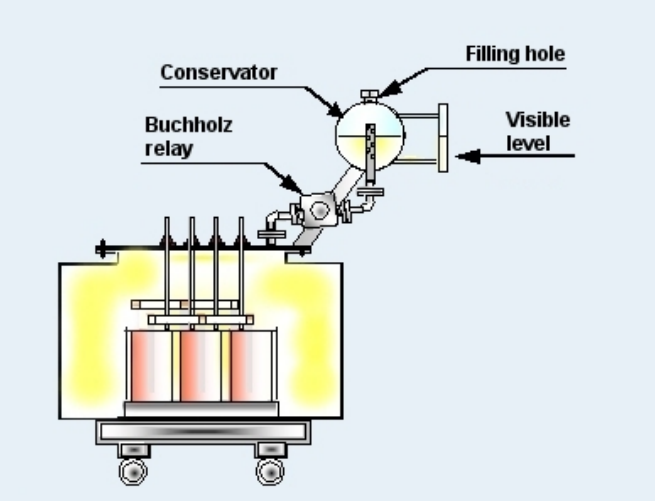


Características de disparo del relé diferencial polarizado

Estabilidad proporcionada por el sesgo

Protección Buchholz

- La falla del aislamiento del devanado resultará en alguna forma de arco que puede descomponer el aceite en hidrógeno, acetileno y metano.
- El calentamiento localizado puede precipitar la descomposición del aceite en gas.
- Los arcos fuertes provocarán una rápida liberación de un gran volumen de gas y de vapor de aceite. La acción puede ser tan violenta que la acumulación de presión puede provocar un aumento de aceite desde el tanque hasta el conservador.
- El relé Buchholz puede detectar sobretensiones tanto de gas como de aceite cuando está montado en la tubería del conservador.



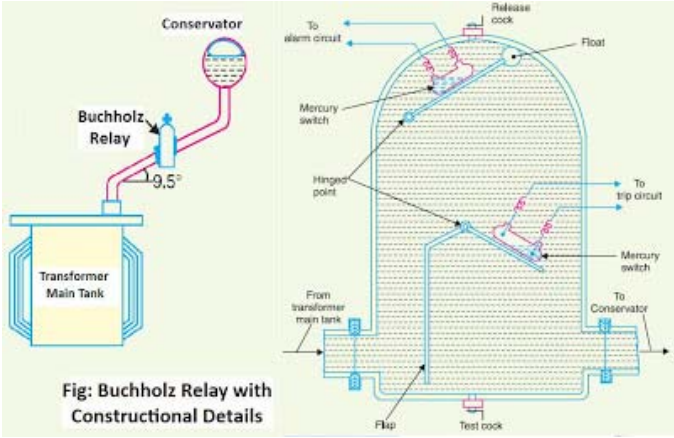
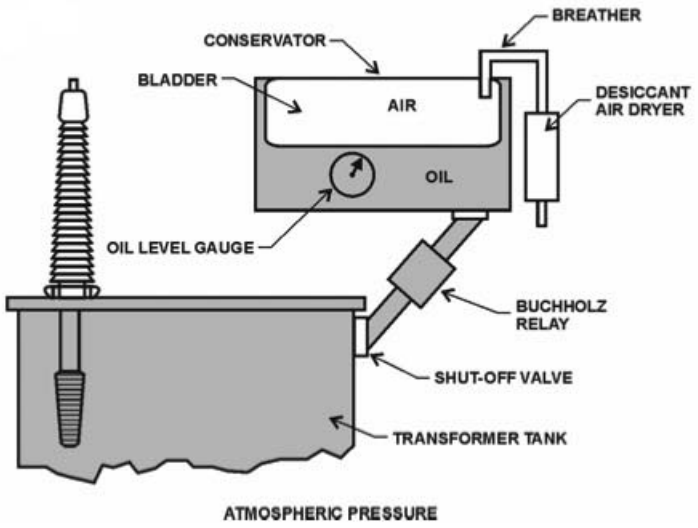
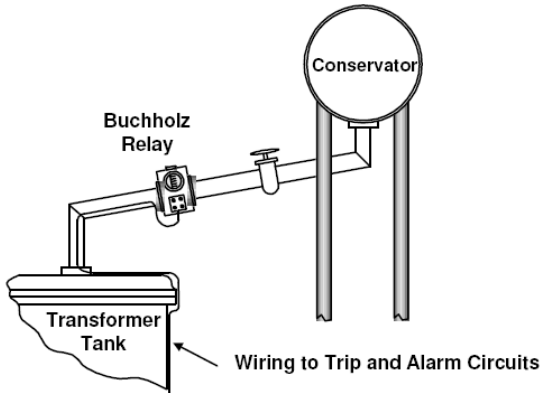


Fig: Buchholz Relay with Constructional Details

z Prot



A **Relé Buchholz, es un dispositivo de seguridad montado en una fuente de alimentación llena de aceite.** transformadores equipado con un depósito de aceite superior externo llamado *conservador*.



El relé Buchholz se utiliza como dispositivo de protección sensible a los efectos de dieléctricofalla dentro del equipo.

Protección Buchholz

- **Descarga de gas: El relé Buchholz detecta burbujas de gas**
- **Exceso de presión del tanque: El relé Buchholz de**

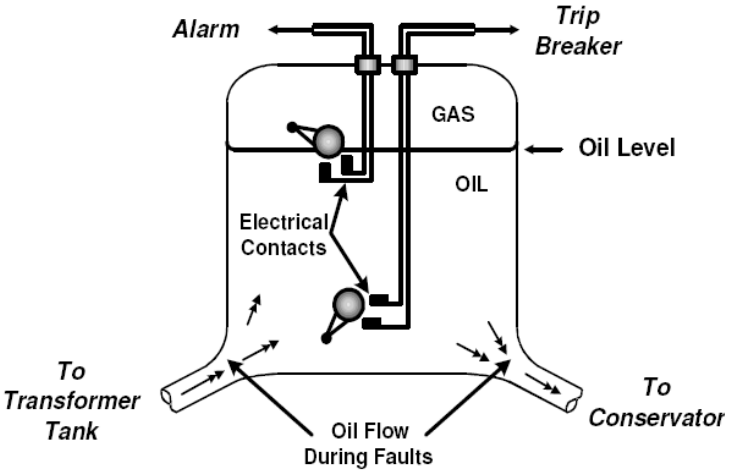
fluido dieléctrico desde el tanque del transformador a

En relés Buchholz:

A **primer contacto con mercurio** detecta gas descarga y **iniciar una señal de alarma**.

A **segundo contacto con mercurio** detecta el flujo rápido de fluido dieléctrico desde el transformador al tanque de expansión y **iniciar un viaje señal**.

Los fabricantes de transformadores suelen montar relés Buchholz como equipo estándar en los transformadores de tanque de expansión.



Sobrecarga del transformador

- La sobrecarga sostenida reduce la vida útil del transformador

- Las temperaturas de funcionamiento también deciden la vida útil del aceite del transformador.

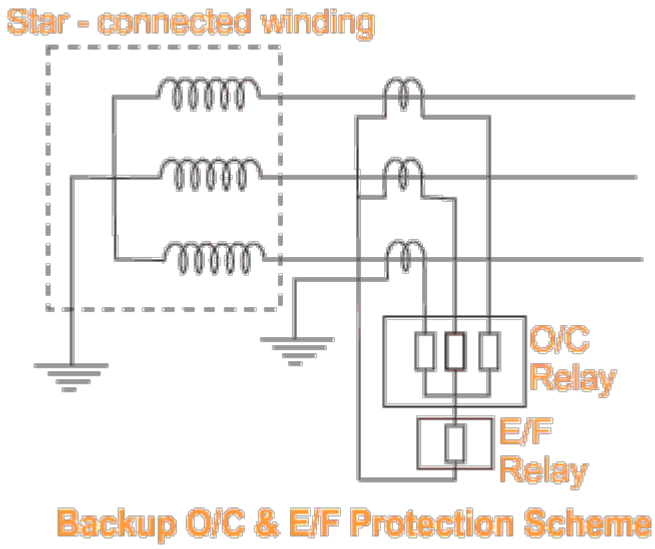
Temperatura de funcionamiento	Vida del aceite
• 60 grados C	20 años
• 70 grados C	10 años
• 80 grados C	5 años
• 90 grados C	2,5 años
• 100 grados C	13 meses
• 110 grados C	7 meses

Protección contra sobrecorriente y fallas a tierra de transformador

- **Protección de respaldo de transformador eléctrico** es simple **Protección contra sobrecorriente y falla a tierra** aplicado contra cortocircuitos externos y sobrecargas excesivas.
- Estos terminaronActual y los relés de falla a tierra pueden ser relés de tiempo mínimo definido inverso (IDMT) o de tiempo definido.

- Generalmente, los relés IDMT se conectan al transformador.

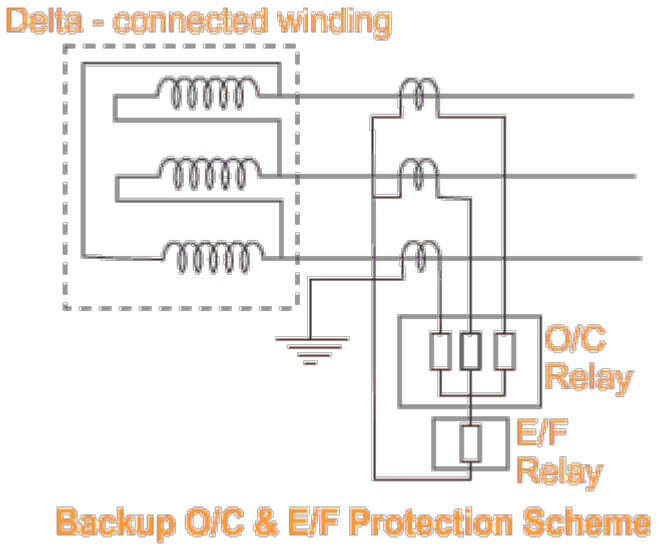
También se pueden proporcionar relés de protección contra sobrecorriente y falla a tierra en el lado de carga del transformador, pero no deben interrumpir el disyuntor del lado primario.



Backup O/C & E/F Protection Scheme

Protección contra sobrecorriente y fallas a tierra de transformador

- **Protección de respaldo del transformador** tiene cuatro elementos, tres**Relés OC** conectado cada uno en cada fase y uno **Relé EF**conectado al punto común de tres **Relés OC**.
- El rango normal de Actual configuraciones disponibles en IDMT **Relés OC** es del 50% al 200% y más **mi**



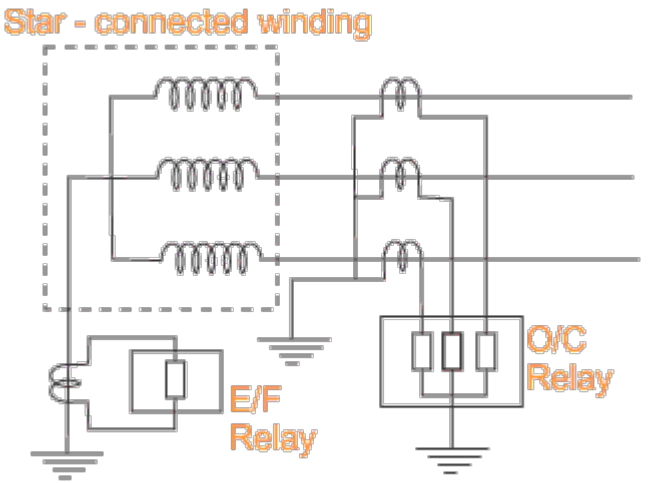
Protección contra sobrecorriente y fallas a tierra de transformador

- En el caso de bobinado de transformador con **neutro a tierra**, **protección de falla a tierra sin restricciones** se obtiene conectando un relé de falla a tierra ordinario a través de un neutro Actual transformador.

- El irrestricto **Relés OC** y **EF**

retraso de tiempo adecuado para coordinar con

t otro circuito para evitar



O/C & Unrestricted E/F Protection Scheme

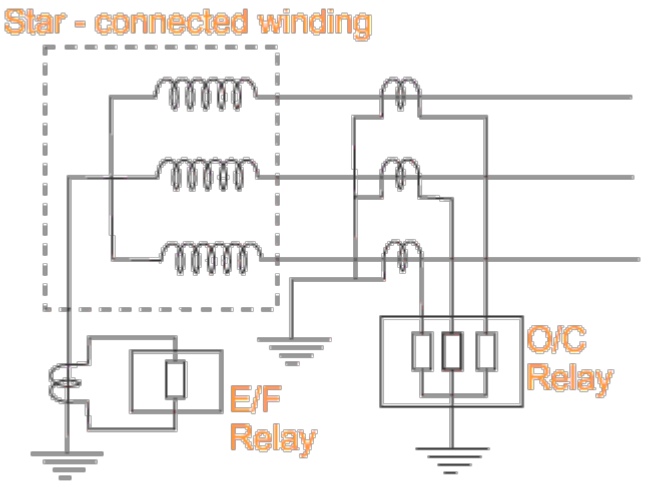
Protección contra sobrecorriente y fallas a tierra de transformador

- En el caso de bobinado de transformador con **neutro a tierra**, **protección de falla a tierra sin restricciones** se obtiene conectando un relé de falla a tierra ordinario a través de un neutro Actual transformador.

- El irrestricto **Relés OC** y **EF**

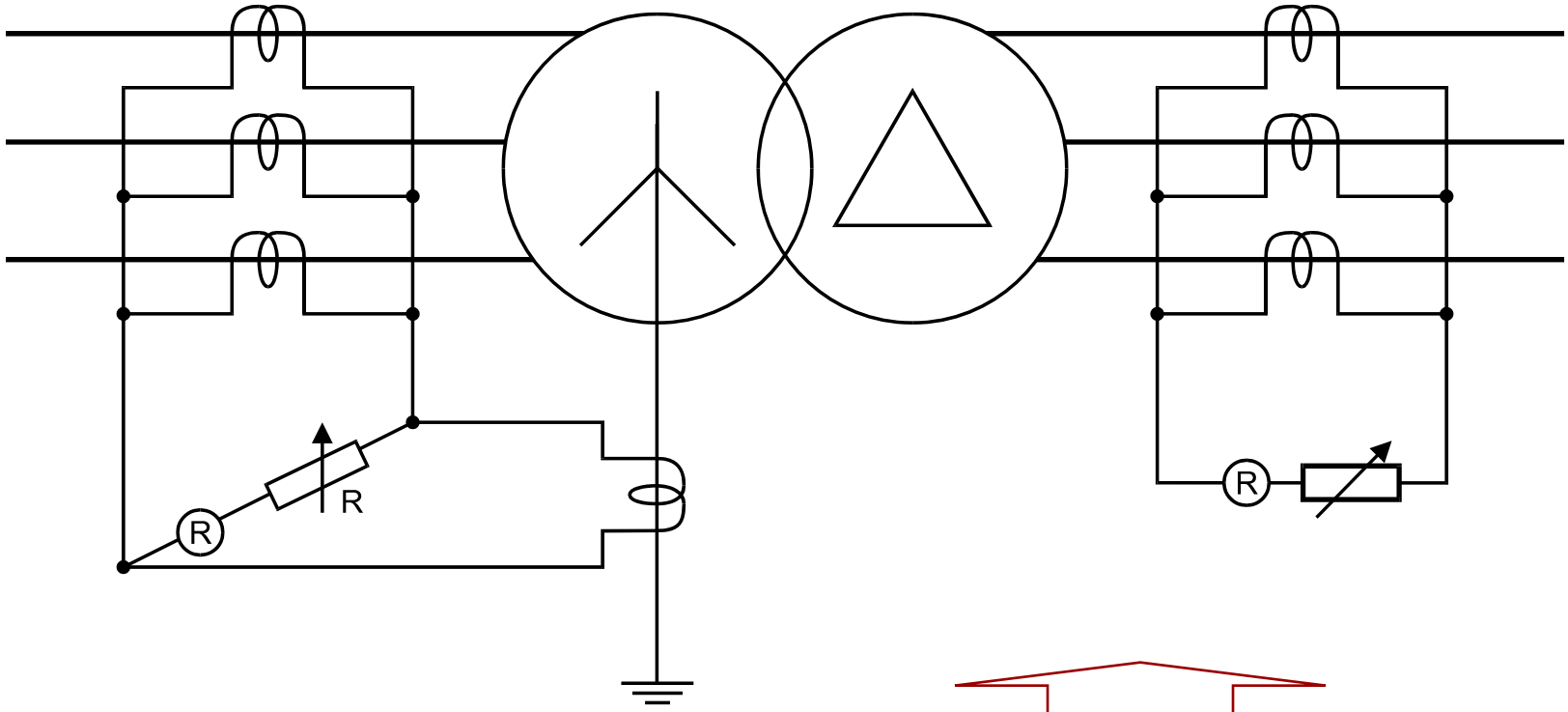
retraso de tiempo adecuado para coordinar con

t otro circuito para evitar



O/C & Unrestricted E/F Protection Scheme

Un sistema de falla a tierra restringido

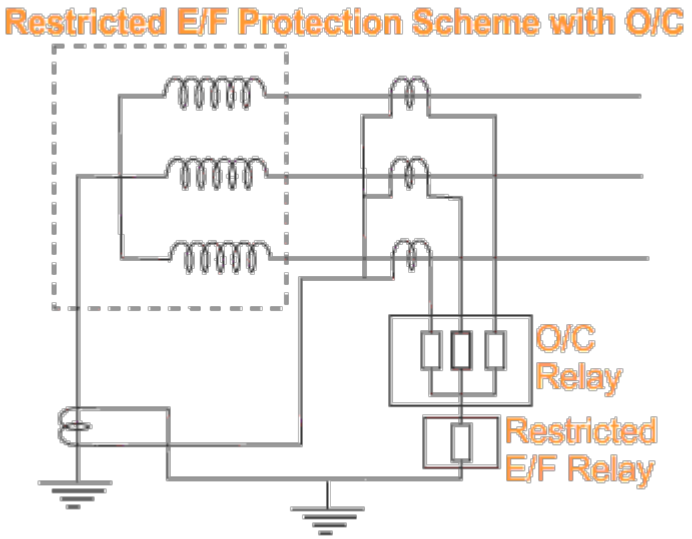


Equilibrio de corrientes de TC: no hay voltaje de funcionamiento al relé

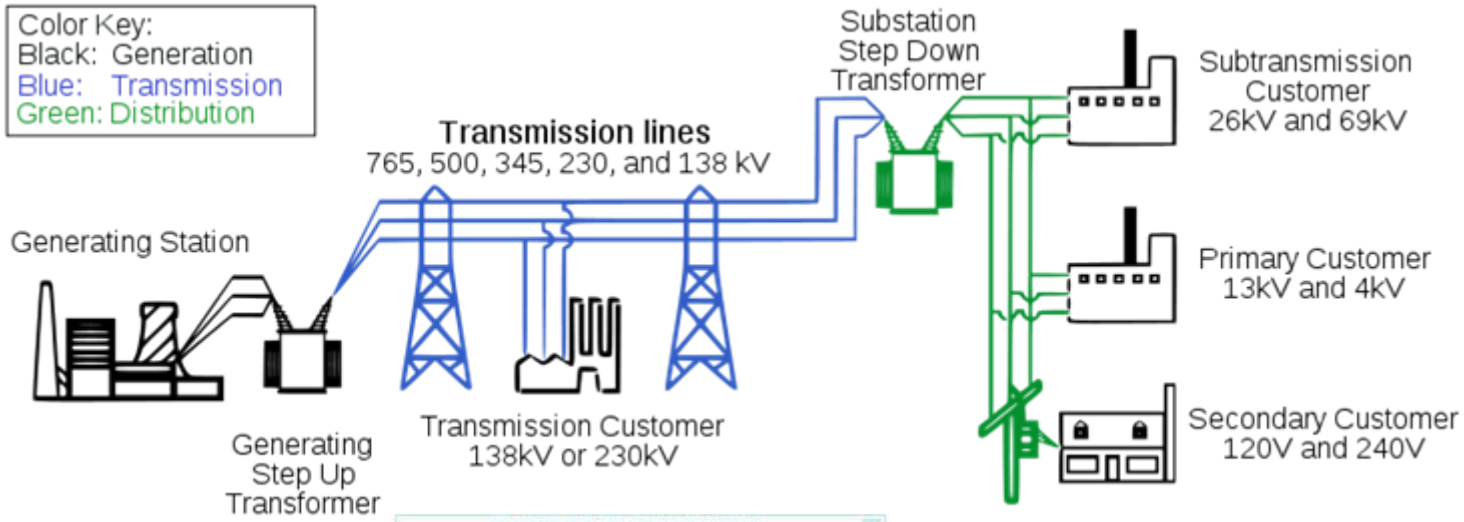
Cualquier corriente residual hará que el relé opere para E / F en la zona

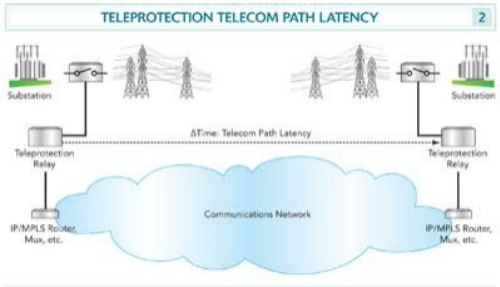
Protección de falla a tierra restringida (REF)

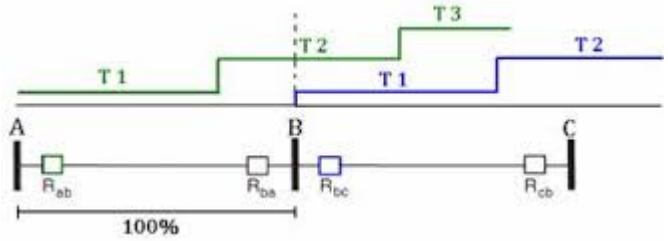
- En el lado de alta tensión, **corriente residual** de los TC de 3 líneas está equilibrada con la corriente de salida del TC en el **conductor neutro**.
- los **Relé REF** no se activará para **falla a tierra externa**. Pero durante**fallo interno** los neutral transformador de corriente solo lleva el**falla de desequilibrio** **Actual** y funcionamiento de **Relé REF** tiene lugar.
- Por tanto, ambos devanados del transformador pueden protegerse por separado con restricciones **Relé REF** .
- Proporcione protección de alta velocidad contra el oído de los devanados del transformador.
- El relé utilizado es de tipo instantáneo.

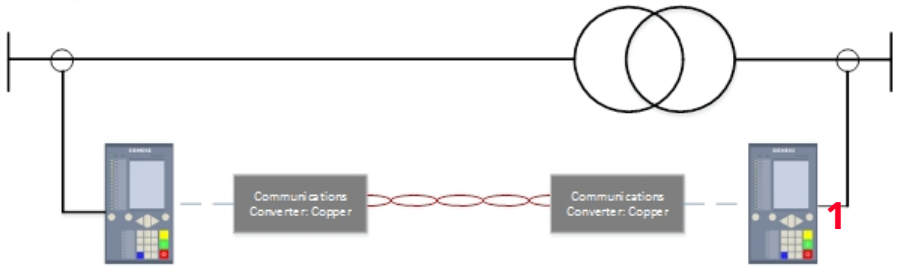


Tema 1: Protección del sistema de energía





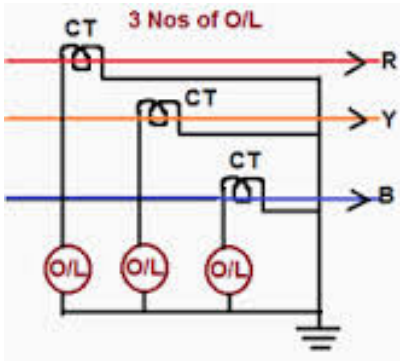


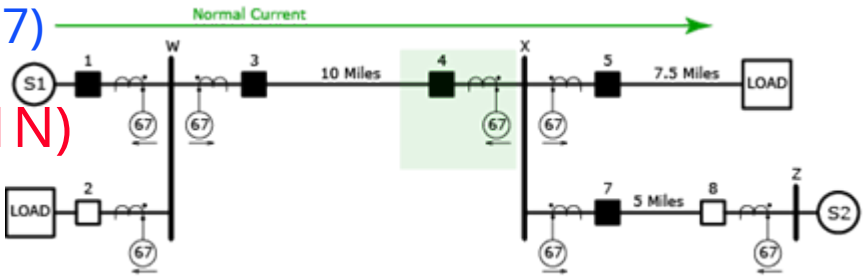


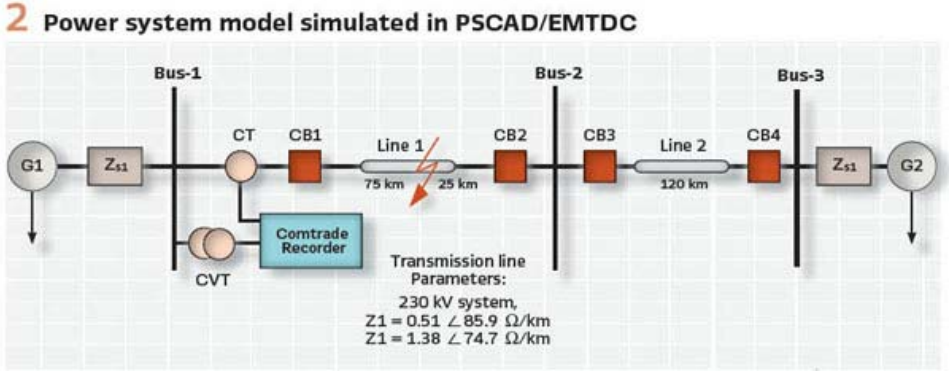
Protección de la línea de transmisión

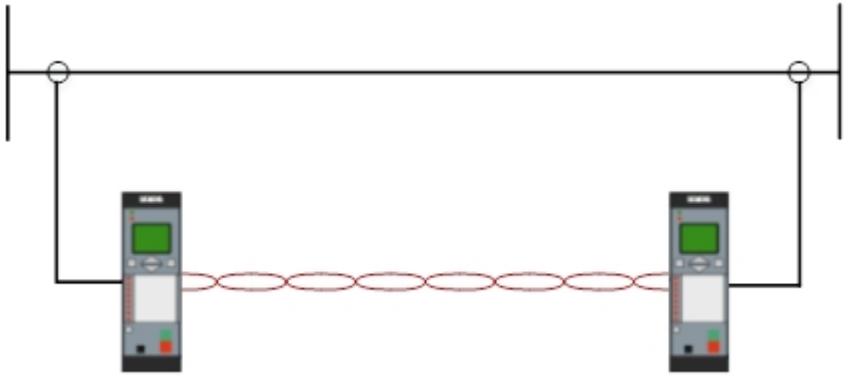
¿Cómo protegemos las líneas de transmisión?

- **Sobrecorriente** (50, 51, 50N, 51N)
- **Sobrecorriente direccional** (67, 67N)
- **Protección del cable piloto**
- **Diferencial de corriente de línea** (87)
- **Distancia (impedancia)** (21, 21N)



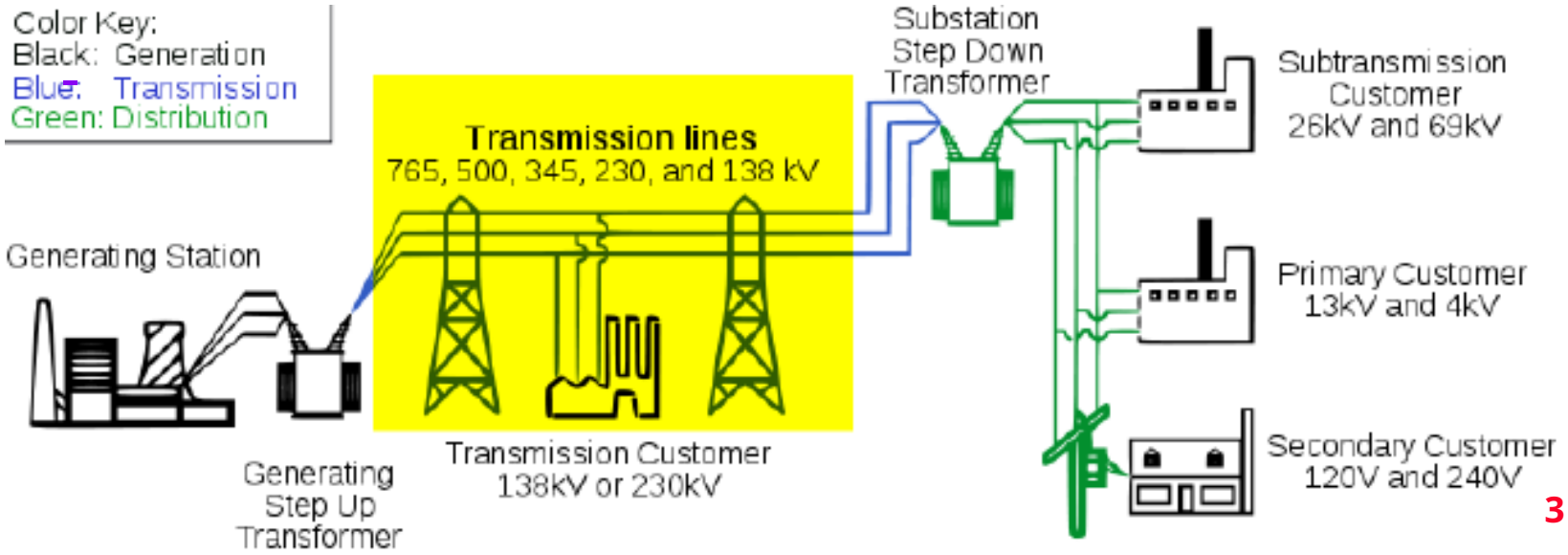






Protección de la línea de transmisión

- **Protección contra la sobretensión**
  - No direccional
  - El relé responde a una condición de sobrecorriente
- **Dispositivo instantáneo (IOC) # 50**
  -
-

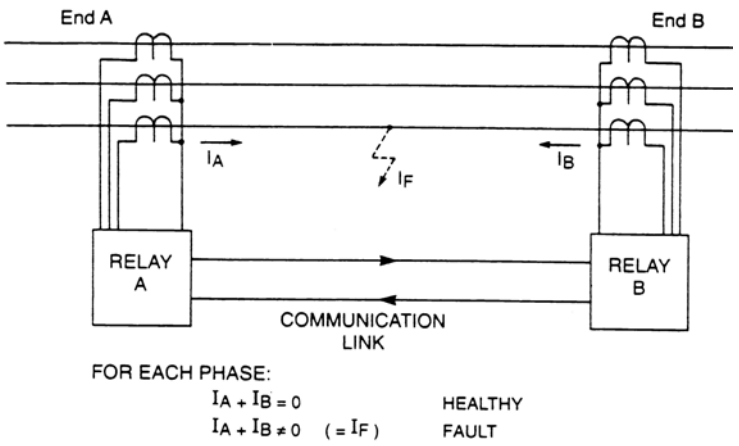


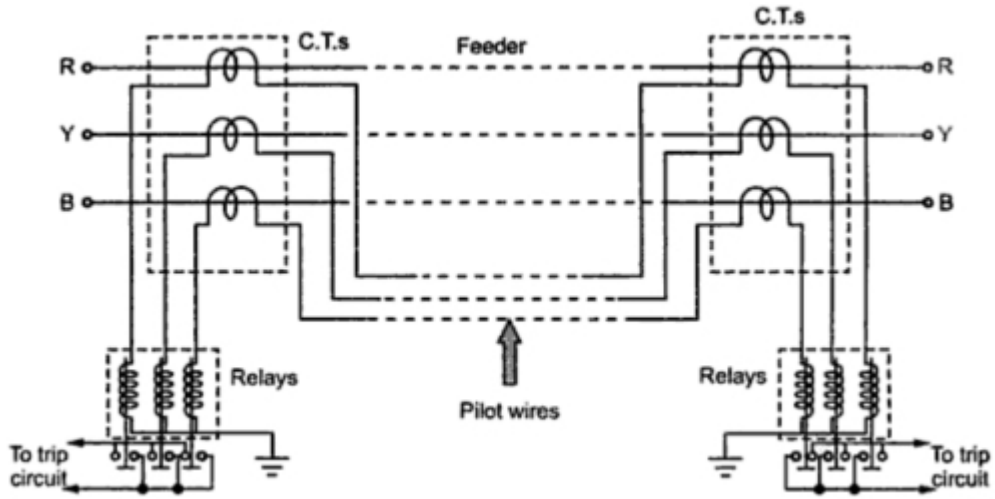
Protección diferencial del hilo piloto

- ## Protección de cables y líneas cortas

- **Esquemas de protección piloto** utilice canales de comunicación para enviar información desde el terminal de relé local al terminal de relé remoto, lo que permite el disparo de alta velocidad para fallas que ocurren dentro del 100% de la línea protegida.

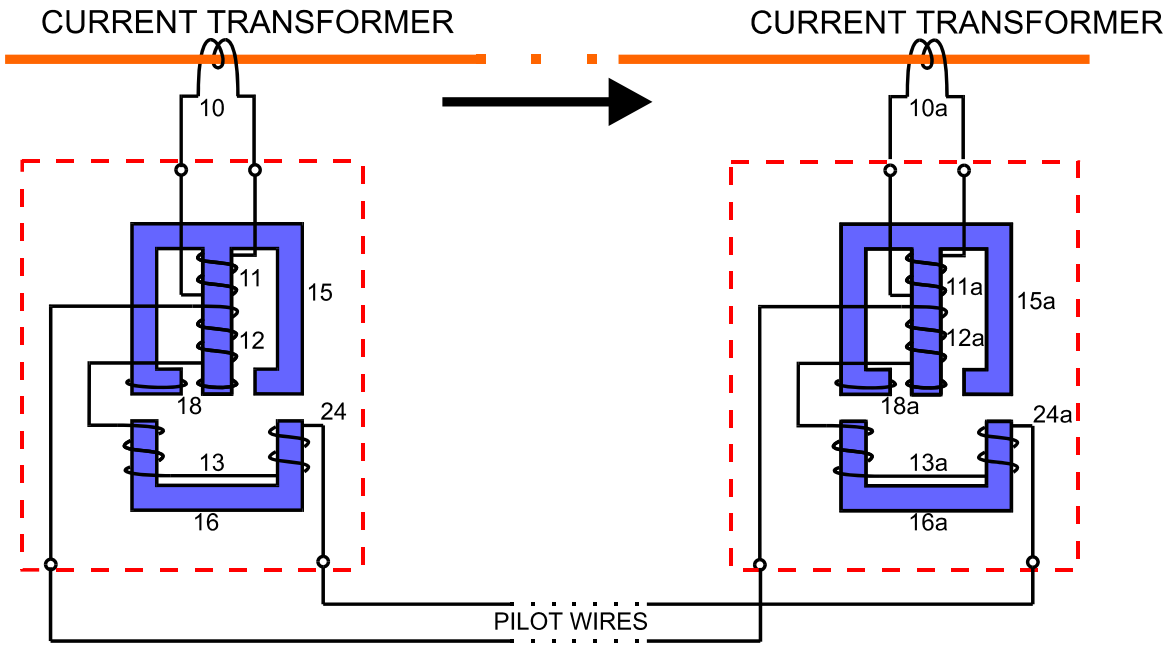
- **Protección del hilo piloto**: Piloto p

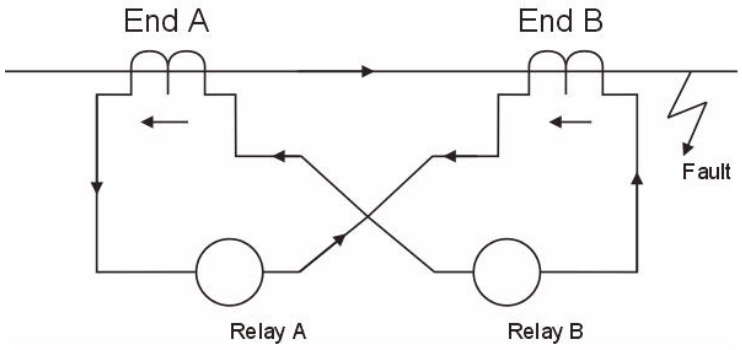




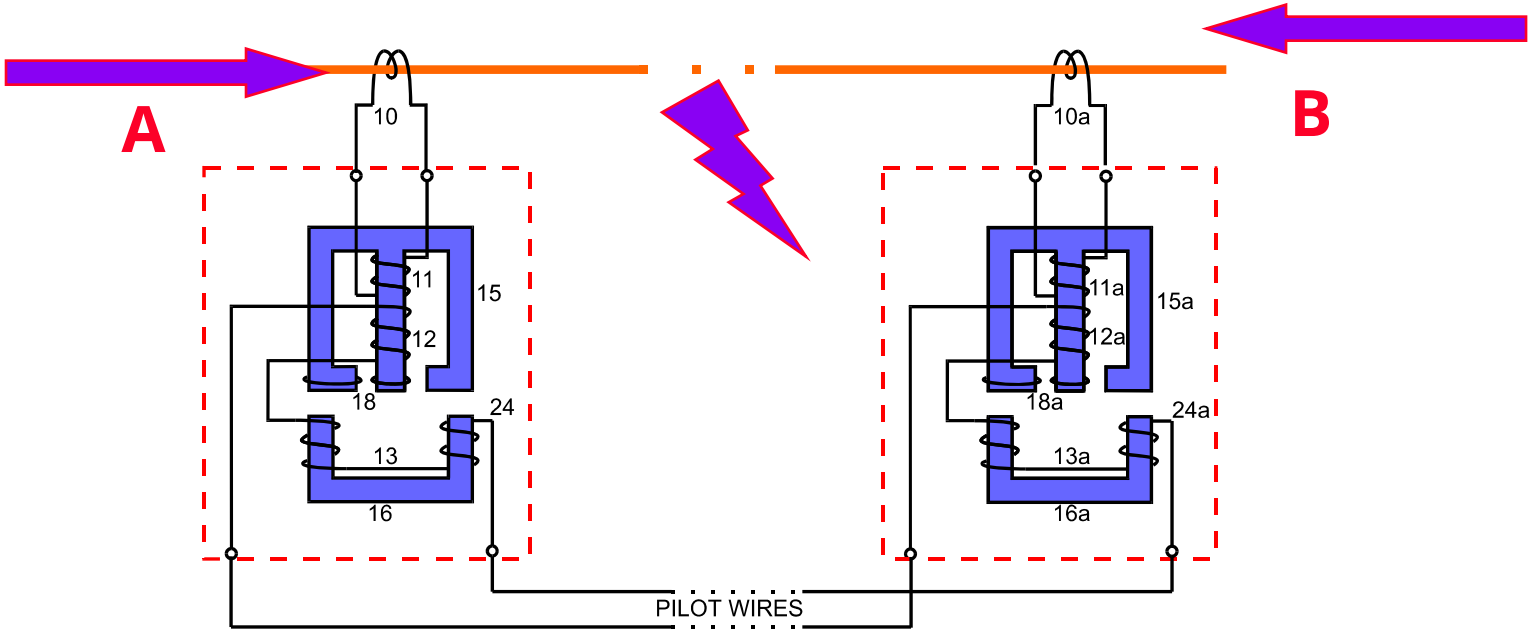
Aplicaciones de la protección de unidades

-**Voltaje equilibrado** Los sistemas se utilizan en sistemas de alimentación donde los TC están separados entre sí con relés independientes en ambos extremos.





Fallo alimentado por ambos extremos

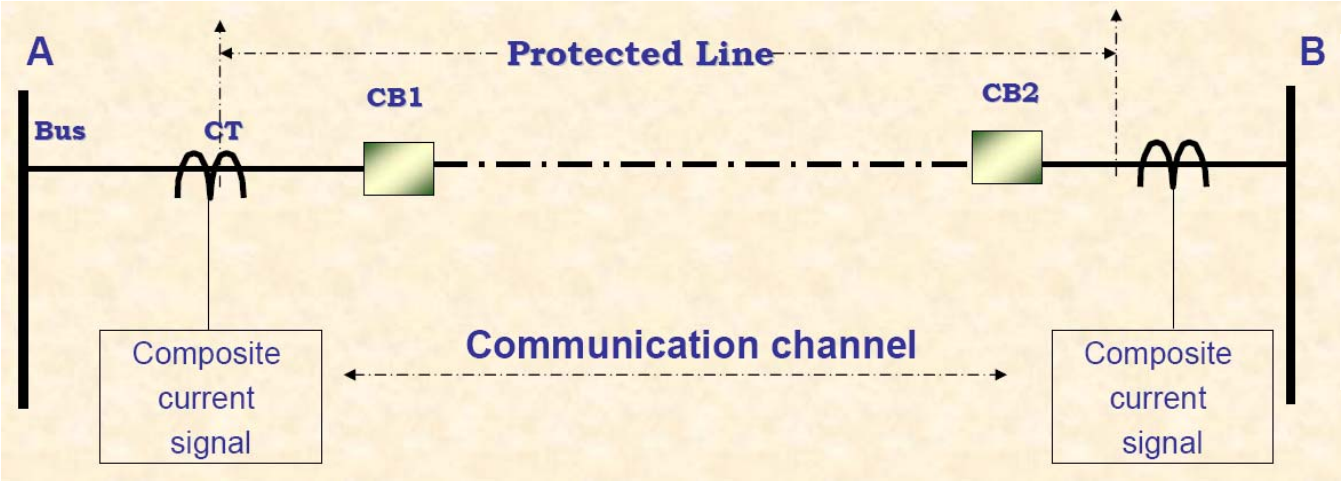


- **Una falla interna alimentada desde A y B aumenta la corriente en el devanado primario (11) y (11a) con una inversión de corriente correspondiente en (11a)**

- **Esto da como resultado que el voltaje inducido en (12a) se suma al de (12) - produciendo un par de operación en ambos discos - disparando ambos extremos**

Protección diferencial de líneas de transmisión

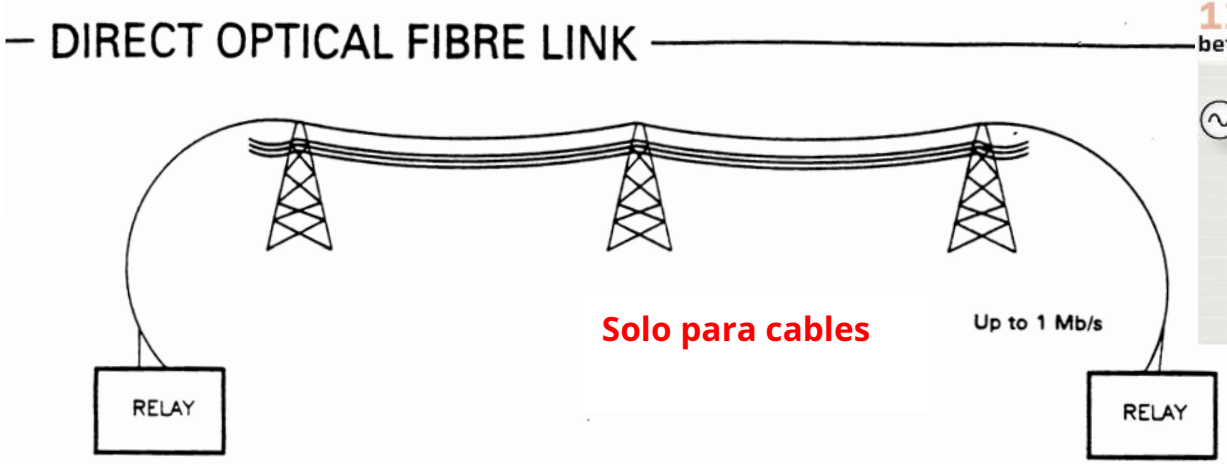
- La forma ideal de proteger cualquier equipo del sistema de energía es comparar la corriente que ingresa a ese equipo con la corriente que lo abandona.
- En condiciones normales de salud, los dos son iguales. Si las dos corrientes no son iguales, entonces debe existir una falla. Este es el principio de "Protección diferencial", Que se usa comúnmente en TX Protection.
- mi

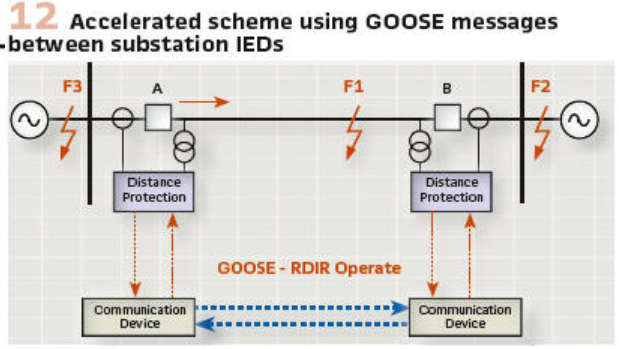


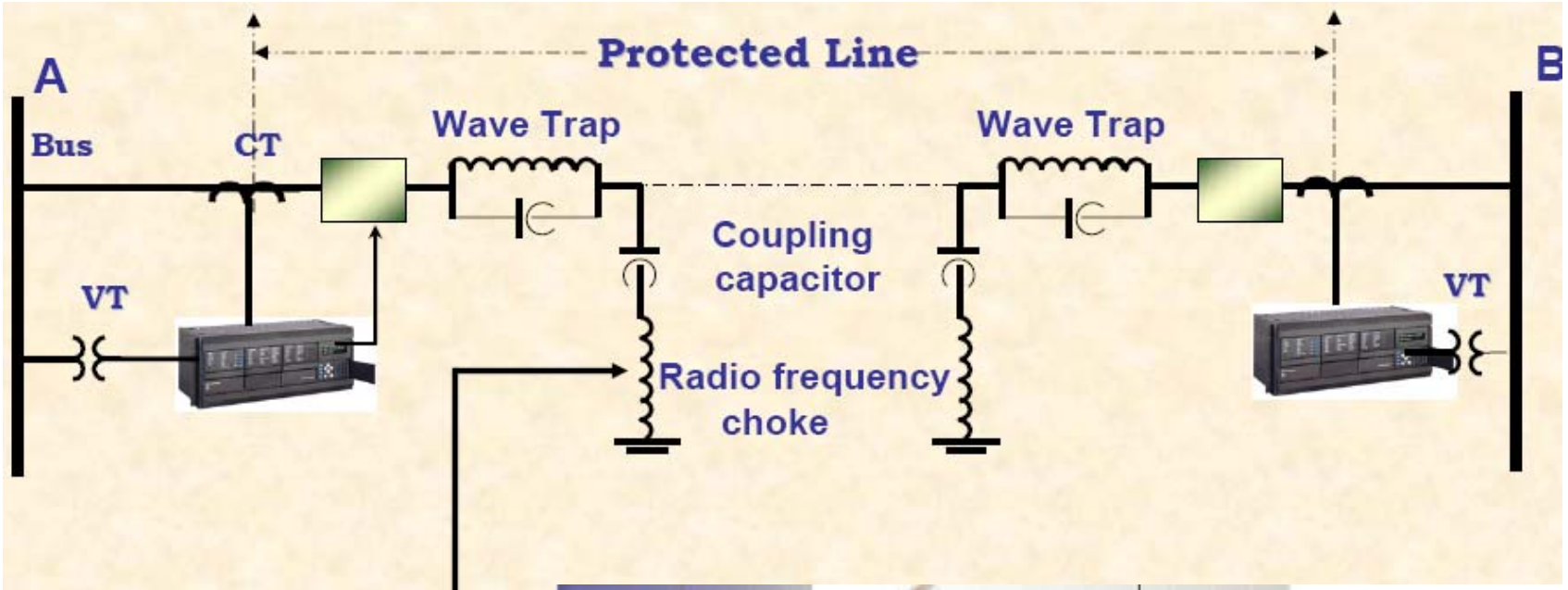
Canal de comunicación

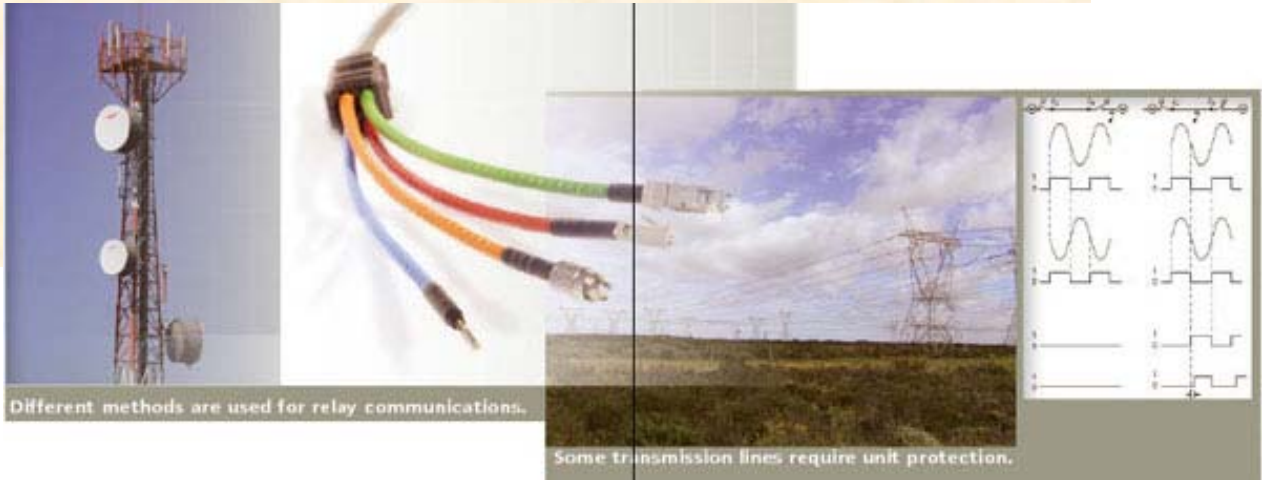
- Los datos se digitalizan antes de enviarse por fibra óptica.
- La comparación se realiza por fase.

Enlace directo de fibra óptica: hasta aproximadamente 2 a 20 km, según



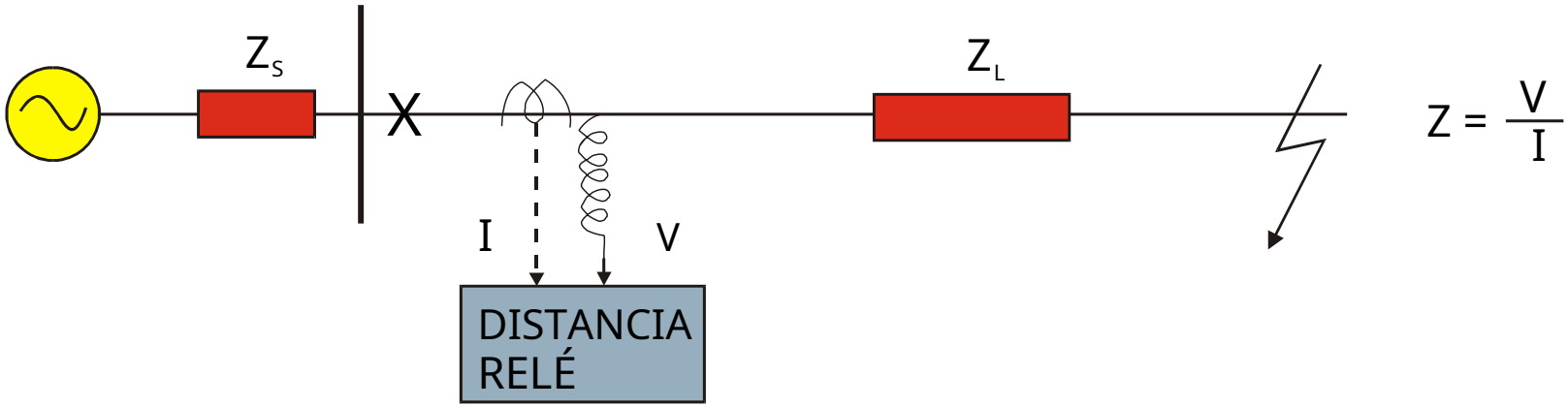



Protected Line
A
B
Bus
CT
Wave Trap
Wave Trap
Coupling
capacitor
VT
VT
Radio frequency
choke
Injection of HF
signals &
Receiver of HF
signals

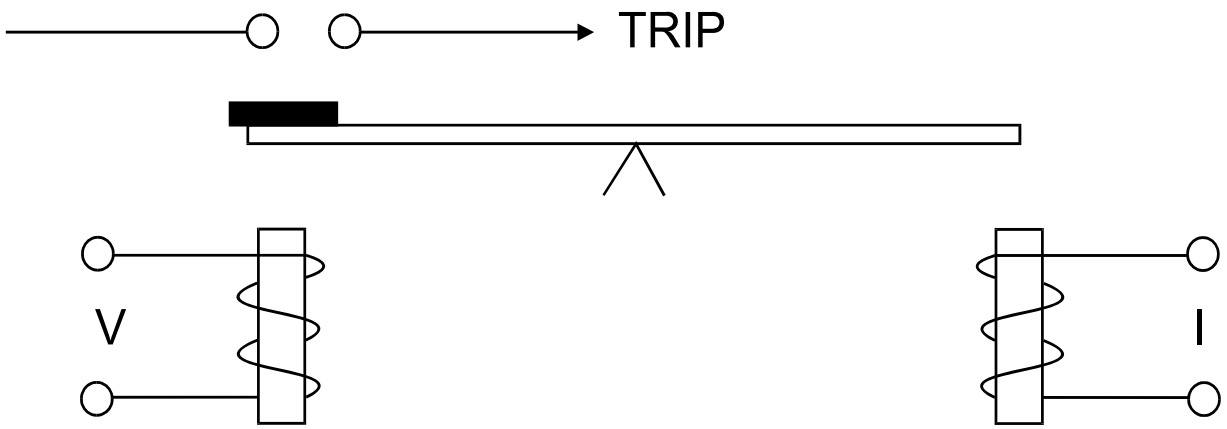

Different methods are used for relay communications.
Some transmission lines require unit protection.

Protección a distancia

- Un relé de distancia tiene la capacidad de detectar una falla dentro de una distancia preestablecida a lo largo de una línea de transmisión o cable de alimentación desde su ubicación.
- La impedancia total del cable de alimentación es función de su longitud.
- Un relé de distancia observa la corriente y el voltaje y compara estas dos cantidades sobre la base de la ley de Ohm.

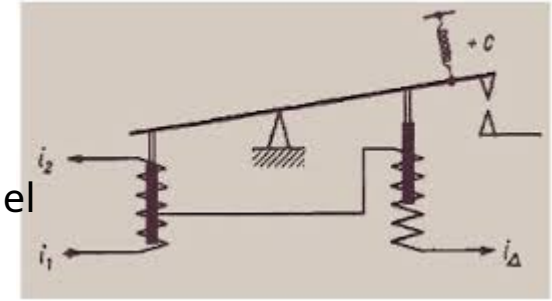


Relé de haz balanceado tipo Pioneer



- El voltaje se alimenta a una bobina para proporcionar un par de restricción.
- La corriente se alimenta a la otra bobina para proporcionar el par de funcionamiento.

14 Percentage differential relay, McColl, 1917



Relé de haz balanceado tipo Pioneer

- En condiciones saludables, el voltaje será alto (al nivel nominal completo) mientras que la corriente será baja (al nivel de carga normal), lo que equilibrará la viga para que los contactos permanezcan abiertos.

- En condiciones de falla, el voltaje colapsa y la corriente aumenta drásticamente, lo que hace que el haz se desequilibre y cierre los contactos.

- Cambiando el **amperios-vueltas** relación de la **bobina de corriente** a la bobina de voltaje se puede ajustar el alcance óhmico del relé.

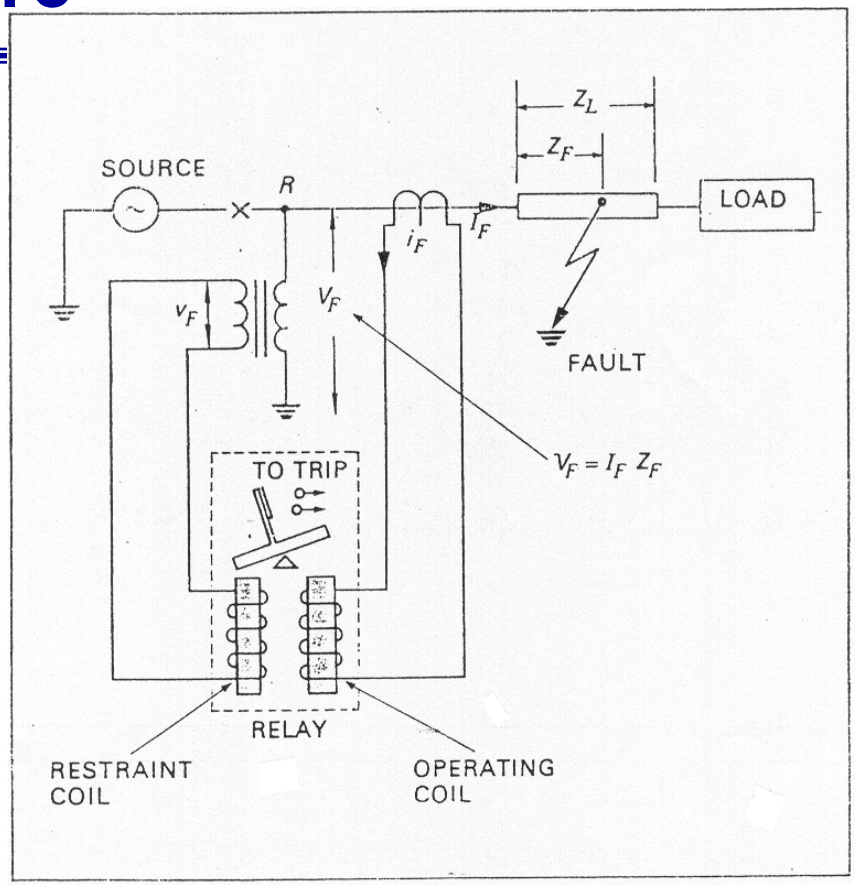
Equilibrio tipo pionero

- **Este relé utiliza entradas de voltaje y corriente para medir la "distancia eléctrica" o la impedancia desde el relé hasta la falla.**

- **Normalmente, el relé se establece en el 80% de la impedancia de línea, $Z_S = 0{,}80\text{-}Z_L$. Z_S es el ajuste del relé y Z_L -la impedancia de línea.**

- **Si la impedancia de falla, $Z_F < Z_S$, entonces la falla está dentro de la configuración del relé y el relé se dispara instantáneamente.**

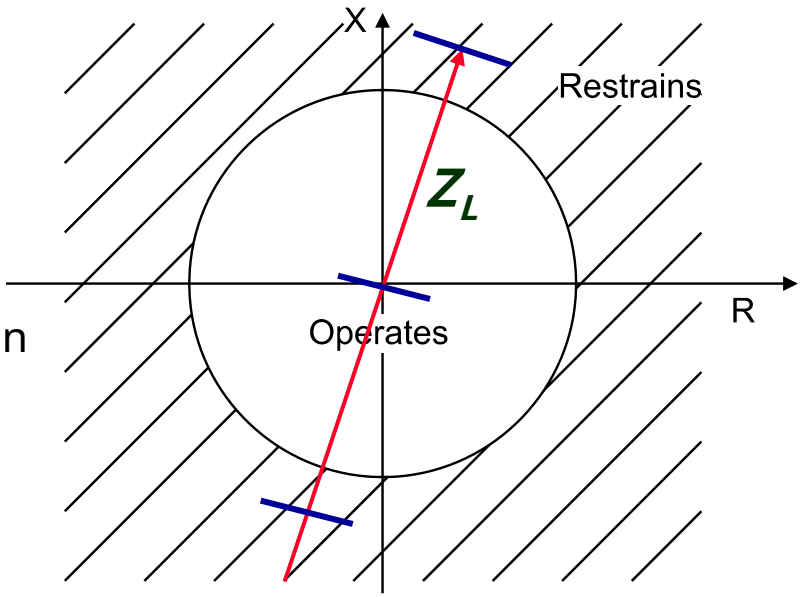
- **Si $Z_F > Z_S$, entonces la falla está fuera de la configuración del relé.**



Z_F	=	V_F/I_F	
Z_F	<	Z_L	INTERNAL LINE FAULT
Z_F	>	Z_L	EXTERNAL LINE FAULT

Relé de impedancia simple

- La línea de transmisión tiene resistencia y reactancia proporcionales a la longitud.
- Representado en un diagrama RX como se muestra a continuación.
- Trace el límite de funcionamiento del relé en un diagrama RX.
- Su característica de impedancia es un círculo con su centro en el origen de las coordenadas.
- El radio será el ajuste en ohmios.
- El relé funcionará para todos los valores inferiores a su configuración ... es decir, para todos los puntos dentro del círculo.



$$Z_L - \sqrt{R_2 - X_2}$$

$$Z_r - 0{,}8 Z_L$$

No direccional... .Puede operar por fallas detrás del punto de relé

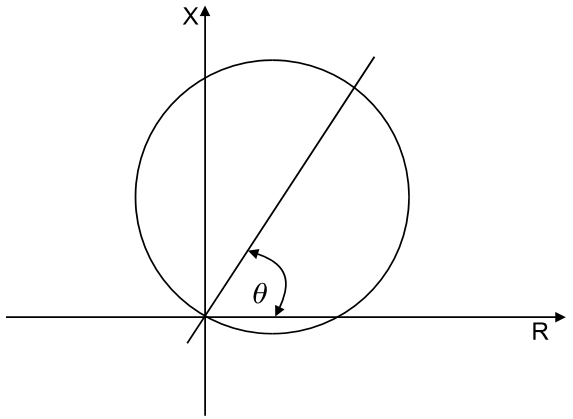
Característica del relé SMHO

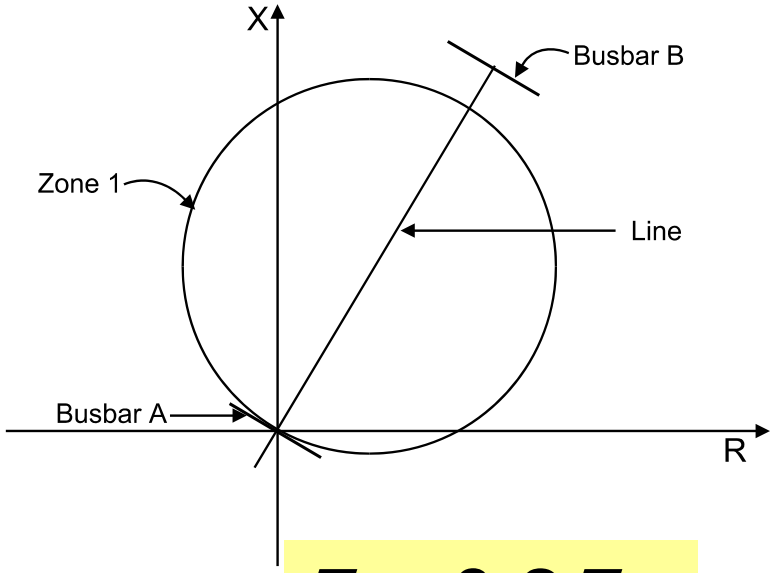
- Se alimentan voltajes adicionales al comparador para comparar los ángulos de fase relativos de voltaje y corriente; asi que proporcionando una función direccional.

- Esto mueve el círculo para que la circunferencia del círculo pase por el origen.

- Ángulo - se llama ángulo característico.

- Relevo llamado MHO.





$Z_{r1} - 0{,}8Z_L$

2 Power system model simulated in PSCAD/EMTDC

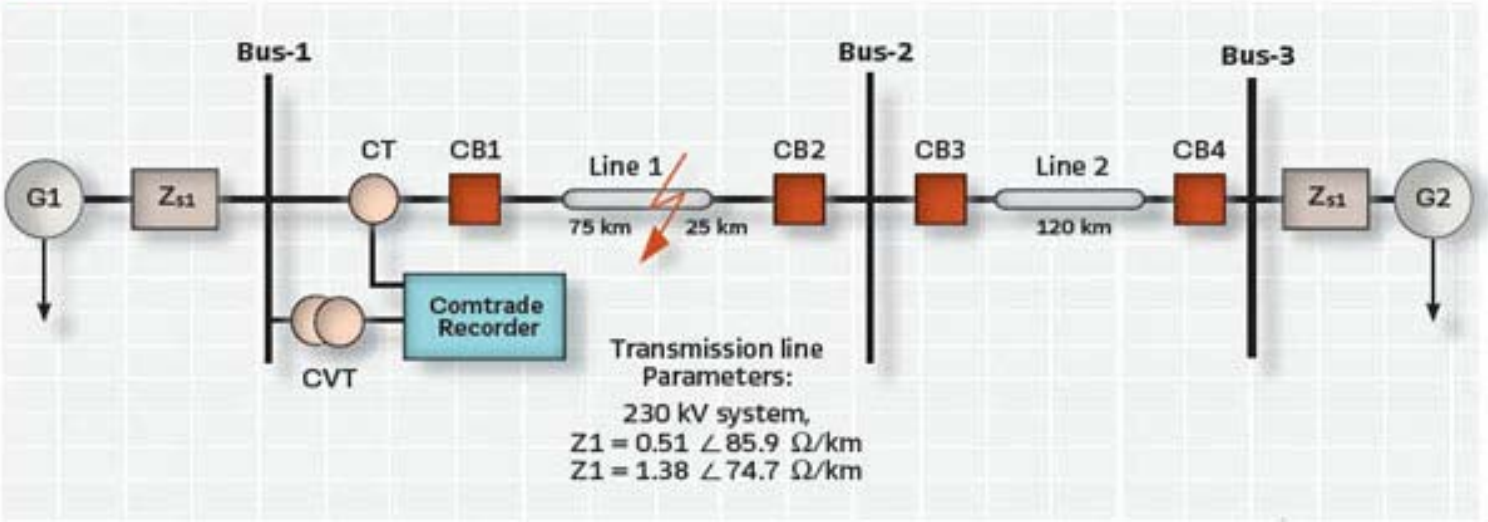
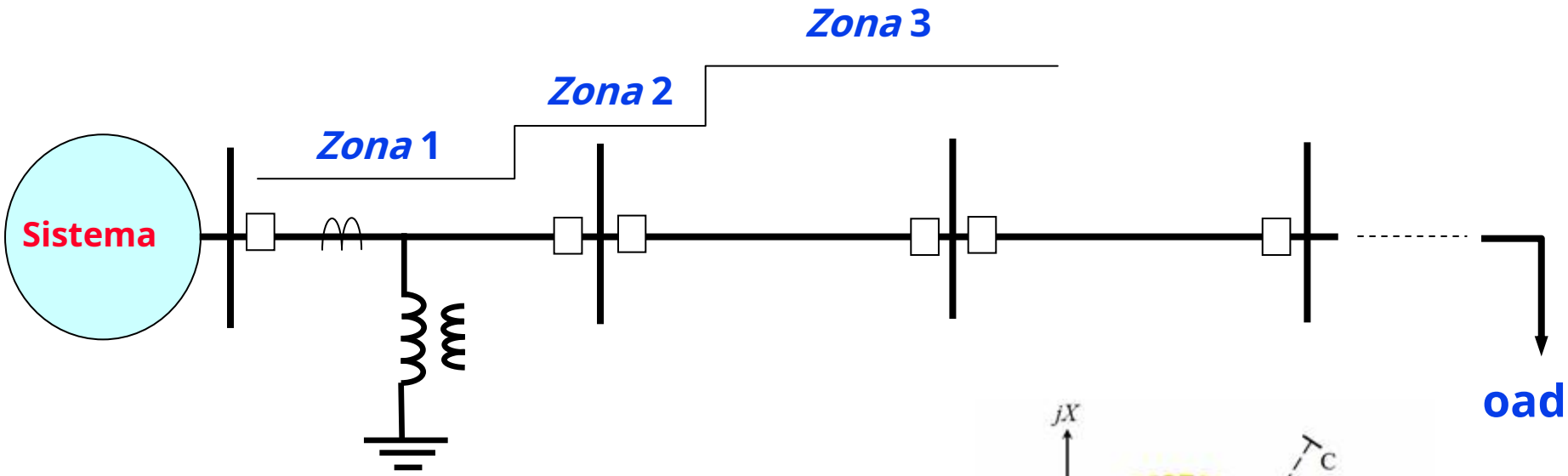


table 1 Distance relay zone settings

Serial Number	Zones of Protection	Zone Coverage	Time Delay (msec)
1	Zone - 1	80% of Line - 1	0
2	Zone - 2	100% of Line - 1 + 20% of Line - 2	300
3	Zone - 3	100% of Line - 1 + 100% of Line - 2	1,000

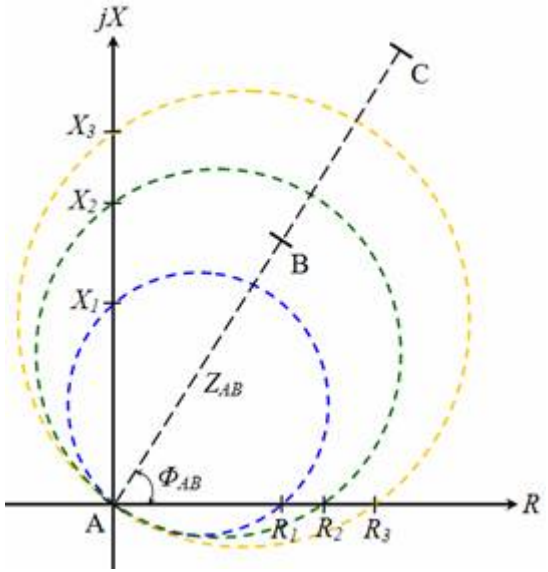
Protección de distancia convencional



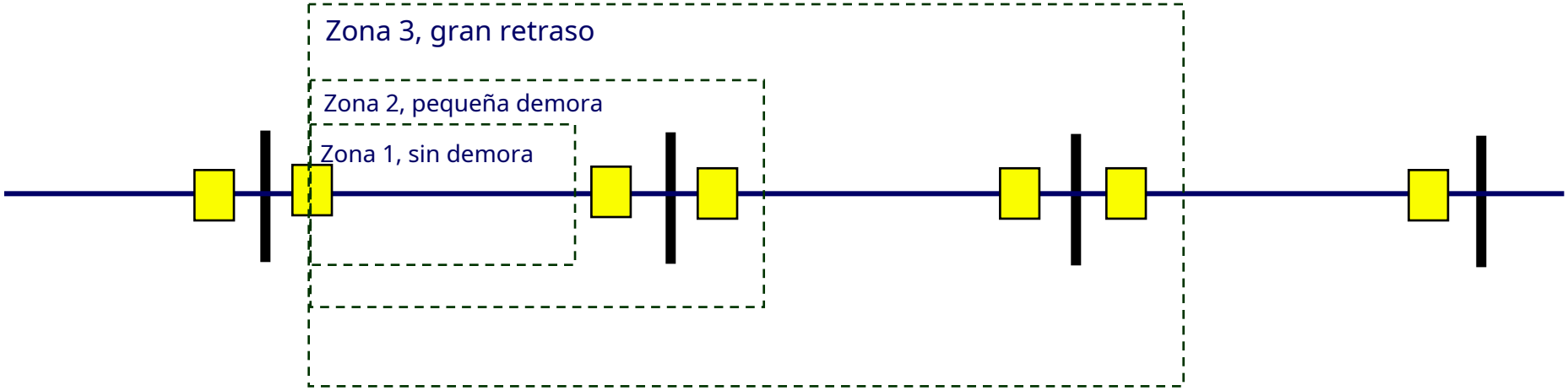
Zona 1: 0-80% de la longitud de la línea

Zona 2: 80% - 120% de la longitud de la línea

Zona 3: 120% - 220% de la longitud de la línea



Protección de distancia convencional



- Los relés detectan V / I y se disparan si es demasiado bajo; Buen enfoque porque las condiciones de falla son bajo voltaje, alta corriente.

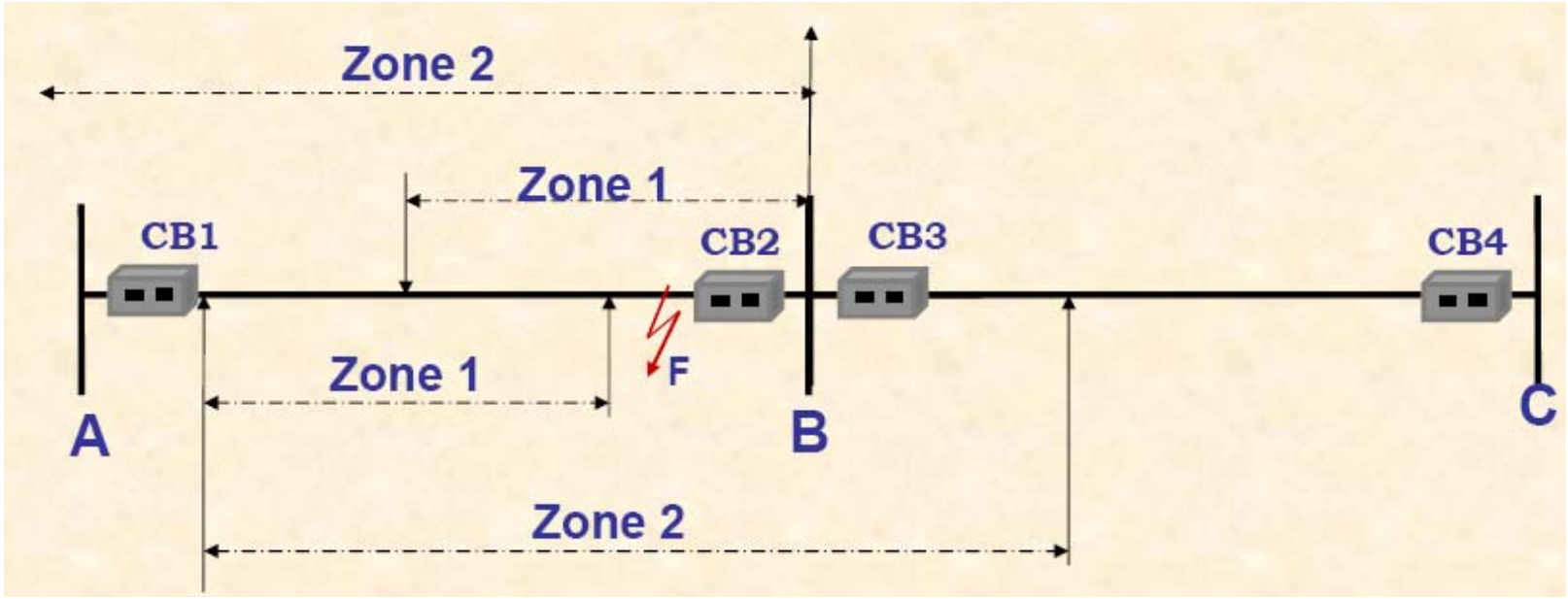
- Los relés son direccionales; Disparo solo por fallas “mirando” en una dirección.

- La zona 1 se dispara instantáneamente; zona de disparo para protección primaria

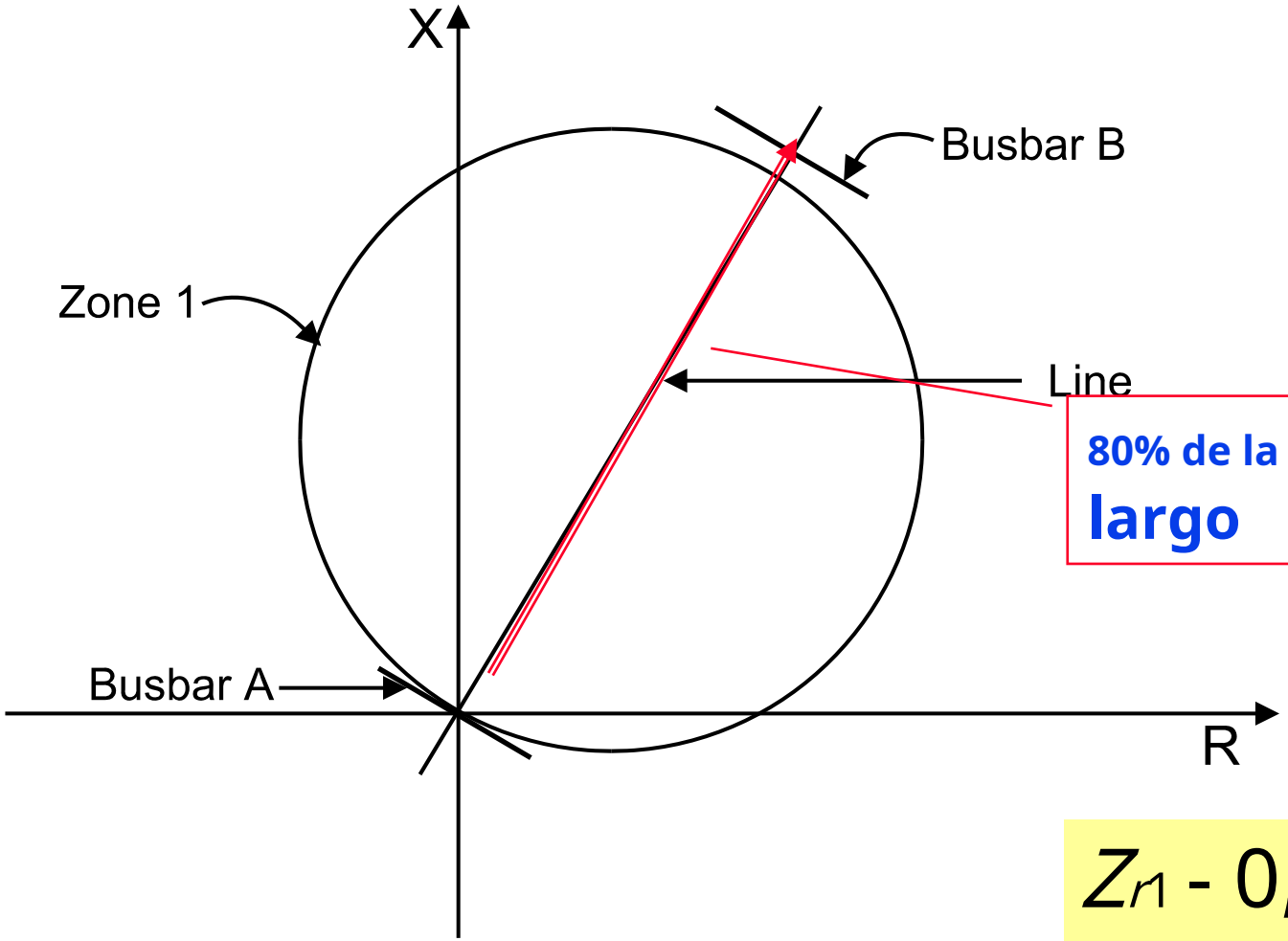
-La zona 2 tiene un pequeño retraso. La zona 3 tiene un gran retraso; estas son zonas de disparo para protección de "respaldo"

Zona 1

- Se ha agregado la característica de relé.
- **Alcanzar** del elemento de medición es aproximadamente **80% de la longitud de la línea**.
- **Al alcance** entorno elegido a propósito para evitar **desbordante**I



Zona 1 - bajo alcance



80% de la línea
largo

$Z_{r1} - 0{,}8Z_L$

Razones para el ajuste por debajo del alcance

- No es práctico medir la impedancia de la línea de transmisión con una precisión del 100%.
- Los errores están presentes en los transformadores de tensión y corriente.
- Tolerancias de fabricación sobre la capacidad del relé para medir con precisión.
- Conocida como Zona 1 del relé de distancia.

  Operación instantánea

Zona 2

- A **segundo elemento de medición** está equipado para cubrir el **20% restante de la longitud de la línea**. (normalmente ajustado a medida120% del bus fuente)

- Tiempo de retraso de 0,5 segundos para proporcionar el necesario coordinación con el relé aguas abajo (ya que esta Zona en realidad **sobrepasa** el próximo Breaker y proporciona **respaldo**)

- Elemento de medida denominado Zona 2.

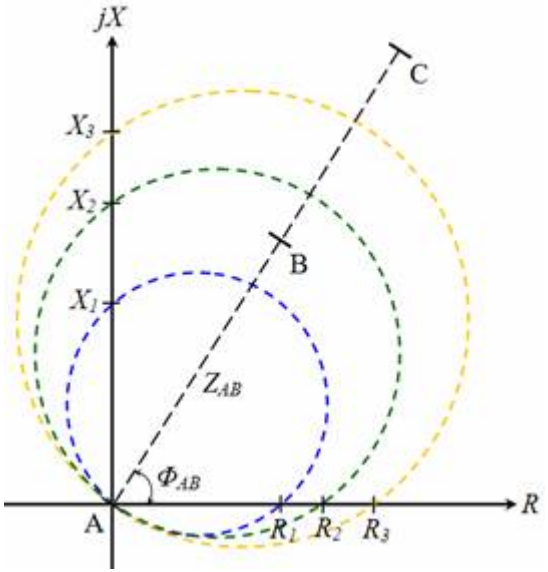
Zona 3- Característica MHO

- La Tercera Zona se agrega como elemento inicial.

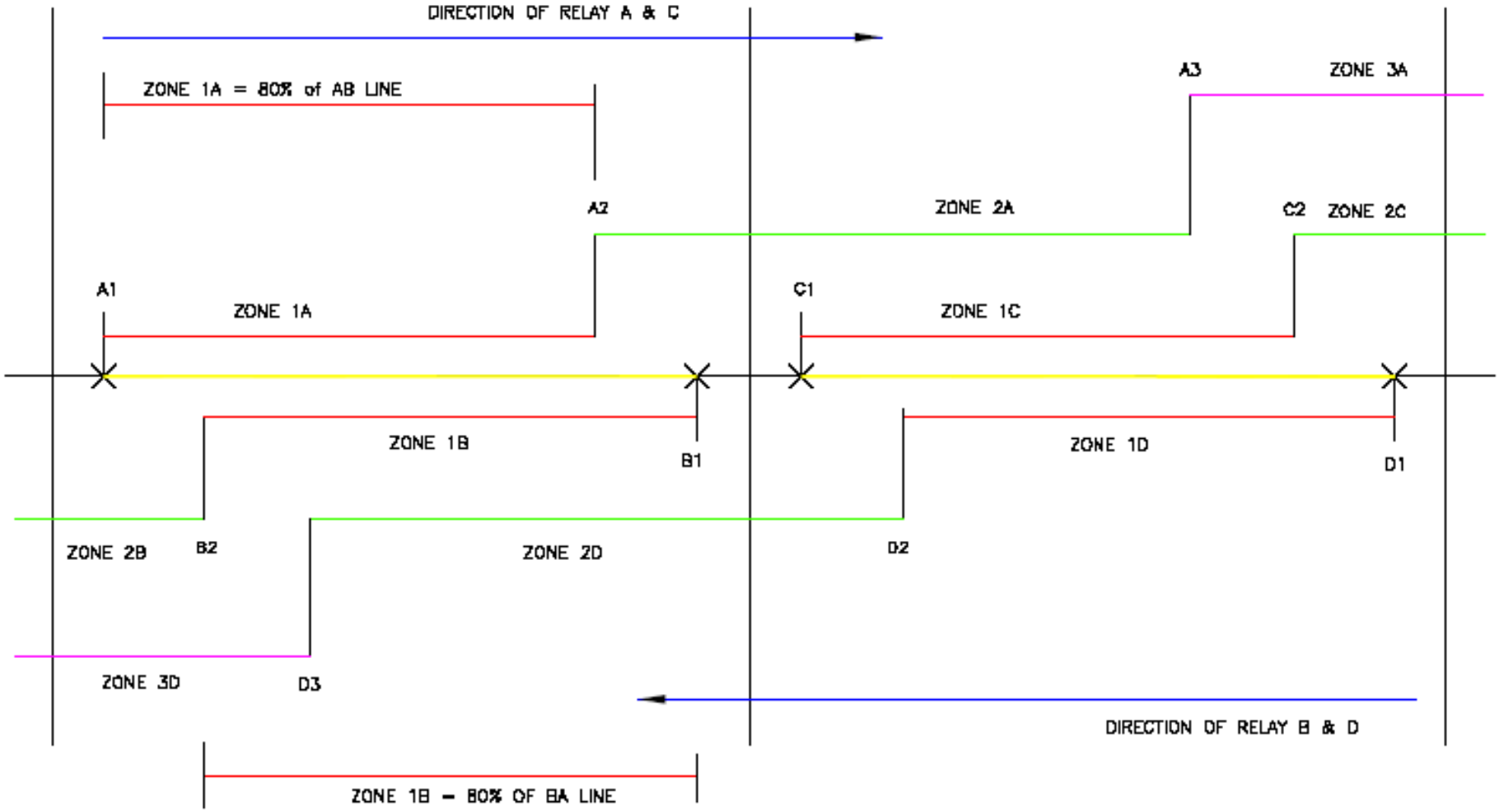
- Toma forma de **compensación** **mho**característica.

- Este desplazamiento proporciona una característica de cierre en caso de falla.

  (Si el voltaje del TT es cero cuando se cierra por falla, es posible que la zona 1 de fase mho con falla no funcione. **La característica de cierre por falla disparará el disyuntor instantáneamente**)

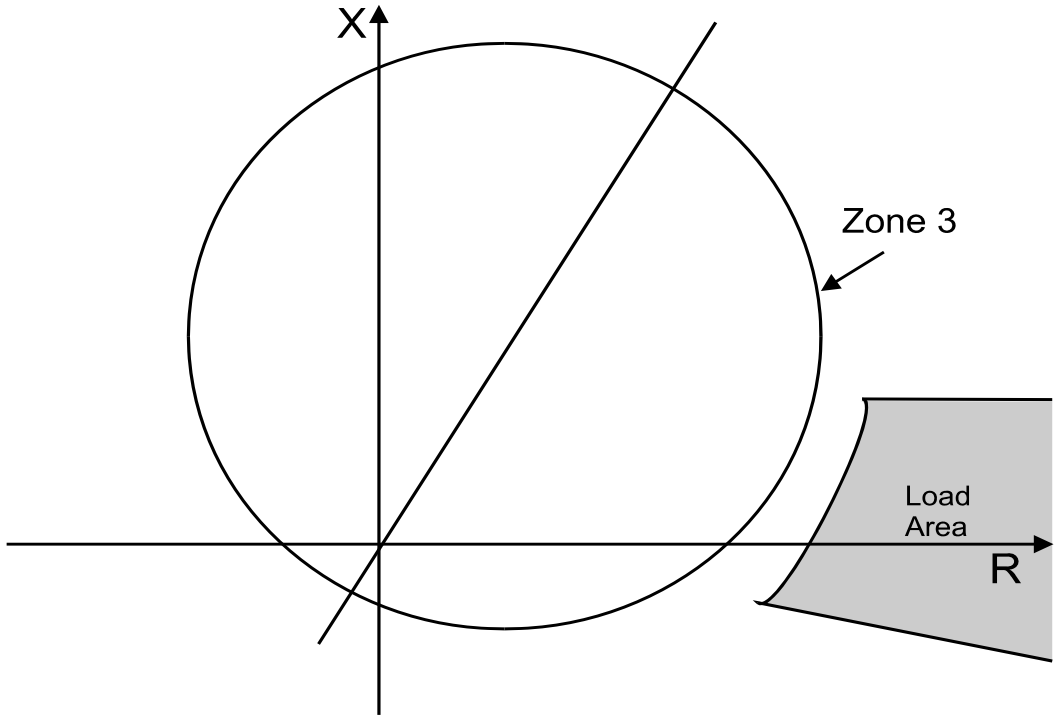


- Como iniciador, se puede usar para cambiar el elemento de la Zona 1 a un alcance de la Zona 2 después de 0.5 segundos.


DIRECTION OF RELAY A & C
ZONE 1A = 80% of AB LINE
A3
ZONE 3A
A2
ZONE 2A
C2
ZONE 2C
A1
ZONE 1A
C1
ZONE 1C
ZONE 1B
B1
ZONE 1D
D1
ZONE 2B
B2
ZONE 2D
D2
ZONE 3D
D3
DIRECTION OF RELAY B & D
ZONE 1B = 80% OF BA LINE

Efecto *de corriente de carga*

- La corriente de carga se puede expresar como impedancia.
- Al configurar un relé de distancia (especialmente Zona 3), asegúrese de que la característica no invade el área de carga ya que se producirán disparos innecesarios.



Efecto de la resistencia al arco

- La resistencia del arco de falla también puede tener un impacto en el desempeño de un relé de distancia.

- ***R*** de arco de falla toma la impedancia de falla fuera de la característica de disparo del relé.

- El efecto de la resistencia del arco es más significativo en líneas cortas donde el alcance del ajuste del relé es pequeño.

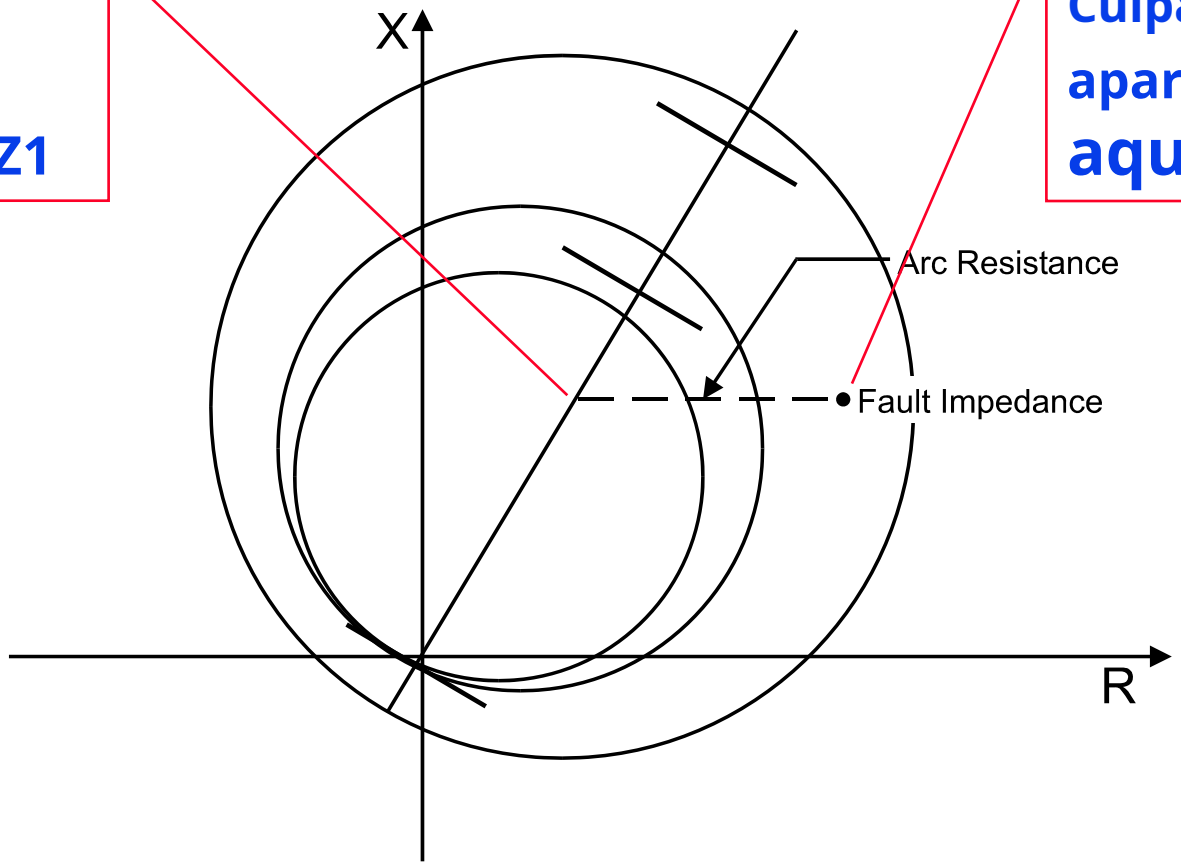
- Puede ser un problema por fallas al final del alcance.

La resistencia al arco puede causar un "alcance insuficiente"

La culpa es

Realmente

aquí en Z1



Culpa

aparece

aquí

Efecto de la resistencia al arco

- Las resistencias de arco de falla alta tienden a ocurrir durante descargas disruptivas a tierra durante un incendio forestal.

O

- En líneas de transmisión transportadas sobre postes de madera sin cables de tierra.

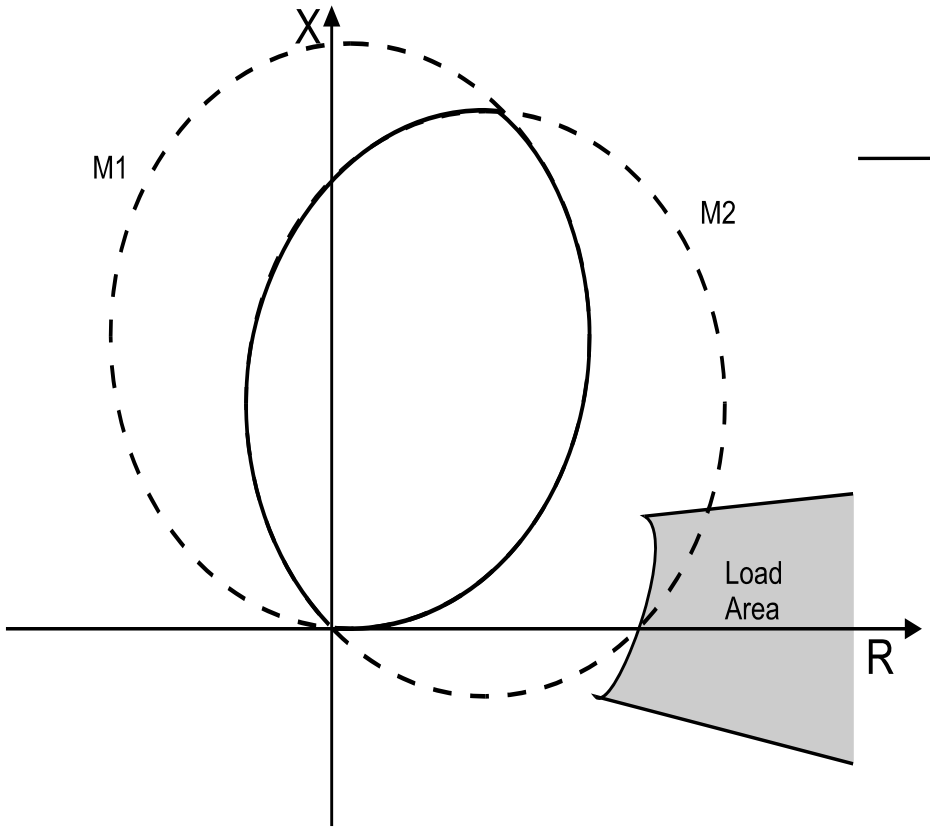
- Supere estos problemas como se explica a continuación utilizando diferentes relés característicos ...

Diferentes características de forma

- Para superar los problemas de **invasión de carga**y **resistencia al arco**...
- Se han desarrollado relés de distancia:
  - **Circular**
  - **Lenticular**
  - **Figura de ocho**
  - **Trapezoidal**

- **Relés digitales** Ayudar a **obtener cualquier característica** según sea necesario.

Lenticular



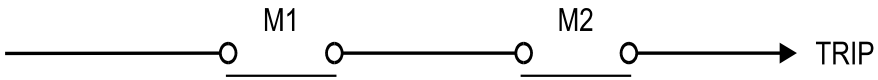
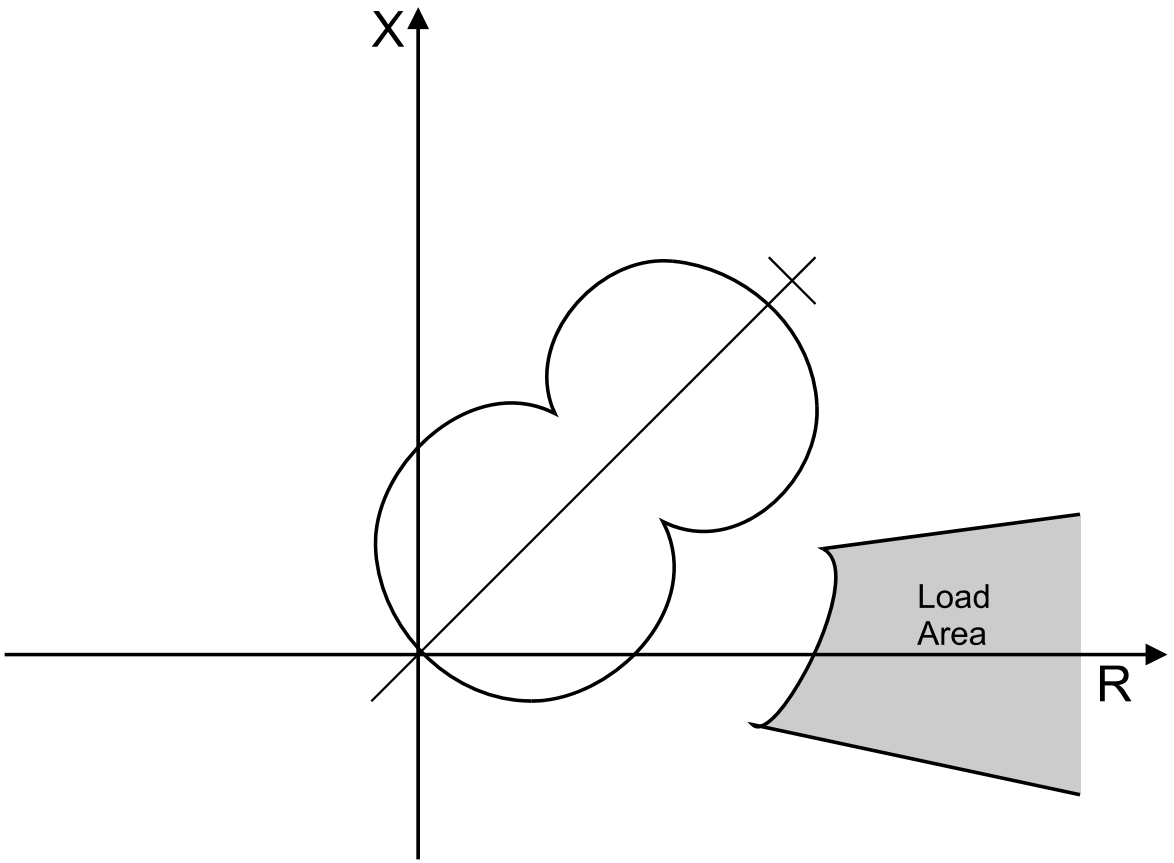
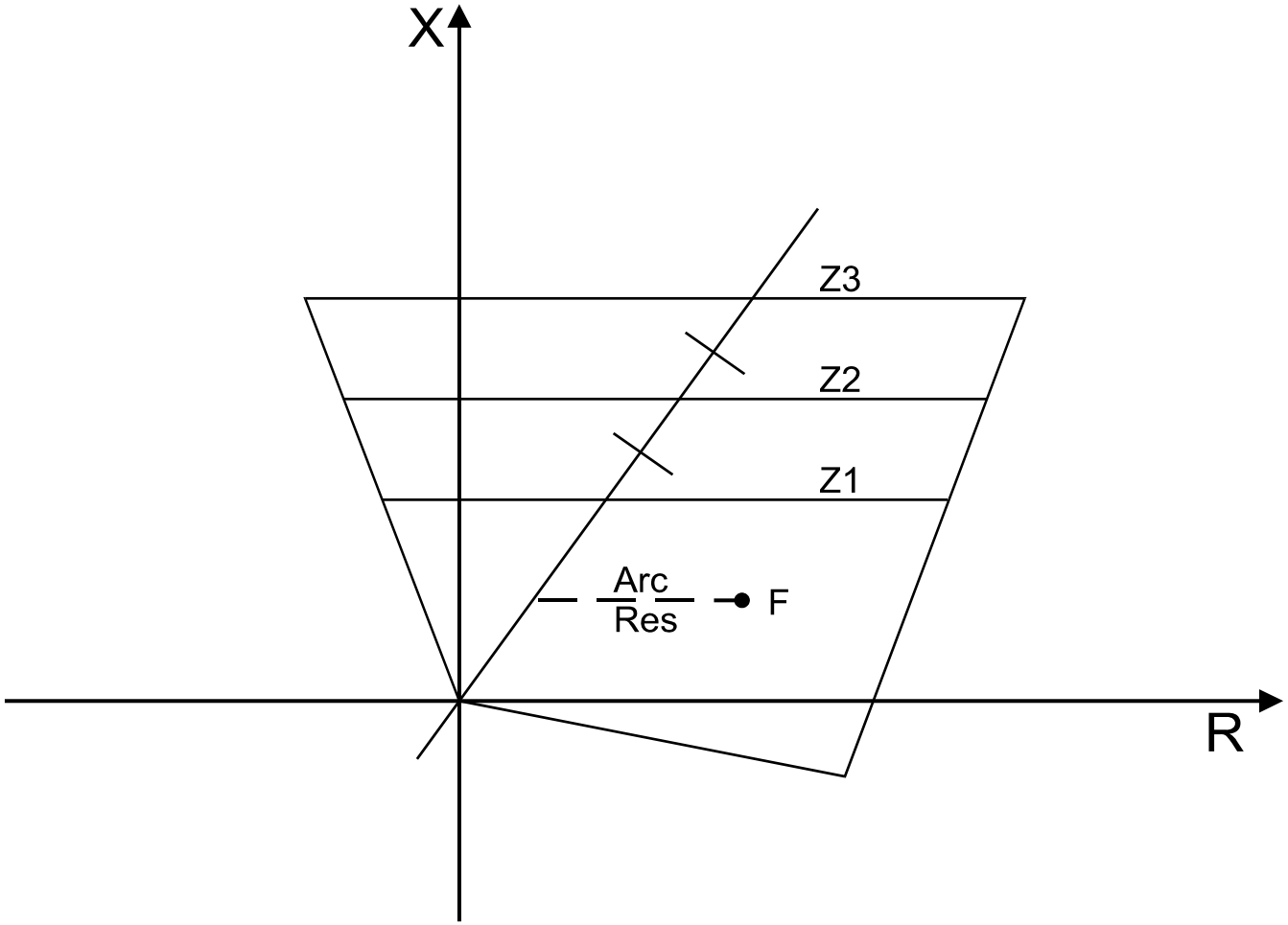


Figura de ocho



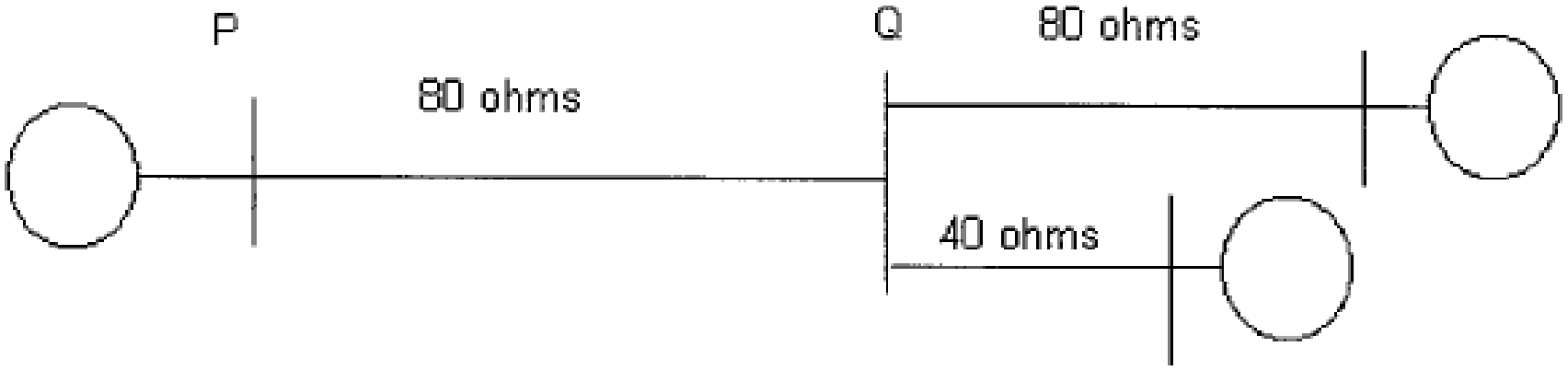
Trapezoidal

(aumenta la cobertura de resistencia al arco)



Ejemplo

Considere la configuración de la línea **PQ** en el bus **PAG**.El ángulo de impedancia para todas las líneas es **75 °.** La longitud de la línea es **80 -** . El relé de distancia en el autobús **PAG** es alimentado por transformadores de corriente con capacidad nominal de 2000 A: 5 A y transformadores de voltaje con capacidad nominal de 345 kV / 200 kV Y: 120 V / 69 V Y. Configure la Zona 1 para el 85% de este valor (85% -90%). por



Ejemplo

Configuración de zona 1 = 0.85 .80 - = 68 -, relación de CT de configuración de ohmios primarios = 2000/5 = 400

Relación VT = 200 000/69 = 2900

Configuración de relé = ajuste primario (-). Relación CT / VT = 68. (400) / (2900)

= 9,38 ohmios de relé

Ajuste de la zona 2 = longitud-115% (mínimo)

= longitud de la línea + 0.5 - longitud del siguiente más corto línea adyacente (preferida)

Ejemplo

Las dos siguientes líneas adyacentes son 40 y 80, respectivamente. El más corto de estos es 40 -. La mitad de eso es 20 -.

El ajuste 80 + 20- =100 - es mayor que la configuración mínima de 92 - (que garantiza ver la línea completa).

El ajuste del relé es entonces

Configuración de la zona 2 = 100 - (primaria)

= 100400/2900 = 13,8 ohmios de relé

Tema 2: Estabilidad

- **La capacidad del sistema de energía para permanecer sincronizado y mantener el estado de equilibrio después de una fuerza perturbadora.**

  - Estabilidad en estado estacionario: análisis de perturbaciones pequeñas y lentas
    - cambios de poder graduales
  - Estabilidad transitoria: análisis de perturbaciones grandes y repentinas
    - fallas, interrupción de una línea, aplicación repentina o eliminación de carga

Modelo dinámico de generador

- **En condiciones normales, la posición relativa del eje del rotor y el eje del campo magnético del estator es fija.**
  - el ángulo entre los dos es el ángulo de potencia o el ángulo de torsión, -
  - durante una perturbación, el rotor acelerará o desacelerará con el campo del estator giratorio
  - la aceleración o desaceleración provoca un cambio en el ángulo de potencia

$$T_{mi} = \frac{PAG_{mi}}{\omega_{mi}} = \frac{PAG_{mi}}{2\pi 60\,Hz} \qquad \frac{PAG_{metro}}{\omega_{rotor}} = T_{metro}$$

$$T_{aceleración} = T - T_{metro} - T_{mi}$$

$$J\frac{D^2\theta_{metro}}{dt^2} = T - T_{metro} - T_{mi} = \omega_{metro} - \omega_{Sra} \quad t = \omega_{metro} = \frac{\omega_{rotor}}{\omega_{Sra}} = \frac{postes}{2}$$

Modelo dinámico de generador

$$- - \frac{D_{metro}}{dt} - - \frac{D_{metro}}{dt} \qquad - \frac{D_{2\text{-}metro}}{dt_2} - \frac{D_{2\text{-}metro}}{dt_2}$$

$$J \frac{D_{2\text{-}metro}}{dt_2} - J \frac{D_{2\text{-}metro}}{dt_2} - T_{metro} \qquad T_{mi}$$

$$J - \frac{D_{2\text{-}metro}}{dt_2} - - T_{metro} \quad - T_{me} - PAG_{metro} \qquad PAG_{mi}$$

$$W_{KE} - \frac{1}{2} J - 2 - 1 \quad METRO_{metro} \qquad METRO - \frac{2 W_{KE}}{-} - J_{metro}$$

$$- - - \quad Sra - \quad METRO - \frac{2 W_{KE}}{-} - J_{Sra}$$

Modelo dinámico de generador

$$_{METRO}\frac{D_{2}\text{-}_{metro}\text{-}PAG_{metro}\text{-}P}{dt_{2}}{}_{mi}$$

$$\text{- - -}\quad {}_{mi}\text{-}\frac{postes}{2}\text{-}_{metro}\text{-}\quad\frac{pag\,D_{2}\text{-}}{2}{}_{METRO}\frac{}{dt_{2}}\text{-}\quad PAG_{metro}\text{-}PAG_{mi}$$

$$\frac{pag\,D_{2}\text{-}}{2}{}_{METRO}\frac{}{dt_{2}}\quad\text{-}\quad\frac{pag\,2W_{KE}D^{2}\text{-}}{2\text{-}_{Sra}}\frac{}{dt^{2}}\quad\text{-}\quad\frac{2W_{KE}D^{2}\text{-}}{\text{-}_{s}}\frac{}{dt^{2}}$$

$$\frac{2W_{KE}D^{2}\text{-}}{\text{-}_{s}}\frac{}{dt_{2}}\text{-}\quad PAG_{metro}\text{-}PAG_{mi}\quad\text{-}\quad\frac{2W_{KE}D^{2}\text{-}}{\text{-}_{s}S_{B}}\frac{}{dt^{2}}\text{-}\frac{PAG_{metro}\text{-}PAG_{mi}}{S_{B}}\text{-}S_{B}$$

Modelo dinámico de generador

$$\frac{2W_{K_{mi}}}{S_B}\frac{d^2}{dt^2}\delta = P_{AG_{metro(pu)}} - P_{AG_{mi(pu)}}$$

W_{KE} energía cinética en MJ a velocidad nominal

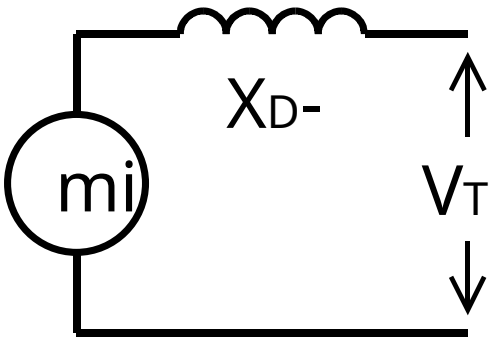
S_B potencia nominal de la máquina en MVA

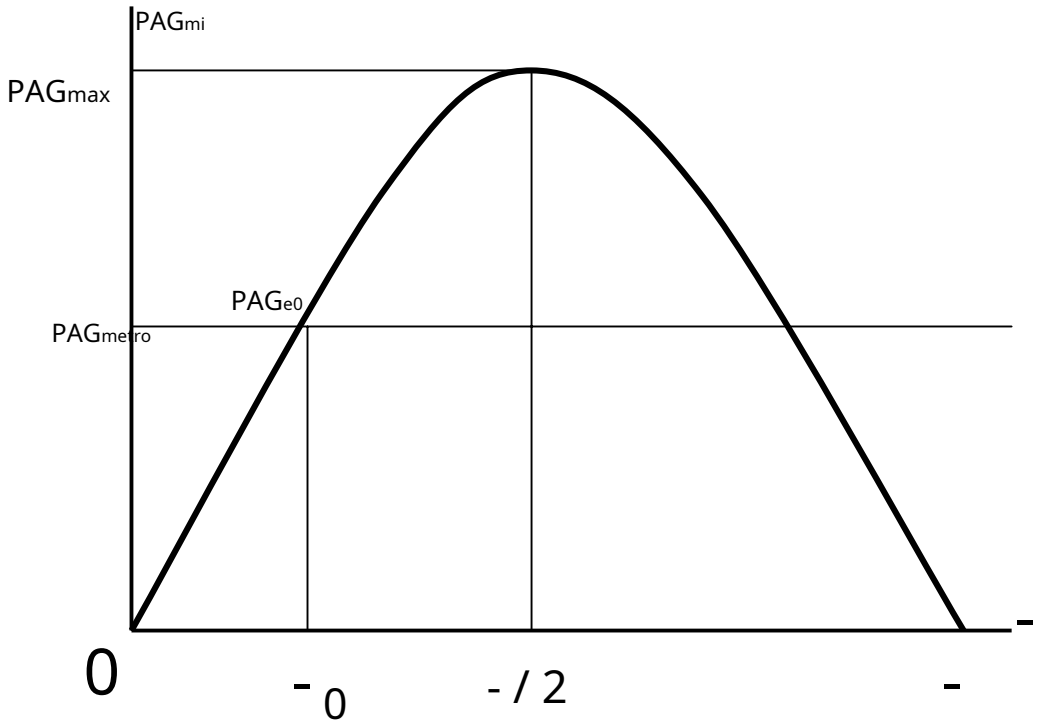
$$\frac{2H}{\omega_s}\frac{d^2}{dt^2}\delta = P_{AG_{metro(pu)}} - P_{AG_{mi(pu)}}$$

$$\frac{H}{F}\frac{d^2}{dt^2}\delta = P_{AG_{metro(pu)}} - P_{AG_{mi(pu)}} \quad (radianes)$$

$$\frac{H}{180F}\frac{d^2}{dt^2}\delta = P_{AG_{metro(pu)}} - P_{AG_{mi(pu)}} \quad (grados)$$

Modelo de máquina síncrona





curva de ángulo de potencia

Ronda *mi*- - *mi*- | -
Rotor
Máquina V_{GRAMO} - V_{GRAMO} | 0-
Modelo

$$B - 1 / X_D$$

PAG_{mi} - | *mi*- V_{GRAMO} *B* porque - 90-- - $\frac{|mi-||V|}{X_D}$ $_{GRAMO}$ pecado- - PAG_{max} pecado-

La ecuación del swing

$$\frac{H}{-F_0}\frac{D^2-}{dt^2} - PAG_{metro} - PAG_{mi}$$

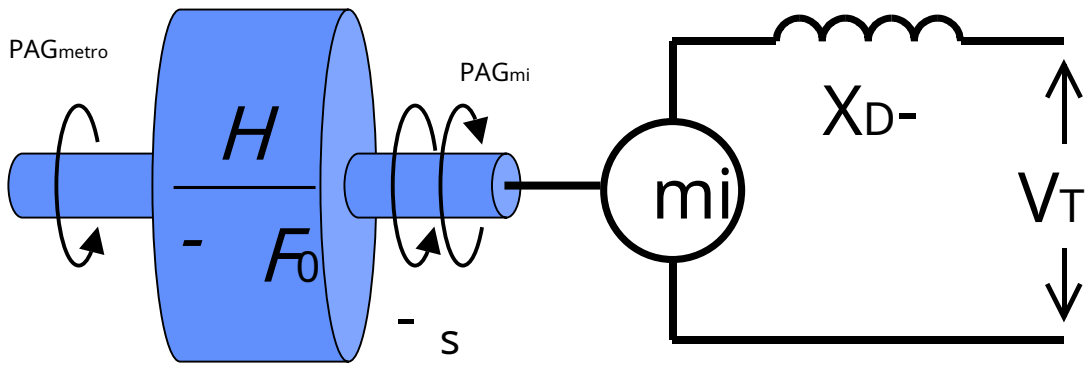
Modelo de generador dinámico

Modelo de máquina síncrona

$$PAG_{mi} - PAG_{max}$$

$$\frac{\text{pecado-}H\,D^2-}{-F_0\,dt^2} - PAG_{metro} - PAG_{max}\,\text{pecado-}$$

Formando la ecuación de swing



Estabilidad transitoria

- **La capacidad del sistema de energía para permanecer sincronizado cuando está sujeto a grandes perturbaciones.**
  - Las grandes oscilaciones de los ángulos de tensión y potencia no permiten la linealización de las ecuaciones de oscilación del generador.
- **Funciones energéticas de Lyapunov**
  - método de energía simplificado: el criterio de igual área
- **Métodos en el dominio del tiempo**
  - integración numérica de las ecuaciones de swing
  - Técnicas de integración numérica de Runga-Kutta

Criterio de igual área

- **Predice rápidamente la estabilidad después de una perturbación importante**
  - interpretación gráfica de la energía almacenada en las masas giratorias
  - método solo aplicable a algunos casos especiales:
    - una máquina conectada a un bus infinito
    - dos máquinas conectadas entre sí
- **El método proporciona una visión física del comportamiento dinámico de las máquinas.**
  - relaciona el ángulo de potencia con la potencia de aceleración

Criterio de igual área

- **Para una máquina síncrona conectada a un bus infinito**

$$\frac{H}{\pi F_0}\frac{D^2\delta}{dt^2} = PAG_{metro} - PAG_{mi} = PAG_{acelera}$$

$$\frac{D^2\delta}{dt^2} = \frac{\pi F_0}{H}(PAG_{metro} - PAG_{mi}) = \frac{F_0 \times PAG_{acelera}}{H}$$

- **La forma de energía de la ecuación de oscilación se obtiene multiplicando ambos lados por la frecuencia del sistema (velocidad de rotación del eje)**

$$2\frac{d\delta}{dt}\frac{D^2\delta}{dt^2} = \frac{\pi F_0}{H}(PAG_{metro} - PAG_{mi})2\frac{d\delta}{dt}$$

Criterio de igual área

$$2 \frac{D}{} \frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{\pi f_0}{H} (P_{metro} - P_{mi}) - \frac{d\delta}{dt}$$

- **El lado izquierdo se puede reelaborar como la derivada del cuadrado de la frecuencia del sistema (velocidad del eje)**

$$\frac{D}{} \frac{d}{dt} \left(\frac{d\delta}{dt} \right) = \frac{2\pi F_0}{H} (P_{metro} - P_{mi}) \frac{d\delta}{dt}$$

$$D \frac{d}{dt} \left(\frac{d\delta}{dt} \right) = \frac{2\pi F_0}{H} (P_{metro} - P_{mi}) d\delta$$

Criterio de igual área

- **Integrando ambos lados con respecto al tiempo,**

$$\left(\frac{d\delta}{dt}\right)^2 = \frac{2\pi F_0}{H}\int_{\delta_0}^{\delta}(PAG_{metro} - PAG_{mi})d\delta$$

$$\frac{d\delta}{dt} = \sqrt{\frac{2\pi F_0}{H}\int_{\delta_0}^{\delta}(PAG_{metro} - PAG_{mi})d\delta}$$

- **La ecuación da la velocidad relativa de la máquina. Para la estabilidad, la velocidad debe llegar a cero con el tiempo.**

$$\left.\frac{d\delta}{dt} = 0\right|_{t\to\infty}$$

$$0 = \int_{\delta_0}^{\delta}(PAG_{metro} - PAG_{mi})d\delta$$

Traducido del inglés al español - www.onlinedoctranslator.com

Criterio de igual área

- **Considere una máquina operando en equilibrio**
  - el ángulo de potencia, $\delta = \delta_0$
  - la carga eléctrica, $PAG_{e0} = PAG_{m0}$
- **Considere un aumento repentino en la entrada de potencia mecánica**
  - $PAG_{m1} > PAG_{e0}$; la potencia de aceleración es positiva
  - El exceso de energía se almacena en el rotor y la frecuencia de potencia aumenta, lo que aumenta el ángulo de potencia relativo con el tiempo.

$$U_{Potencial} = \int_{\delta 0}^{\delta 1} (PAG_{metro1} - PAG_{mi}) d\delta > 0$$

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega = \sqrt{\frac{2\pi F_0}{H} \int_{\delta 0}^{\delta} (PAG_{metro} - PAG_{mi}) d\delta > 0}$$

Criterio de igual área

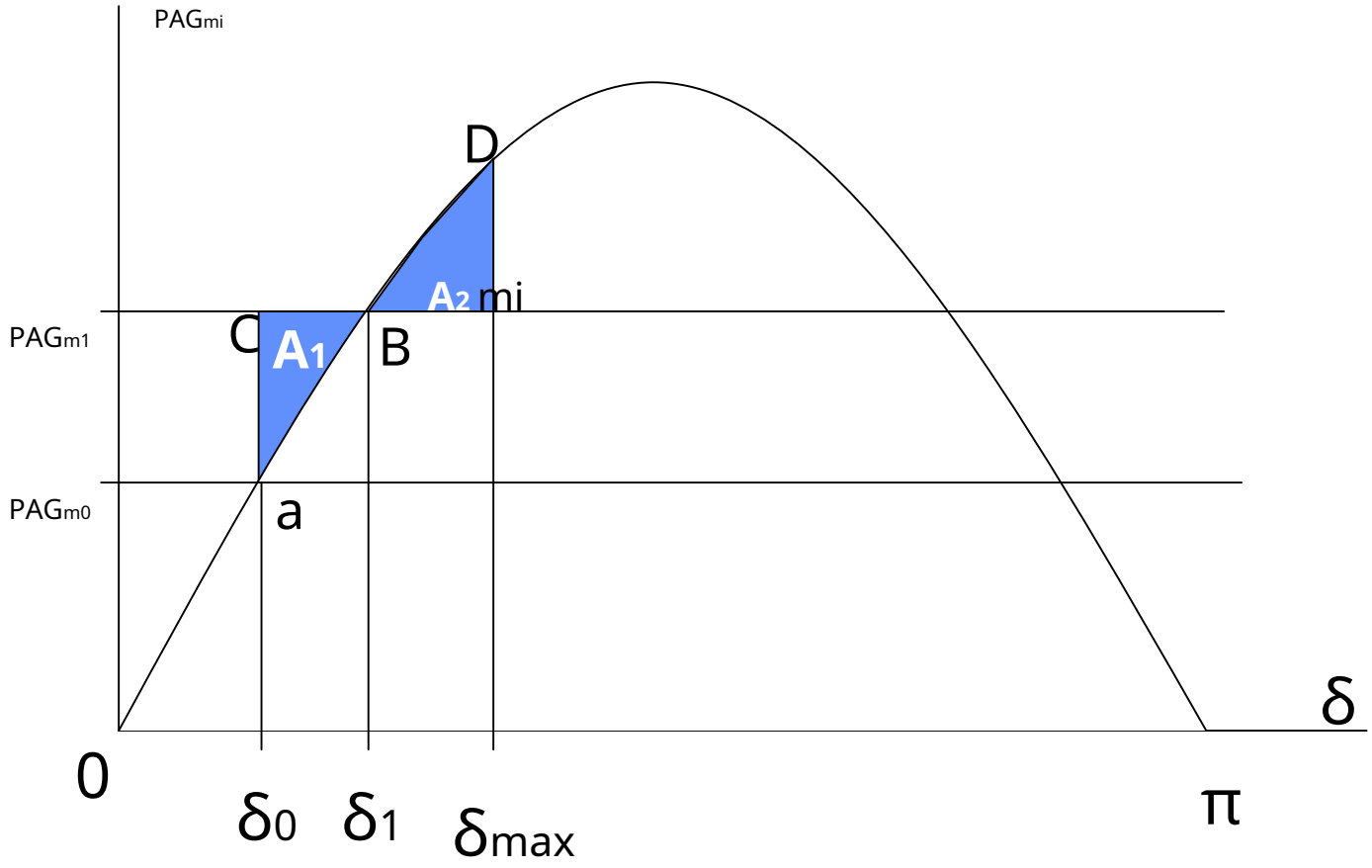
- con aumento del ángulo de potencia, δ, la potencia eléctrica aumenta

$$PAG_{mi} = PAG_{max} \text{ pecado } \delta$$

- cuando $\delta = \delta_1$, la potencia eléctrica es igual a la potencia mecánica, PAG_{m1}
- La potencia de aceleración es cero, pero el rotor está funcionando por encima de la velocidad síncrona, de ahí el ángulo de potencia, δ, sigue aumentando
- ahora $PAG_{m1} < PAG_{mi}$; la potencia de aceleración es negativa (desaceleración), lo que hace que el rotor desacelere a velocidad síncrona en $\delta = \delta_{max}$
- las masas giratorias deben ceder una cantidad igual de energía

$$U_{Potencial} = \int_{\delta 0}^{\delta_1} (PAG_{metro1} - PAG_{mi})\, d\delta - \int_{\delta_1}^{\delta \max} (PAG_{metro1} - PAG_{mi})\, d\delta = 0$$

Criterio de igual área



Criterio de igual área

- **El resultado es que el rotor gira a un ángulo máximo**
  - en cuyo punto el área de energía de aceleración y el área de energía de desaceleración son iguales

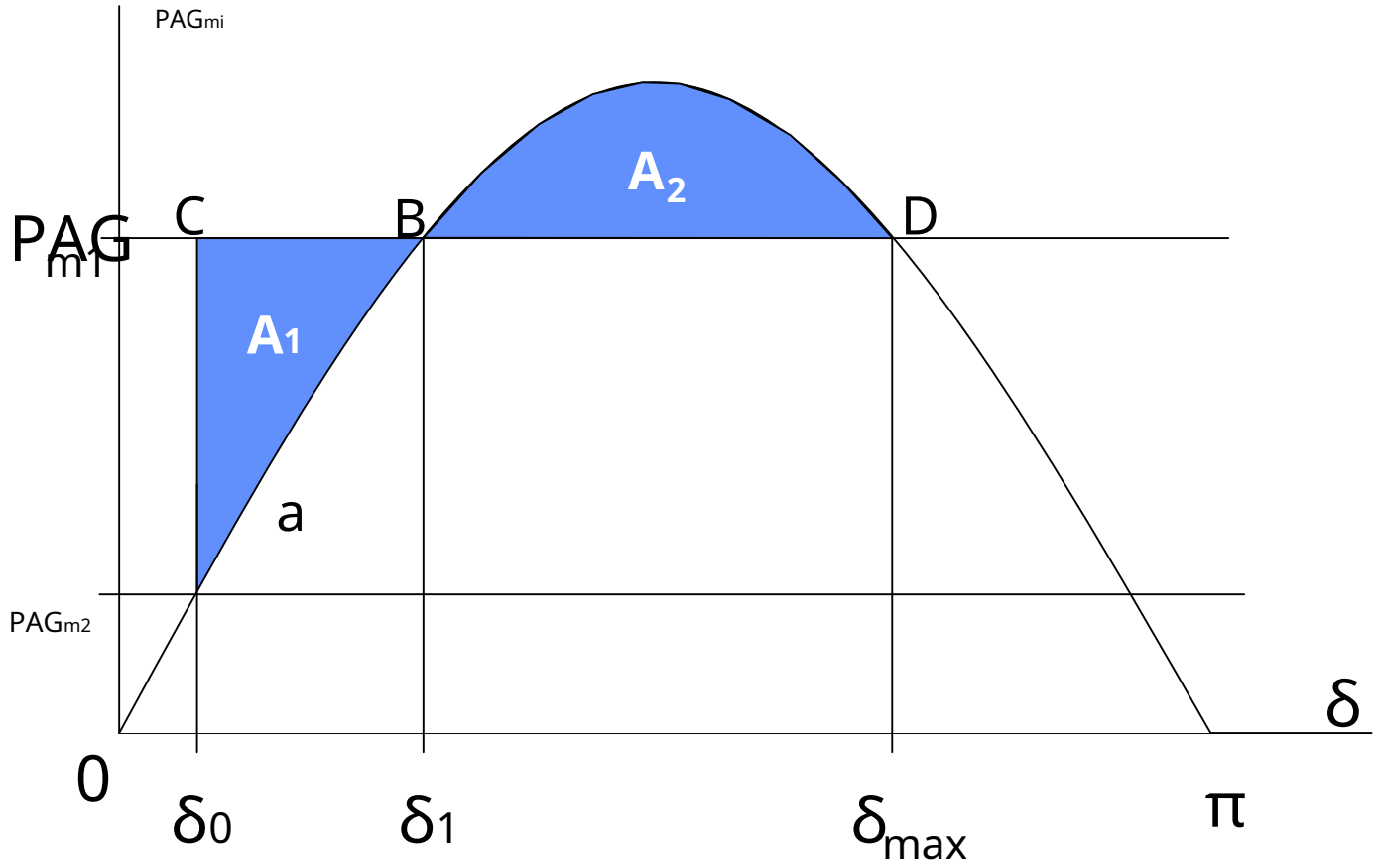
$$\int_{\delta 0}^{\delta_1} \left(PAG_{metro1} - PAG_{mi} \right) d\delta = \textbf{zona}\, a\ B\ C = \textbf{zona}\ A_1$$

$$\int_{\delta_1}^{\delta \max} \left(PAG_{metro1} - PAG_{mi} \right) d\delta = \textbf{zona}\, bde = \textbf{zona}\ A_2$$

$$\left| \textbf{zona}\ A_1 \right| = \left| \textbf{zona}\ A_2 \right|$$

  - esto se conoce como el criterio de igual área
  - el ángulo del rotor oscilará hacia adelante y hacia atrás entre δ y δ_{max} en su frecuencia natural

Criterio de igual área - ΔP mecánico

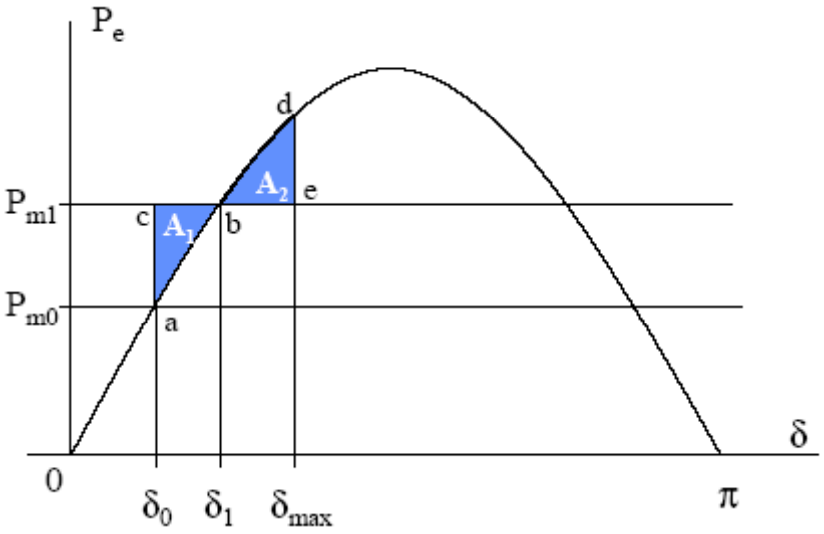


- El resultado es que el rotor gira a un ángulo máximo
  - en el que apuntar la energía de aceleración área gyy y la desaceleración el área de energía son iguales

$$\int_{\delta_0}^{\delta_1} (P_{m1} - P_e)\, d\delta = \textbf{area}\; abc = \textbf{area}\; A_1$$

$$\int_{\delta_1}^{\delta_{max}} (P_{m1} - P_e)\, d\delta = \textbf{area}\; bde = \textbf{area}\; A_2$$

$$\left|\textbf{area}\; A_1\right| = \left|\textbf{area}\; A_2\right|$$



- esto se conoce como el criterio de igual área
- el ángulo del rotor oscilará hacia adelante y hacia atrás entre δ y δmamá maxx a su frecuencia natural

Criterio de igual área - ΔP mecánico

$$PAG_{metro1}(\delta - \delta_0) - \int_{\delta_0}^{\delta} PAG_{max} \text{ pecado } \delta \, d\delta = \int_{\delta_1}^{\delta_{max}} PAG_{max} \text{ pecado } \delta \, d\delta - PAG_{metro1}(\delta_{max} - \delta_1)$$

$$PAG_{metro1}(\delta_{max} - \delta_0) = PAG_{max}(\text{porque}\delta_0 - \text{porque}\delta_{max})$$

$$PAG_{metro1} = PAG_{max} \text{ pecado } \delta_{max}$$

$$(\delta_{max} - \delta_0)\text{pecado } \delta_{max} = \cos\delta_0 - \text{porque}\delta_{max}$$

$$\rightarrow \quad PAG_{metro1} = PAG_{max} \text{ pecado } \delta_1$$

La función no es lineal en δ_{max}

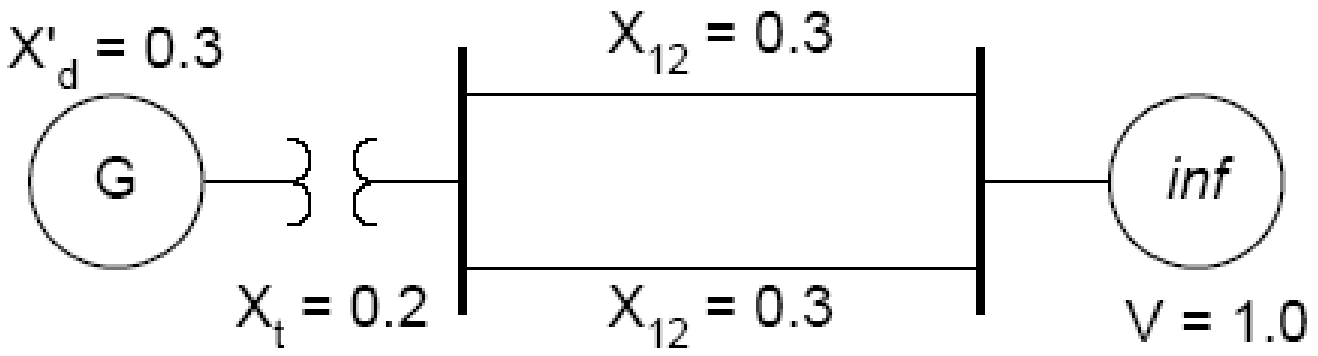
Resolver usando Newton-Raphson

Example

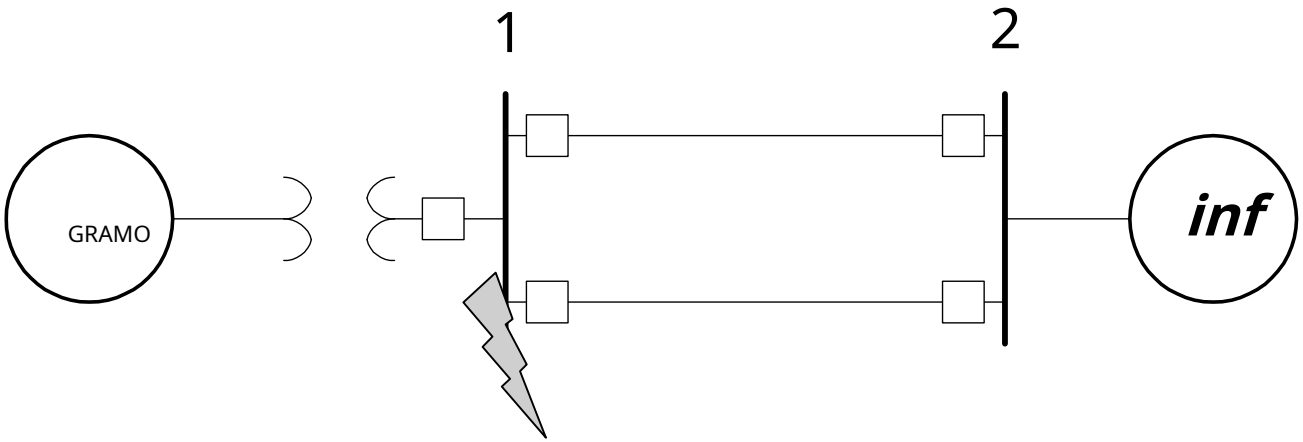
Un generador síncrono de 60 Hz que tiene una constante de inercia H = 9,94 MJ / MVA y una reactancia transitoria X'_D = 0.3 pu está conectado a un Bus infinito a través de la siguiente red. El generador está entregando 0.6 *pu potencia real a 0,8 de potencia* factor rezagado al infinito bus a voltaje *pu.*

(a) La potencia máxima de entrada que se puede aplicar sin pérdida de sincronismo.

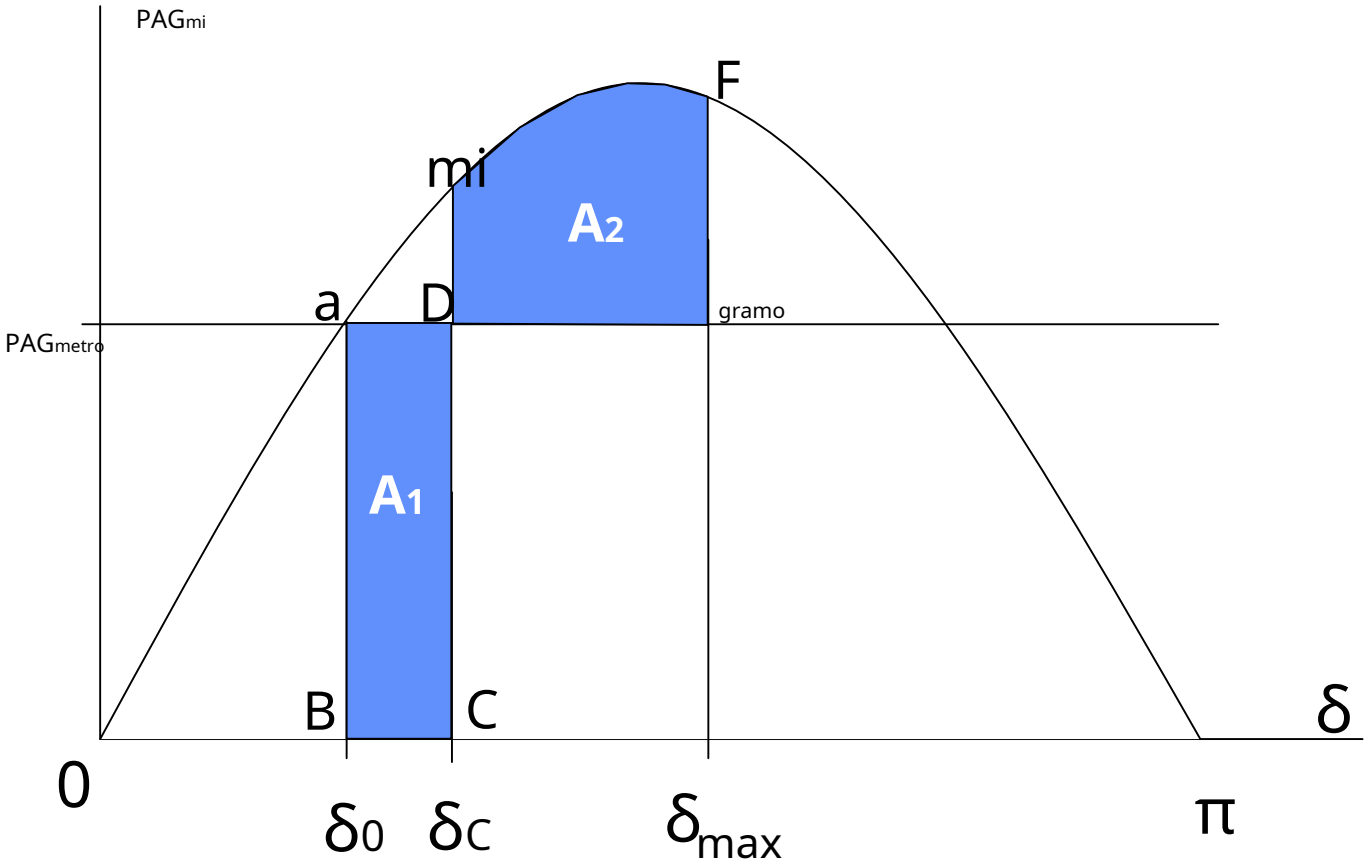
((b)) Repita ((a)) con entrada de energía inicial cero. Suponga que el voltaje interno del generador permanece constante en el valor calculado en (a).



Fallo trifásico



Criterio de igual área: falla trifásica



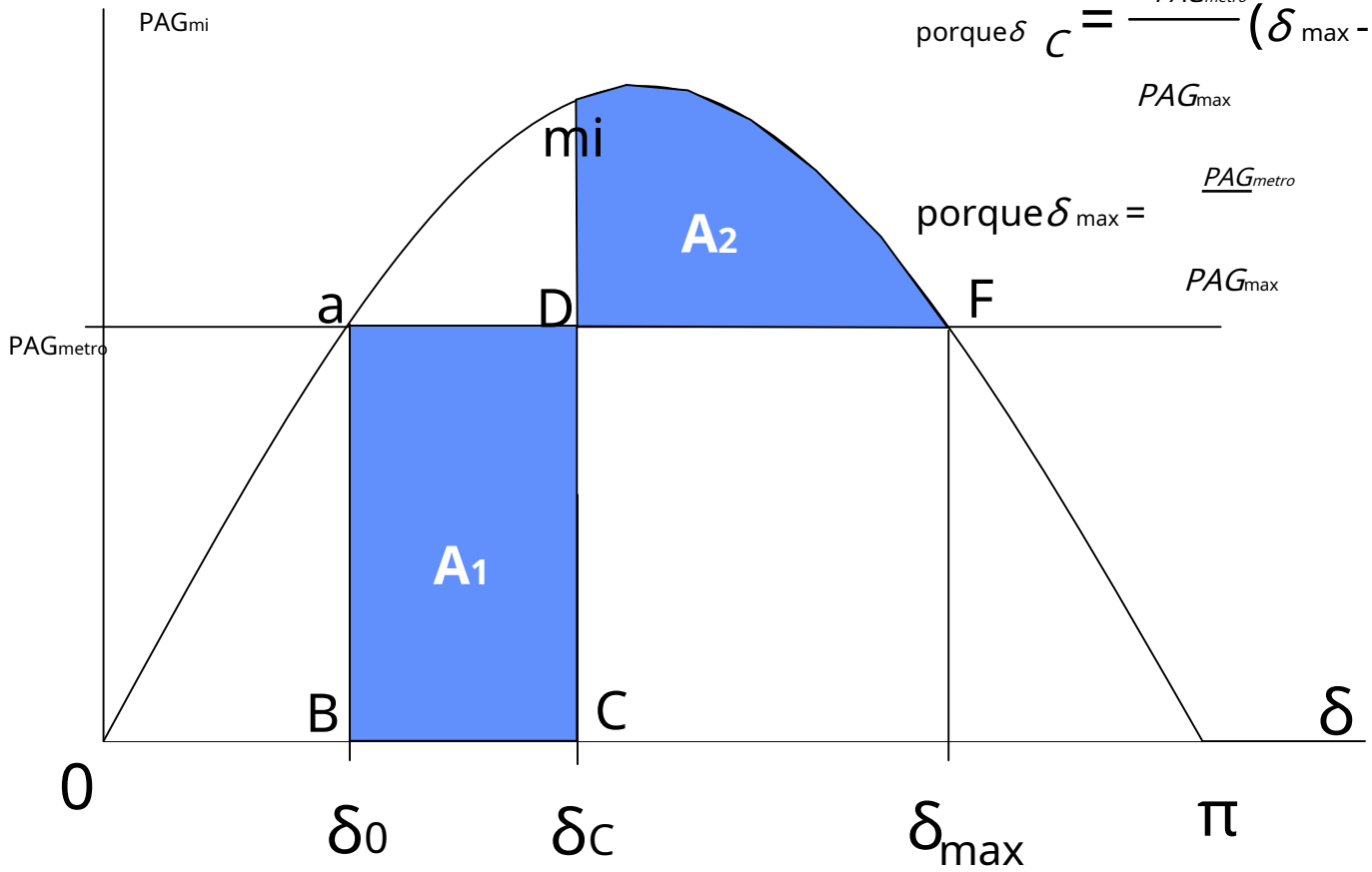
Criterio de igual área: falla trifásica

$$\int_{\delta_0}^{\delta_C} PAG_{metro}\, d\delta = \int_{\delta_C}^{\delta_{max}} (PAG_{max} \text{ pecado } \delta - PAG_{metro})\, d\delta$$

$$PAG_{metro}(\delta_C - \delta_0) = PAG_{max}(\text{porque}\,\delta_C - \text{porque}\,\delta_{max}) - PAG_{metro}(\delta_{max} - \delta_C)$$

$$\text{porque}\,\delta_C = \frac{PAG_{metro}(\delta_{max} - \delta_C) + \text{porque}\,\delta_{max}}{PAG_{max}}$$

Tiempo crítico de limpieza



$$\text{porque}\delta_C = \frac{PAG_{metro}}{PAG_{max}}(\delta_{max} - \delta_C) + \text{porque}\delta_{max}$$

$$\text{porque}\delta_{max} = \frac{PAG_{metro}}{PAG_{max}}$$

Tiempo crítico de limpieza

$$\frac{H}{\pi F_0}\frac{D^2\delta}{dt^2} = PAG_{metro} - PAG_{mi} = PAG_{metro} \neg PAG_{mi} = 0$$

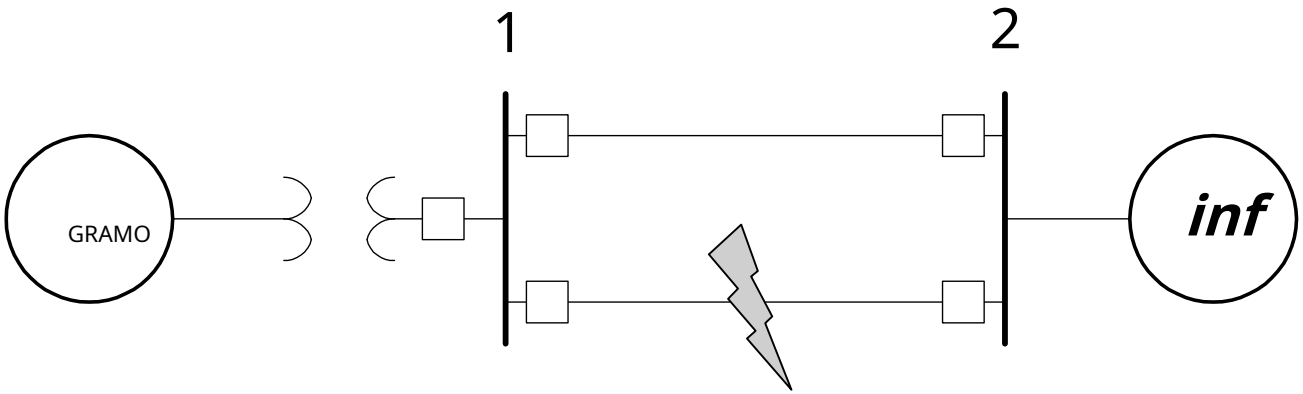
$$\frac{D^2\delta}{dt^2} = \frac{\pi F_0 PAG}{H}_{metro}$$

$$\frac{d\delta}{dt} = \frac{\pi F_0}{H} PAG_{metro} \int_0^t dt = \frac{\pi F_0 PAG_{metro} t}{H}$$

$$\delta = \frac{\pi F_0 PAG_{metro} t^2}{2H} + \delta_0$$

$$t_C = \sqrt{\frac{2H(\delta_C - \delta_0)}{\pi F_0 PAG_{metro}}}$$

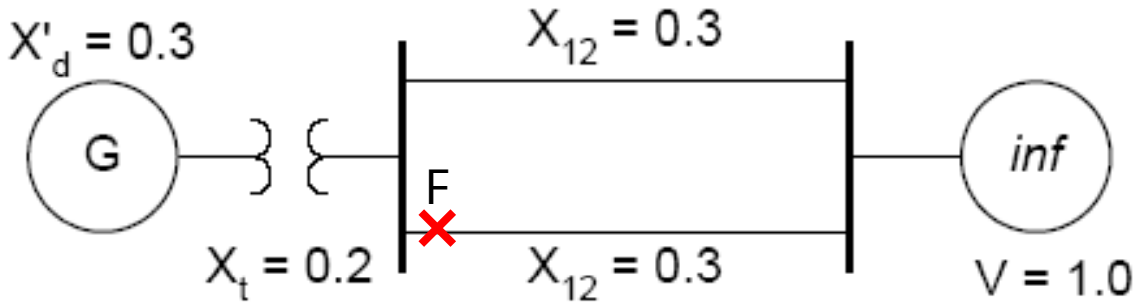
Fallo trifásico



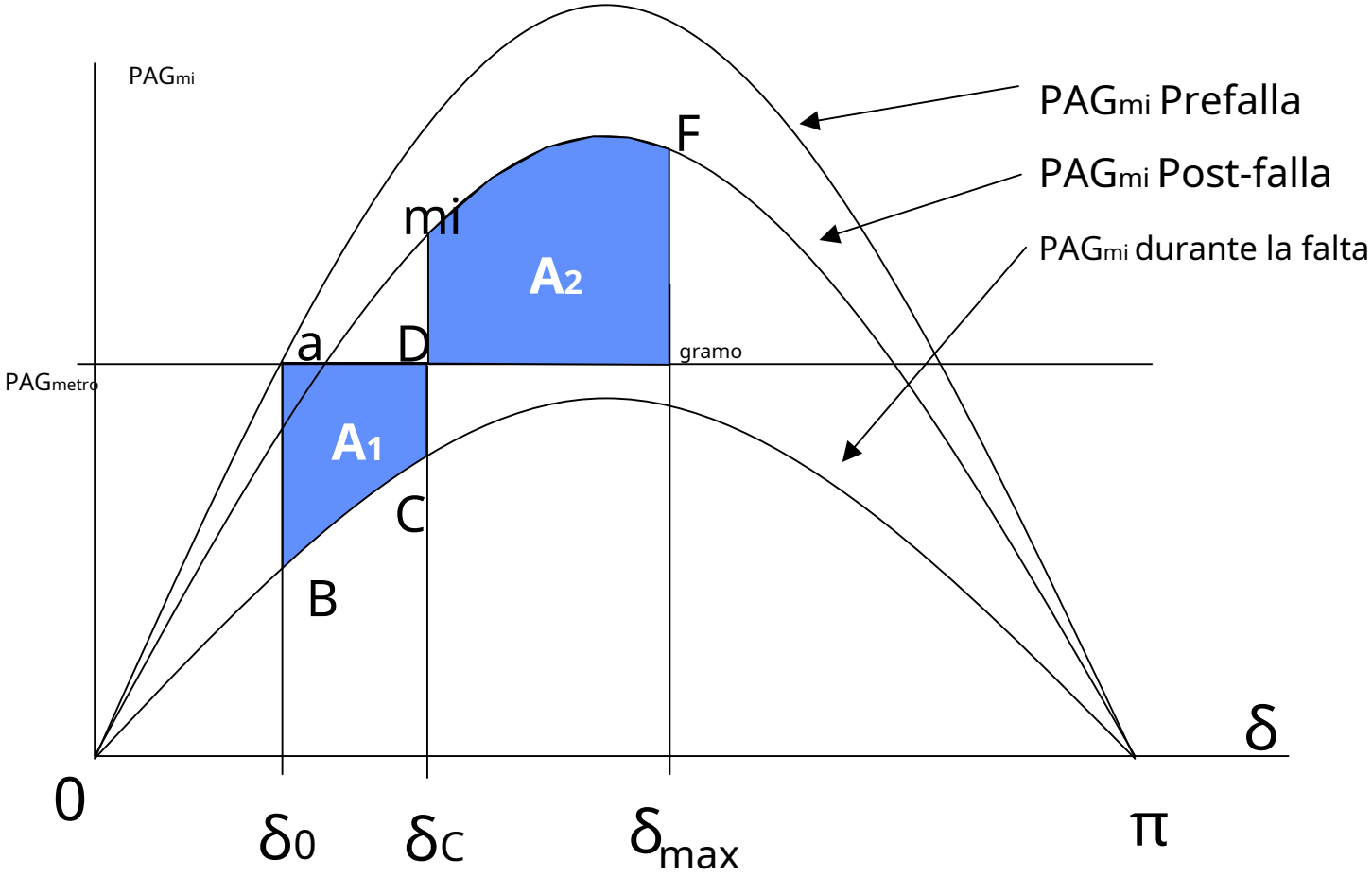
Example

Un generador síncrono de 60 Hz con constante de inercia H = 5 MJ / MVA y una reactancia transitoria de eje directo X'_D = 0.3 pu i está conectado d tto an iinffiiniitte bautobús tra través tiene circuito puramente reactivo como mostrado. Las reactancias están marcadas en el diagrama en una base de sistema común. El generador está entregando potencia real PAG = 0,8 pu y d Q = 0.074 pu a thel iinffiiniitte bautobús a un voltaje apagado V = 1 pu

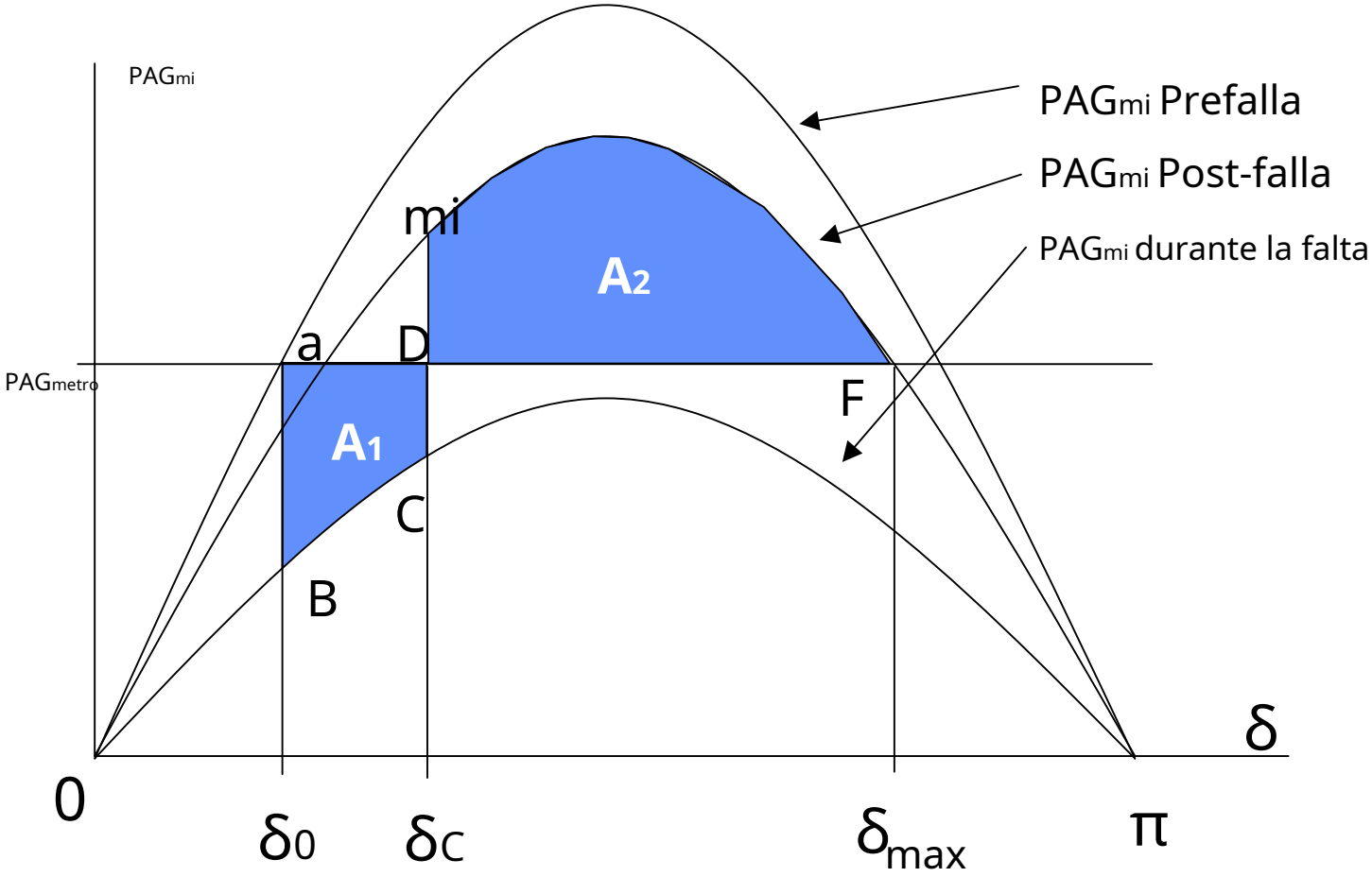
Se produce una falla trifásica temporal en el extremo de envío de la línea en punto *F.* Cuando se soluciona la falla, ambas líneas están intactas. Determine el ángulo crítico de despeje y el tiempo crítico de despeje de fallas.



Criterio de igual área



Tiempo crítico de limpieza



Tiempo crítico de limpieza

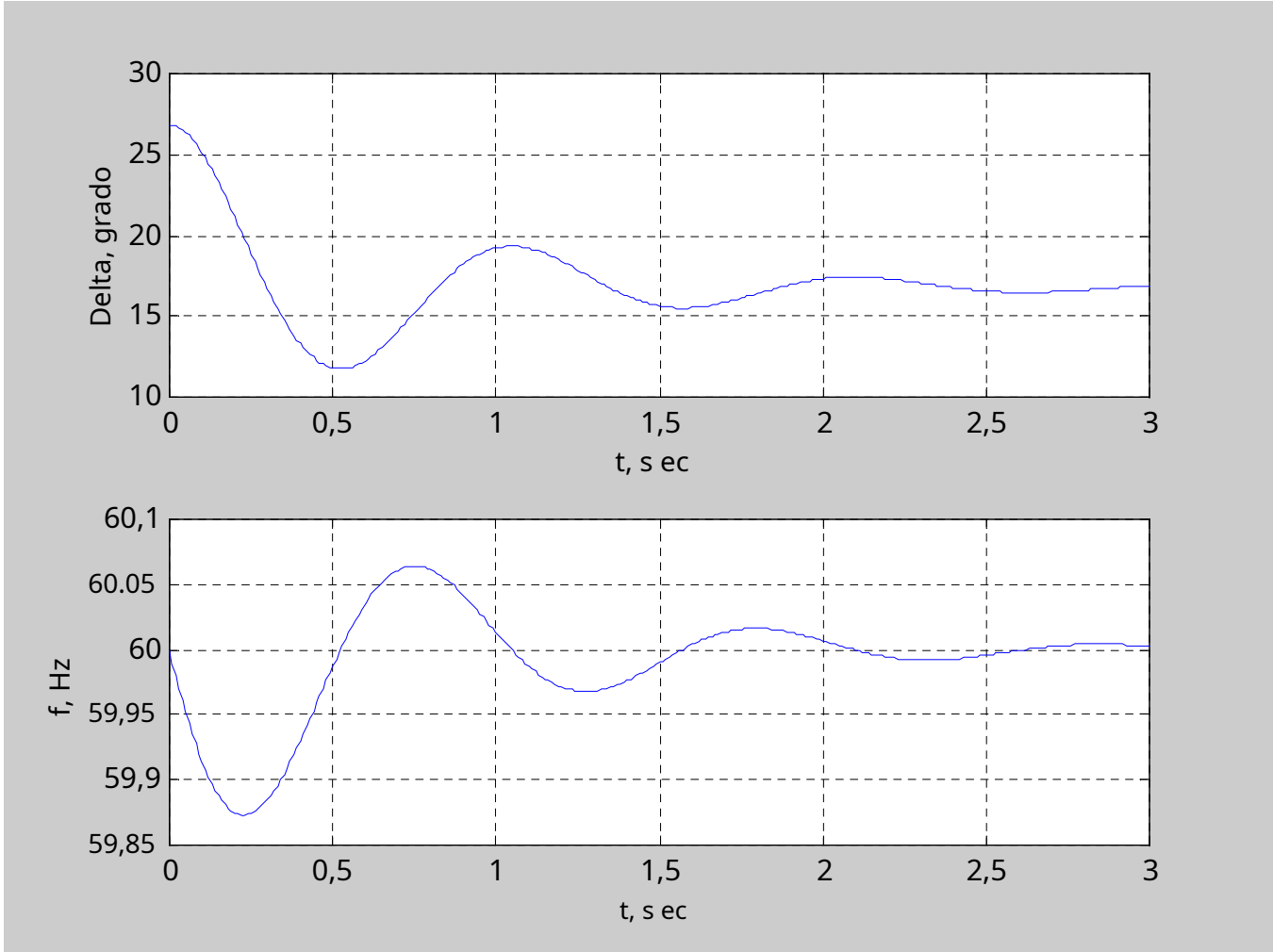
$$P_{metro}(\delta_C - \delta_0) - \int_{\delta_0}^{\delta_C} PAG_{2máx} \text{ pecado } \delta \, d\delta = \int_{\delta_C}^{\delta_{max}} PAG_{3máx} \text{ pecado } \delta \, d\delta - PAG_{metro}(\delta_{max} - \delta_C)$$

$$\text{porque}\,\delta_C = \frac{PAG_{metro}(\delta_{max} - \delta_C) + PAG_{3máx}\,\text{porque}\,\delta_{max} - PAG_{2máx}\,\text{porque}\,\delta \qquad 0}{PAG_{3máx} - PAG_{2máx}}$$

Estabilidad en estado estacionario

- **La capacidad del sistema de energía para permanecer sincronizado cuando está sujeto a pequeñas perturbaciones.**
- **La estabilidad está asegurada si el sistema vuelve a su estado operativo original (magnitud de voltaje y perfil de ángulo)**
- **El comportamiento se puede determinar con un modelo de sistema lineal**
- **Suposición:**
  - los controles automáticos no están activos
  - el cambio de poder no es grande
  - los cambios en los ángulos de voltaje son pequeños

Ejemplo


30
25
20
15
10
Delta, grado
0
0,5
1
1,5
2
2,5
3
t, s ec
60,1
60.05
60
59,95
59,9
59,85
f, Hz
0
0,5
1
1,5
2
2,5
3
t, s ec

Estabilidad en estado estacionario

- **Simplificación de la ecuación de swing**

$$\frac{H}{-F_0}\frac{D^2\text{-}_0}{dt^2} \quad \frac{H}{-F_0}\frac{D^2\text{-}}{dt^2} \quad PAG_{metro} - PAG_{max}\text{pecado} - {}_0\text{porque} - - \quad \text{porque} - {}_0\text{pecado} - - -$$

Sustituye las siguientes aproximaciones

$$- - \quad - \quad \text{porque} - \quad 1 \quad \text{pecado} -- --$$

$$\frac{H}{-F_0}\frac{D^2\text{-}_0}{dt^2} \quad \frac{H}{-F_0}\frac{D^2\text{-}}{dt^2} \quad PAG_{metro} - PAG_{max}\text{pecado-}_0 - PAG_{max}\cos\text{-}_0 - - -$$

Agrupar el estado estacionario y los términos transitorios

$$\frac{H}{-F_0}\frac{D^2\text{-}_0}{dt^2} - PAG_{metro} \quad PAG_{max}\text{pecado-}_0 - \frac{H}{-F_0}\frac{D^2\text{-}}{dt^2} - PAG_{max}\cos\text{-}_0 - - -$$

Estabilidad en estado estacionario

- **Simplificación de la ecuación de swing**

$$\frac{H}{-F_0}\frac{D^2-_0}{dt^2} \quad PAG_{metro} \quad PAG_{max}\text{pecado-}_0 - \quad \frac{H}{-F_0}\frac{D^2-}{dt_2} \quad PAG_{max}\ \text{porque} - 0 ---$$

$$0 - \frac{H}{-F_0}\frac{D^2-}{dt_2} \quad PAG_{max}\cos-0 ---$$

El término de estado estacionario es igual a cero

$$\frac{dP_{mi}}{D-}\Big|_{-0} - \frac{D}{D-}\,PAG_{max}\text{pecado-}\Big|_{-0} - PAG_{max}\cos-_0 - PAG_s$$

$$\frac{H}{-F_0}\frac{D^2-}{dt_2} \quad PAG_s --- - 0$$

Ecuación de segundo orden.

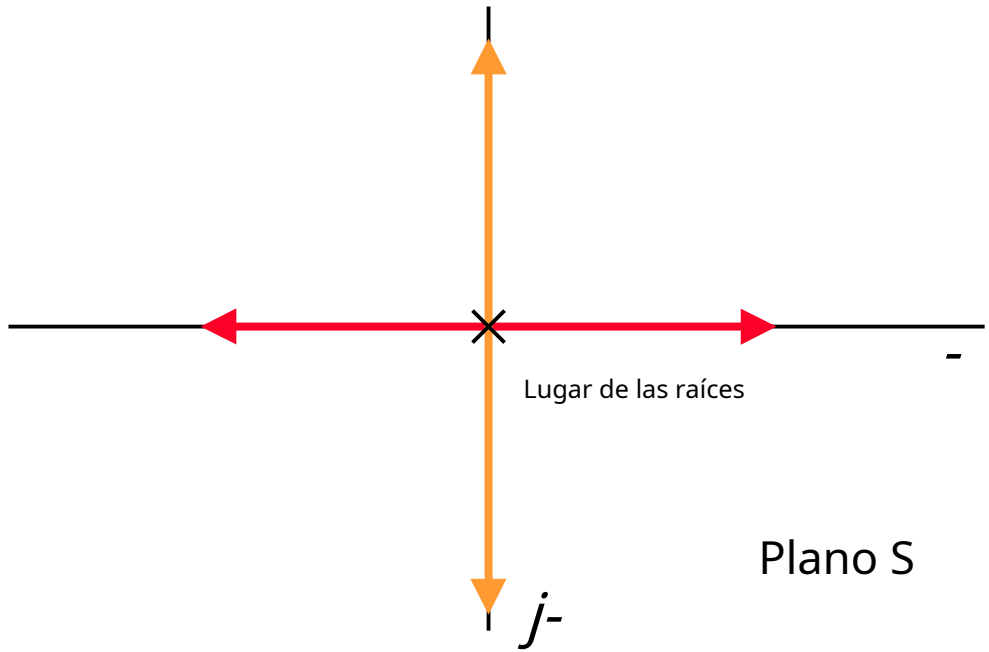
La solución depende de las raíces de la ecuación característica.

Estabilidad

- **Evaluación de estabilidad**
  - Cuando PAG_s es negativo, una raíz está en la mitad derecha s-plano, y la respuesta aumenta exponencialmente y se pierde estabilidad
  - Cuando PAG_s es positivo, ambas raíces están en el j- eje, y el movimiento es oscilatorio y no amortiguado, la frecuencia natural es:

$$s_2 = -\frac{F_0 PAG_s}{H}$$

$$\omega_n = \sqrt{-\frac{F_0 PAG_s}{H}}$$



Plano S

Par de amortiguación

$$PAG_D = D\frac{D}{dt}$$

La fuerza de amortiguación se debe a la interacción del entrehierro

$$\frac{H}{F_0}\frac{D^2}{dt^2} + D\frac{D}{dt} + PAG_S = 0$$

$$\frac{D^2}{dt^2} + \frac{F_0}{H}D\frac{D}{dt} + \frac{F_0}{H}PAG_S = 0$$

$$\frac{D^2}{dt^2} + 2\,_{norte}\frac{D}{dt} + {}_{norte}^2 = 0$$

$$= \frac{D}{2}\sqrt{\frac{F_0}{HP_S}}$$

Ecuación característica

$$s_2 \quad 2\zeta\omega_n s \quad \omega_n^2 = 0$$

$$\zeta = \frac{D}{2}\sqrt{\frac{F_0}{HP_S}} \quad 1$$ para condiciones normales de funcionamiento

$$s_1, s_2 = \zeta\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$$ raíces complejas

$$\omega_D = \omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$$ la frecuencia amortiguada de oscilación

Análisis de la transformada de Laplace

$$X_1 \quad -, \quad X_2 \quad \frac{D -}{dt}$$

$$\begin{matrix} X_1 - \\ X_2 - \end{matrix} \quad \begin{matrix} 0 \\ - \frac{2}{norte} \end{matrix} \quad \begin{matrix} 1 \\ 2 - - norte - \end{matrix} \quad \begin{matrix} X_1 \\ - - X_2 - \end{matrix} \quad \mathbf{X}- \text{ Hacha}$$

$$L -\mathbf{X}- \text{ Hacha}- \quad s\mathbf{X}(s) \; \mathbf{X}(0) \; \mathbf{HACHA}(s)$$

$$\mathbf{X}(s) \quad -s\mathbf{I} \quad \mathbf{A}^{-1}\mathbf{X}(0)$$

$$-s\mathbf{I} \quad \mathbf{A} \quad \begin{matrix} s & 1 \\ - \frac{2}{norte} & s - 2 - - norte - \end{matrix}$$

$$\mathbf{X}(s) \quad \frac{\begin{matrix} s - 2 - norte & 1 \\ - \frac{2}{norte} & s - \end{matrix}}{s^2 - 2 - s - \frac{2}{norte}} \mathbf{X}(0)$$

Análisis de la transformada de Laplace

$$- - (s) - \frac{-s - 2-- --_{0}^{norte}}{s^2 - 2--_{norte} s -_{norte}^{2}}$$

$$- - (s) - \frac{- \; 2-_{norte}0}{s^2 - 2--_{norte} s -_{norte}^{2}}$$

$$- - (t) - \frac{- -}{\sqrt{}} {}_0 mi^{---_{norte}t} \text{ pecado}--_D t -1 \quad -, \quad - \text{ porque}^{-1} -$$
$$- \; 2$$

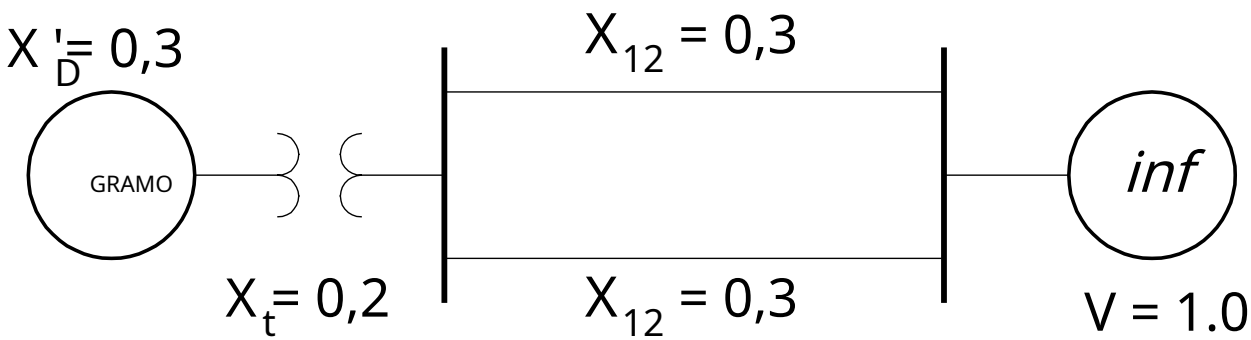
$$- - (t) - \frac{- \; norte-0}{\sqrt{1 - \; 2}} mi^{---_{norte}t} \text{ pecado}--_D t-$$

$$- (t) - -_0 - - (t), \qquad - (t) -_0 - - (t)$$

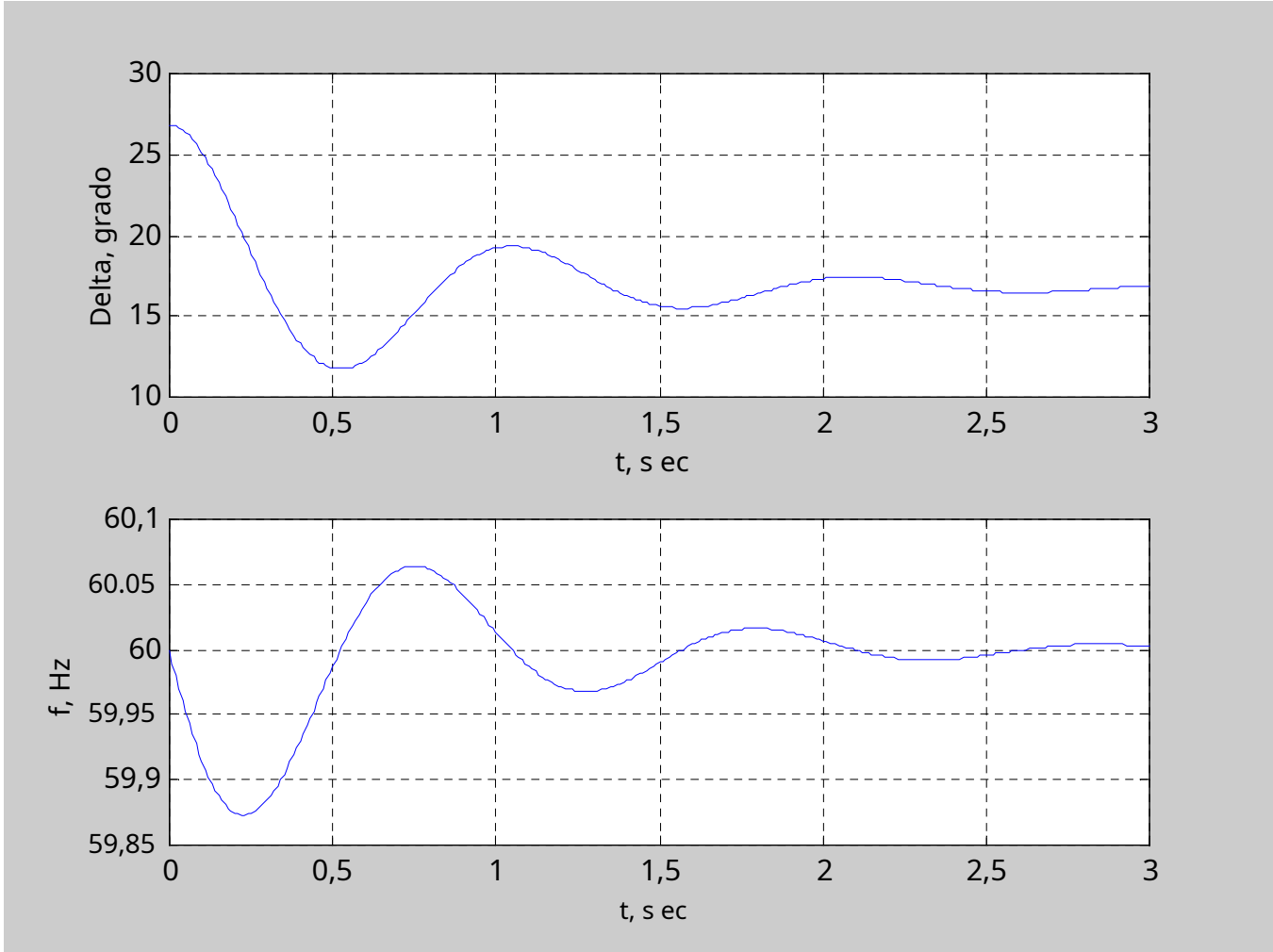
Ejemplo

- **Un generador síncrono de 60 Hz con constante de inercia H = 9,94 MJ / MVA y una reactancia transitoria X'_D = 0.3 pu está conectado a un bus infinito a través de la siguiente red. El generador está entregando 0.6 *pu* potencia real a un factor de potencia de 0,8 que se retrasa con respecto al bus infinito a un voltaje de 1 *pu*. Suponga que el coeficiente de poder de amortiguamiento es *D* = 0,138 *pu*. Considere una pequeña perturbación de 10 o 0,1745 radianes. Obtenga ecuaciones del ángulo del rotor y el movimiento de frecuencia del generador.**

Ejemplo



Ejemplo


30
25
20
15
10
Delta, grado
0
0,5
1
1,5
2
2,5
3
t, s ec
60,1
60.05
60
59,95
59,9
59,85
f, Hz
0
0,5
1
1,5
2
2,5
3
t, s ec

Tema 3: Ec

- El despacho económico se utiliza para determinar el medio de menor costo de usando existente plantas generadoras para satisfacer la demanda eléctrica

Centro de control del sistema de energía

Despacho económico

- **En la práctica y en el análisis de flujo de energía, hay muchas opciones para configurar los puntos de operación de los generadores.**
  - En el análisis de flujo de potencia, los buses del generador se especifican mediante P y | V |
  - La capacidad de generación es más que la demanda de carga: los generadores pueden producir más de lo que los clientes pueden consumir
    - hay muchas combinaciones de soluciones para programar la generación
  - en la práctica, las centrales eléctricas no se encuentran a la misma distancia de los centros de carga
  - Las plantas de energía utilizan diferentes tipos de combustible, que varían en costo desde tiempo al tiempo
- **Para los sistemas interconectados, el objetivo es encontrar la programación de potencia real y reactiva para minimizar algún costo operativo o función de costo**

Mejoramiento

- **Función de costo general:** $F(X_1, X_2, \text{L } X_{norte}) = C$
- **Optimización de parámetros sin restricciones, desde cálculo:**
  - la primera derivada de *F* desaparece en un extremo local

$$D/_{dx} F(X) = 0$$

  - por *F* para ser un mínimo local, la segunda derivada debe ser positivo en el punto de los extremos locales

$$D^2/_{dx^2} F(X) > 0$$

  - para un conjunto de parámetros, el gradiente de f desaparece en un local extremos y para ser un mínimo local, el hessiano debe ser una matriz definida positiva (es decir, valores propios positivos)

$$\frac{\partial F}{\partial X_I} = 0 \quad I = 1, \text{L } norte \quad \text{o} \quad \nabla F = \left[\frac{\partial F}{\partial X_1}, \frac{\partial F}{\partial X_2} \text{ L } \frac{\partial F}{\partial X_{norte}} \right] = 0$$

Ejemplo

- **Encuentra el mínimo de**

$$F(X_1, X_2, X_3) = 2X_1^2 + X_2^2 + X_3^2 + X_1X_2 + X_2X_3 - 8X_1 - 16X_2 - 32X_3 + 110$$

- evaluar las primeras derivadas a cero da como resultado

$$\frac{\partial F}{\partial X_1} = 2X_1 + X_2 - 8 = 0$$

$$\frac{\partial F}{\partial X_2} = X_1 + 4X_2 + X_3 - 16 = 0$$

$$\frac{\partial F}{\partial X_3} = X_2 + 6X_3 - 32 = 0$$

$$\begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 1 & 4 & 1 \\ 0 & 1 & 6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 8 \\ 16 \\ 32 \end{bmatrix} \quad o \quad \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 \\ 2 \\ 5 \end{bmatrix}$$

Restricciones de igualdad en la optimización

- **Este tipo de problema surge cuando existen dependencias funcionales entre los parámetros que se encuentran**
- **El problema**
  - minimizar la función de costo

$$F\left(X_1 \mathrm{L} X_j \mathrm{L} X_{norte}\right)$$

  - sujeto a las restricciones de igualdad

$$gramo_I\left(X_1 \mathrm{L} X_j \mathrm{L} X_{norte}\right) = 0 \; I = 1, \mathrm{L}\; k$$

- **Tales problemas pueden ser resueltos por el *Multiplicador de Lagrange* método**

Restricciones de igualdad en la optimización

- **Método del multiplicador de Lagrange**
  - introducir k-vector dimensional λ para las cantidades indeterminadas

$$L = F + \sum_{I=1}^{k} \lambda_I \, gramo_I$$

Nueva función de costos

  - Las condiciones necesarias para encontrar el mínimo local

$$\frac{\partial L}{\partial X_I} = \frac{\partial F}{\partial X_I} + \sum_{I=1}^{k} \lambda_I \frac{\partial gramo_I}{\partial X_I} = 0$$

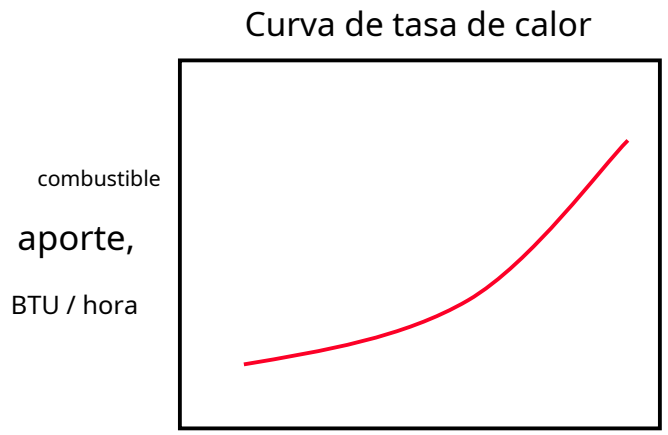
$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_I} = gramo_I = 0$$

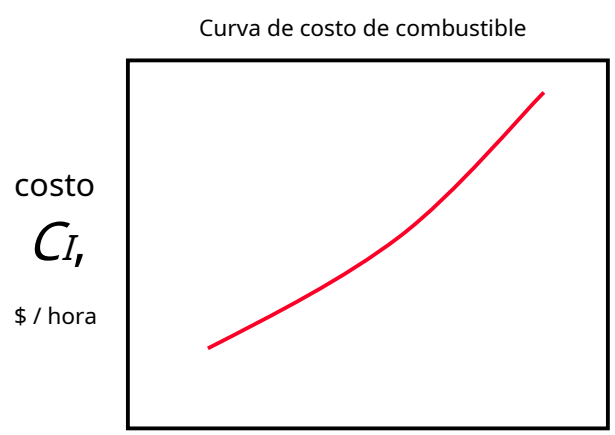
Costos de operacion

- **Factores que influyen en el costo mínimo de generación de energía**
  - eficiencia operativa del motor primario y el generador
  - costos de combustible
  - pérdidas de transmisión
- **El generador más eficiente del sistema no garantiza costos mínimos**
  - puede estar ubicado en un área con altos costos de combustible
  - Puede estar ubicado lejos de los centros de carga y pérdidas de transmisión. son altos
- **El problema es determinar la generación en diferentes plantas para minimizar los costos operativos totales.**

Costos de operacion

- **Las curvas de tasa de calor del generador conducen a las curvas de costo de combustible**





- El costo del combustible se expresa comúnmente como una función cuadrática.

$$C_I = \alpha_I + \beta_I PAG_I + \gamma_I PAG_I^2$$

- La derivada se conoce como costo incremental del combustible.

$$\frac{dP_I}{\text{corriente continua}} = \beta_I + 2\gamma_I PAG_I$$

Despacho económico

- **El problema más simple es cuando se ignoran las pérdidas del sistema y los límites del generador.**
  - Minimizar el objetivo o la función de costo en todas las plantas.
  - Se utiliza una función de costo cuadrático para cada planta.

$$C_{total} = \sum_{I=1}^{norte_{gen}} C_I = \sum_{I=1}^{norte_{gen}} \alpha_I + \beta_I PAG_I + \gamma_i P_i^2$$

  - la demanda total es igual a la suma de la producción de los generadores; la restricción de igualdad

$$\sum_{=1}^{norte_{gen}} PAG_I = PAG_{Demanda\ i}$$

Despacho económico

- **Un enfoque típico que utiliza los multiplicadores de Lagrange**

$$L = C_{total} + \lambda \left(P_{Demanda} - \sum_{I=1}^{norte_{gen}} P_{AG_I} \right)$$

$$\frac{\partial L}{\partial P_{AG_I}} = \frac{\partial C_{total}}{\partial P_{AG_I}} + \lambda (0 - 1) = 0 \quad \rightarrow \quad \frac{\partial C_{total}}{\partial P_{AG_I}} = \lambda$$

$$C_{total} = \sum_{I=1}^{norte_{gen}} C_I \quad \rightarrow \quad \frac{\partial C_{total}}{\partial P_{AG_I}} = \frac{corriente\ continua_I}{dP_I} = \lambda \ \forall I = 1, K, n_{gramo}$$

$$\lambda = \frac{corriente\ continua_I}{dP_I} = \beta_I + 2\gamma_I P_I$$

Despacho económico

- la segunda condición para un envío óptimo

$$\frac{dL}{d\lambda} = -PAG_{Demanda} - \sum_{I=1}^{norte_{gen}} PAG_I = 0 \quad \rightarrow \quad \sum_{i=1}^{norte_{gen}} PAG_I = PAG_{Demanda}$$

- reorganizar y combinar las ecuaciones para resolver para λ

$$PAG_I = \frac{\lambda - \beta_I}{2\gamma_I}$$

$$\sum_{I=1}^{norte_{gen}} \frac{\lambda - \beta_I}{2\gamma_I} = PAG_{Demanda} \qquad \lambda = \frac{PAG_{Demanda} + \sum_{I=1}^{norte_{gen}} \frac{\beta_I}{2\gamma_I}}{\sum_{I=1}^{norte_{gen}} \frac{1}{2\gamma_I}}$$

Ejemplo

- **Sin tener en cuenta las pérdidas del sistema y los límites del generador, encuentre el despacho óptimo y el costo total en $ / hora para los tres generadores y la demanda de carga dada**

$$C_1 = 500 + 5.3 PAG_1 + 0{,}004 PAG_1^2 \text{ PS } MWhr]$$

$$C_2 = 400 + 5{,}5 PAG_2 + 0{,}006 PAG_2^2$$

$$C_3 = 200 + 5{,}8 PAG_3 + 0{,}009 PAG_3^2$$

$$PAG_{Demanda} = 800 MW$$

Ejemplo

$$\lambda = \frac{PAG_{Demanda} + \sum_{I=1}^{norte_{gen}} \frac{\beta_I}{2\gamma_I}}{\sum_{I=1}^{norte_{gen}} \frac{1}{2\gamma_I}} = \frac{800 + \frac{5.3}{0,008} + \frac{5.5}{0,012} + \frac{5.8}{0,018}}{\frac{1}{0,008} + \frac{1}{0,012} + \frac{1}{0,018}} = \$\ 8.5\ /\ MWhr$$

$$PAG_I = \frac{\lambda - \beta_I}{2\gamma_I}$$

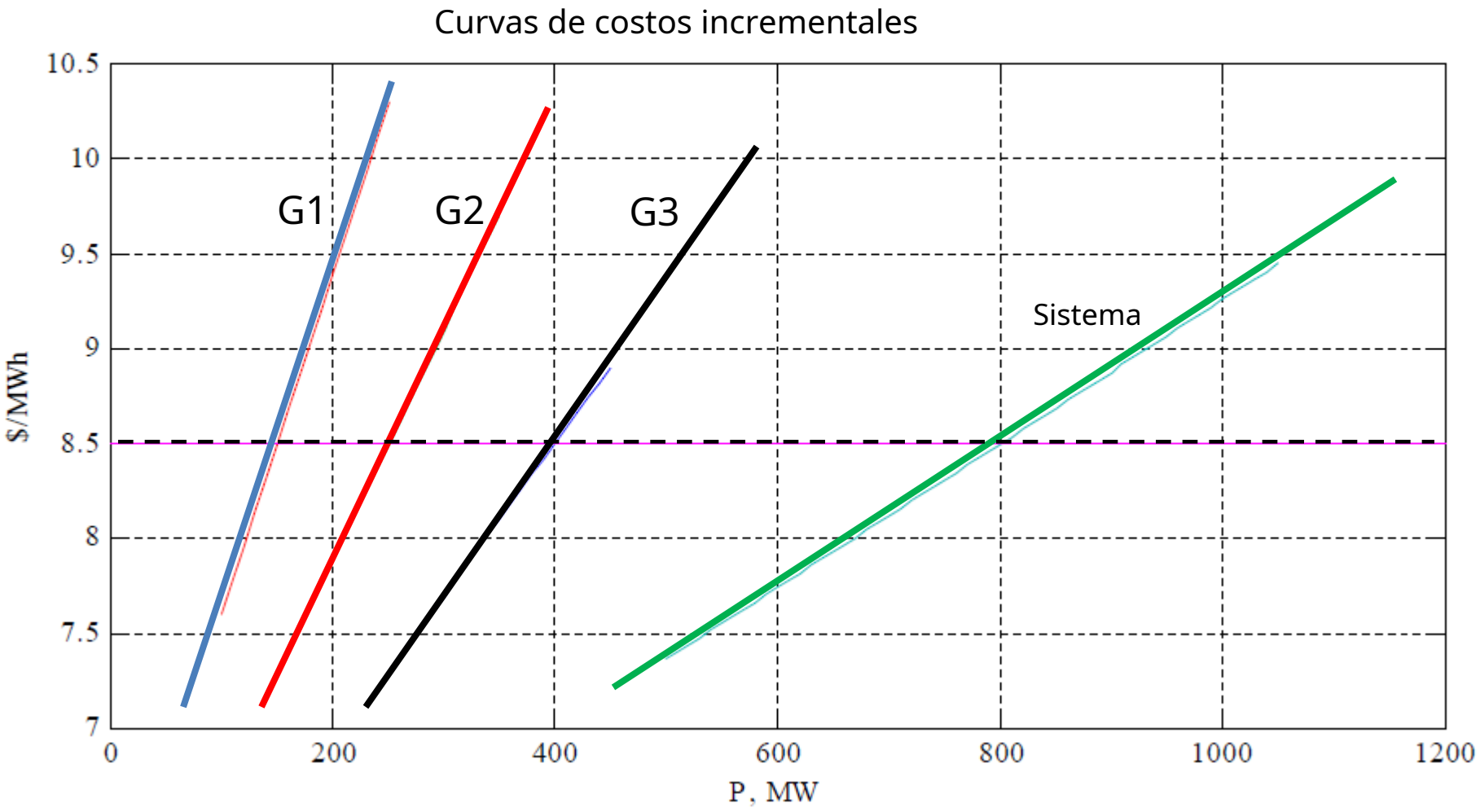
$$PAG_1 = \frac{8.5 - 5.3}{2(0,004)} = 400\,MW$$

$$PAG_2 = \frac{8.5 - 5.5_I}{2(0,006)} = 250\,MW$$

$$PAG_3 = \frac{8.5 - 5.8}{2(0,009)} = 150\,MW$$

$$PAG_{Demanda} = 800 = 400 + 250 + 150$$

Example


Curvas de costos incrementales
10.5
10
9.5
9
8.5
8
7.5
7
$/MWh
G1
G2
G3
Sistema
0
200
400
600
800
1000
1200
P, MW

Discusión

- ¿Resultados clave para el despacho económico?
  - El costo incremental de todas las unidades generadoras es igual
  - Este costo incremental es el multiplicador de Lagrange, –
  - '-' se llama el 'Sistema -' y es el costo de generación de electricidad de todo el sistema
    - Este es el precio que se cobra a los clientes.

Despacho económico con límites de generador

- **La potencia de salida de cualquier generador no debe exceder su clasificación ni estar por debajo del valor para un funcionamiento estable de la caldera.**
  - Los generadores tienen una potencia real mínima y máxima limites
- **El problema es encontrar la generación de energía real para cada planta de manera que se minimicen los costos, sujeto a:**
  - Satisfacer la demanda de carga: restricciones de igualdad
  - Restringido por los límites del generador: restricciones de desigualdad
- **Las condiciones de Kuhn-Tucker**

$$\text{corriente continua} \quad \frac{dP_I}{} = \lambda \quad \leftarrow \quad PAG_{I(\text{min})} < PAG_I < PAG_{I(\text{máx.})}$$

$$\text{corriente continua} \quad \frac{dP_I}{} \leq \lambda \quad \leftarrow \quad PAG_I = PAG_{I(\text{máx.})}$$

$$\text{corriente continua} \quad \frac{dP_I}{} \geq \lambda \quad \leftarrow \quad PAG_I = PAG_{I(\text{min})}$$

Ejemplo

- **Sin tener en cuenta las pérdidas del sistema, encuentre el despacho óptimo y el costo total en $ / hora para los tres generadores y la demanda de carga y los límites de generación dados.**

$$C_1 = 500 + 5.3 PAG_1 + 0{,}004 PAG_1^2 \quad [\$ / MWhr]$$

$$C_2 = 400 + 5{,}5 PAG_2 + C\,0{,}006 PAG_2^2$$

$$_3 = 200 + 5{,}8 PAG_3 + \quad 0{,}009 PAG_3^2$$

$$200 \le PAG_1 \le 450$$

$$150 \le PAG_2 \le 350$$

$$100 \le PAG_3 \le 225$$

$$PAG_{Demanda} = 975 \text{ MW}$$

Example

$$\lambda = \frac{P_{Demand} + \sum_{i=1}^{n_{gen}} \frac{\beta_i}{2\gamma_i}}{\sum_{i=1}^{n_{gen}} \frac{1}{2\gamma_i}} = \frac{975 + \frac{5.3}{0.008} + \frac{5.5}{0.012} + \frac{5.8}{0.018}}{\frac{1}{0.008} + \frac{1}{0.012} + \frac{1}{0.018}} = \$\ 9.163 \text{ / MWh}$$

$$P_i = \frac{\lambda - \beta_i}{2\gamma_i}$$

$$P_1 = \frac{9.16 - 5.3}{2(0.004)} = 483 \text{ MW}$$

$$P_2 = \frac{9.16 - 5.5_i}{2(0.006)} = 305 \text{ MW}$$

$$P_3 = \frac{9.16 - 5.8}{2(0.009)} = 187 \text{ MW}$$

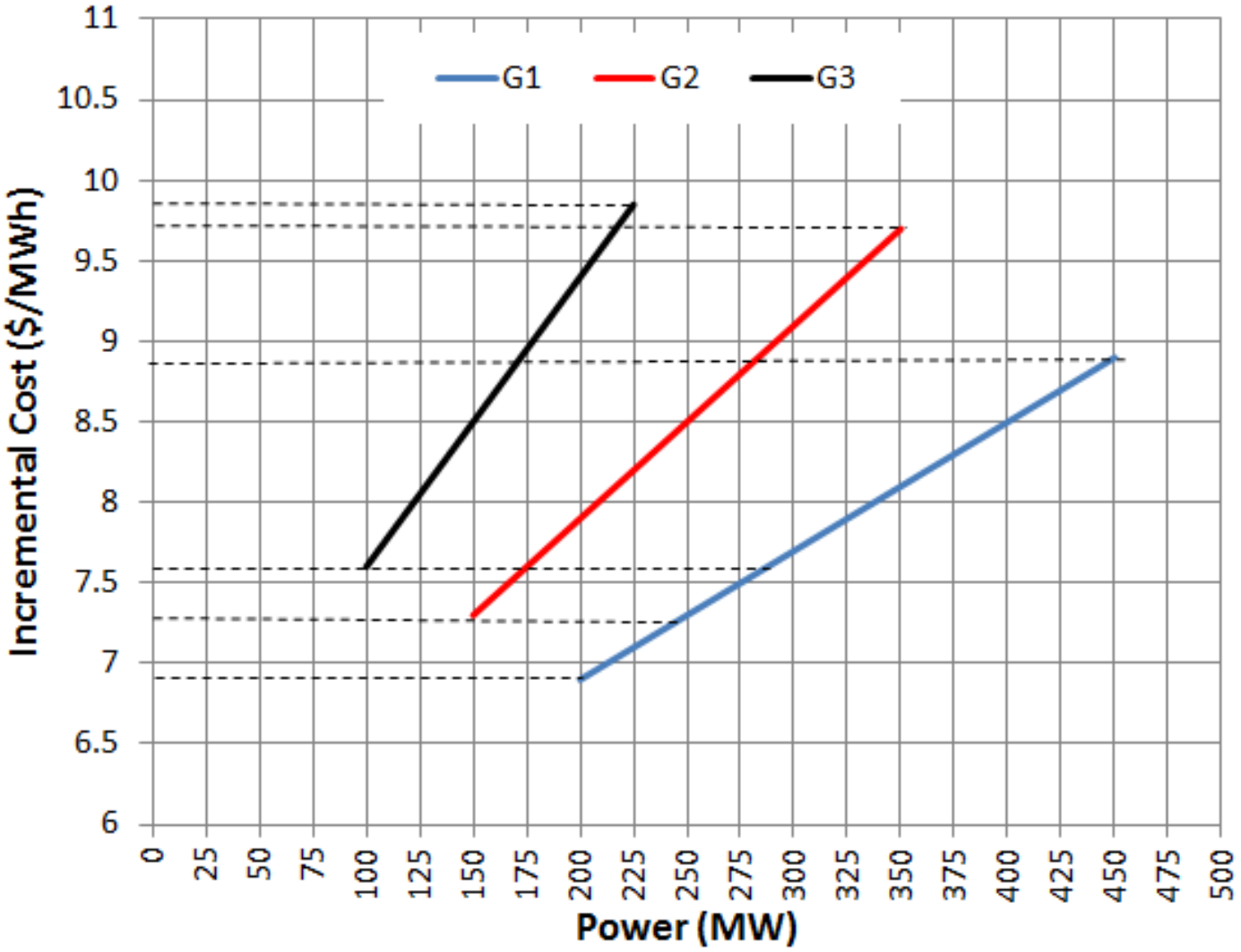
$$P_{Demand} = 975 = 450 + 315 + 210$$

Límite superior violado:
→ P1 = 450 MW

→ resolver el problema de envío con dos generadores:
P2 + P3 = 525 MW

→ λ = $ 9,4 / MWh
→ P2 = 315 MW
→ P3 = 210 MW

Example


G1
G2
G3
Incremental Cost ($/MWh)
Power (MW)
11
10.5
10
9.5
9
8.5
8
7.5
7
6.5
6
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
275
300
325
350
375
400
425
450
475
500

Despacho económico incluyendo pérdidas

- **Para grandes sistemas interconectados donde la energía se transmite a largas distancias con áreas de baja densidad de carga**
  - Las pérdidas en la línea de transmisión son un factor importante.
  - las pérdidas afectan el óptimo despacho de generación
- **Una práctica común para incluir el efecto de pérdidas de transmisión es expresar la pérdida total de transmisión como una función cuadrática de las salidas de potencia del generador**
  - la forma mas simple:

$$P_L = \sum_{i=1}^{n_{gen}} \sum_{j=1}^{n_{gen}} P_i B_{ij} P_j$$

  - Fórmula de pérdida de Kron:

$$P_L = \sum_{i=1}^{n_{gen}} \sum_{j=1}^{n_{gen}} P_i B_{ij} P_j + \sum_{j=1}^{n_{gen}} B_{0j} P_j + B_{00}$$

Despacho económico incluyendo pérdidas

- **B_{ij} se llaman coeficientes de pérdida**
  - se supone que son constantes
  - Se espera una precisión razonable cuando el funcionamiento real
    las condiciones están cerca de las condiciones del caso base utilizadas para calcular los coeficientes
- **El problema del despacho económico es minimizar el costo total de generación, C, que es una función de la producción de la planta**
- **Restricciones:**
  - la generación es igual a la demanda de carga total más la transmisión
    pérdidas
  - la producción de cada planta está dentro de los límites de generación superior e inferior - restricciones de desigualdad

Despacho económico incluyendo pérdidas

$$F: \quad C_{total} = \sum_{I=1}^{norte_{gen}} C_I = \sum_{I=1}^{norte_{gen}} \alpha_I + \beta_I PAG_I + \gamma_I PAG_I^2$$

$$gramo: \quad \sum_{yo=1}^{norte_{gen}} PAG_I = PAG_{demanda} + PAG_{pérdidas}$$

$$tu: \quad PAG_{I(\min)} \le PAG_I \le PAG_{I(\max)} \; I = 1, \text{L} \; norte_{gen}$$

La ecuación de optimización resultante

$$L = C_{total} + \lambda \left(PAG_{demanda} + PAG_{pérdidas} - \sum_{I=1}^{norte_{gen}} PAG_I \right) + \sum_{I=1}^{norte_{gen}} \mu_{I(\max)} \left(PAG_{I(\max)} - PAG_I \right)$$

$$+ \sum_{I=1}^{norte_{gen}} \mu_{I(\min)} \left(PAG_I - PAG_{I(\min)} \right)$$

$$PAG_I < PAG_{I(\max)} : \mu_{I(\text{máx.})} = 0 \qquad PAG_I > PAG_{I(\min)} : \mu_{I(\min)} = 0$$

Despacho económico incluyendo pérdidas

- **Cuando no se violan los límites del generador:**

$$\frac{\partial L}{\partial PAG_I} = 0 = \frac{\partial C_{total}}{\partial PAG_I} + \lambda\left(0 + \frac{\partial PAG_L}{\partial PAG_I} - 1\right)$$

$$\frac{\partial C_{total}}{\partial PAG_I} = \frac{\partial}{\partial PAG_I}\left(C_1 + C_2 + \mathrm{L} + C_{norte_{gen}}\right) = \frac{\text{corriente continua}_I}{dP_I}$$

$$\therefore \lambda = \frac{\text{corriente continua}_I}{dP_I} + \lambda\frac{\partial PAG_L}{\partial PAG_I} = \frac{1}{1 - \partial PAG_L / \partial PAG_I}\left(\frac{\text{corriente continua}_I}{dP_I} - \text{corriente continua}_I\right) L_I \frac{\text{corriente continua}_I}{dP_I}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = 0 = PAG_D + PAG_L - \sum_{I=1}^{norte_{gen}} PAG_I \qquad \therefore \sum_{I=1}^{norte_{gen}} PAG_I = PAG_D + PAG_L$$

El factor de penalización

- **La ecuación de pérdida de transmisión incremental se convierte en el factor de penalización**

$$L_I = \frac{1}{1 - \frac{\partial PAG_L}{\partial PAG_I}}$$

  - El efecto de las pérdidas de transmisión introduce un factor de penalización que depende de la ubicación de la planta
  - El costo mínimo se obtiene cuando el costo incremental de cada planta multiplicado por su factor de penalización es el mismo para todas las plantas

Ejemplo

- **Encuentre el envío óptimo y el costo total en $ / hora**
  - costos de combustible y límites de producción de la planta

$$C_1 = 200 + 7.0\,PAG_1 + 0{,}008\,PAG_1^2 \text{ [\$ / hora]} \qquad 10 \le PAG_1 \le 85 \text{ MW}$$

$$C_2 = 180 + 6{,}3\,PAG_2 + 0{,}009\,PAG_2^2 \qquad 10 \le PAG_2 \le 80$$

$$C_3 = 140 + 6{,}8\,PAG_3 + 0{,}007\,PAG_3^2 \qquad 10 \le PAG_3 \le 70$$

  - Pérdida de potencia real y demanda de carga total.

$$PAG_{pérdida} = 0{,}000218\,PAG_1^2 + 0{,}000228\,PAG_2^2 + 0.000179\,PAG_3^2$$

$$PAG_{Demanda} = 150 \text{ MW}$$

Example

$$\left(\frac{1}{1-.000436\,PAG_1}\right)(7-0{,}016\,PAG_1) - \left(\frac{1}{1-.000456\,PAG_2}\right)(6.3-.018\,PAG_2)$$

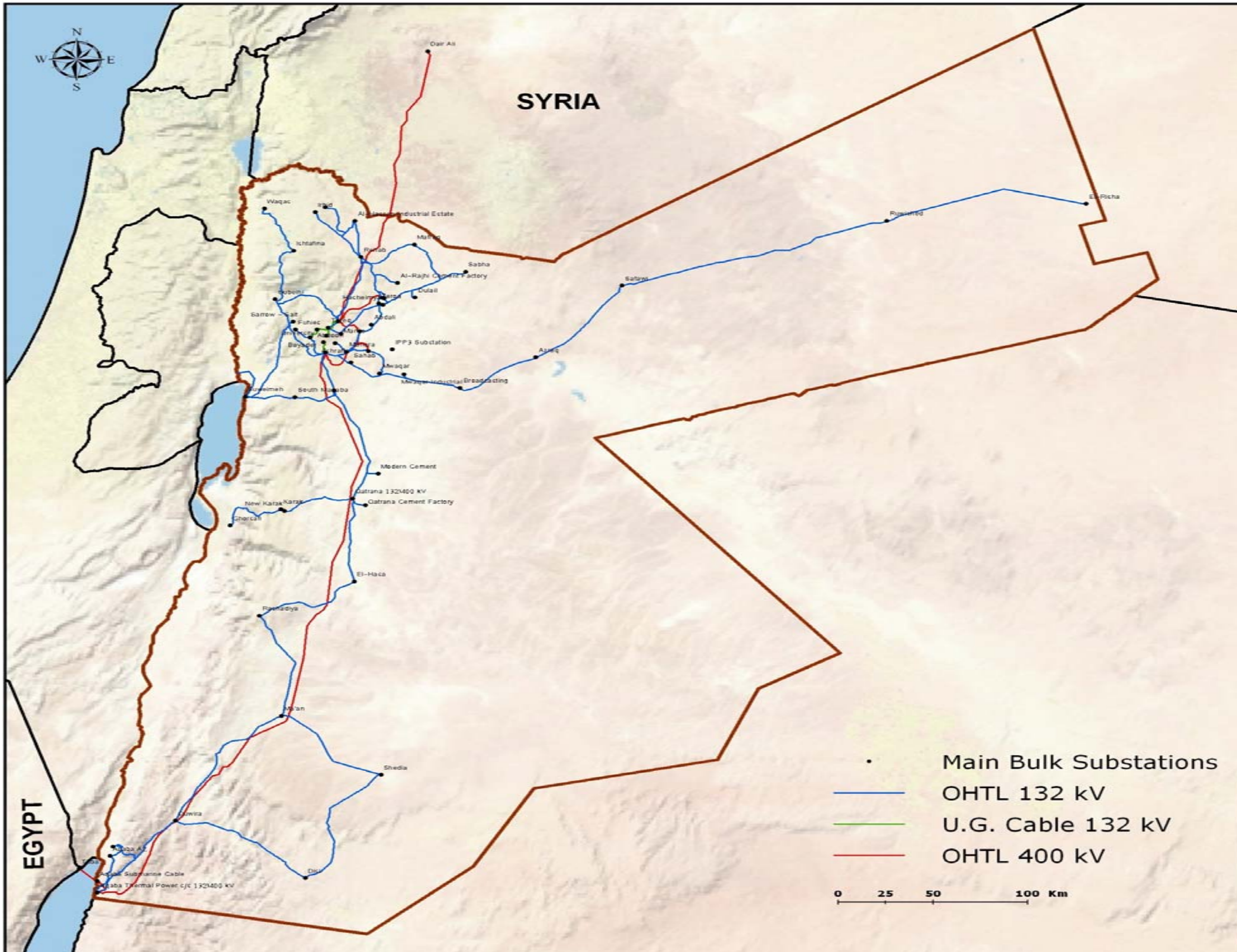
$$- \left(\frac{1}{1-.000358\,PAG_3}\right)(6.8-.014\,PAG_3),$$

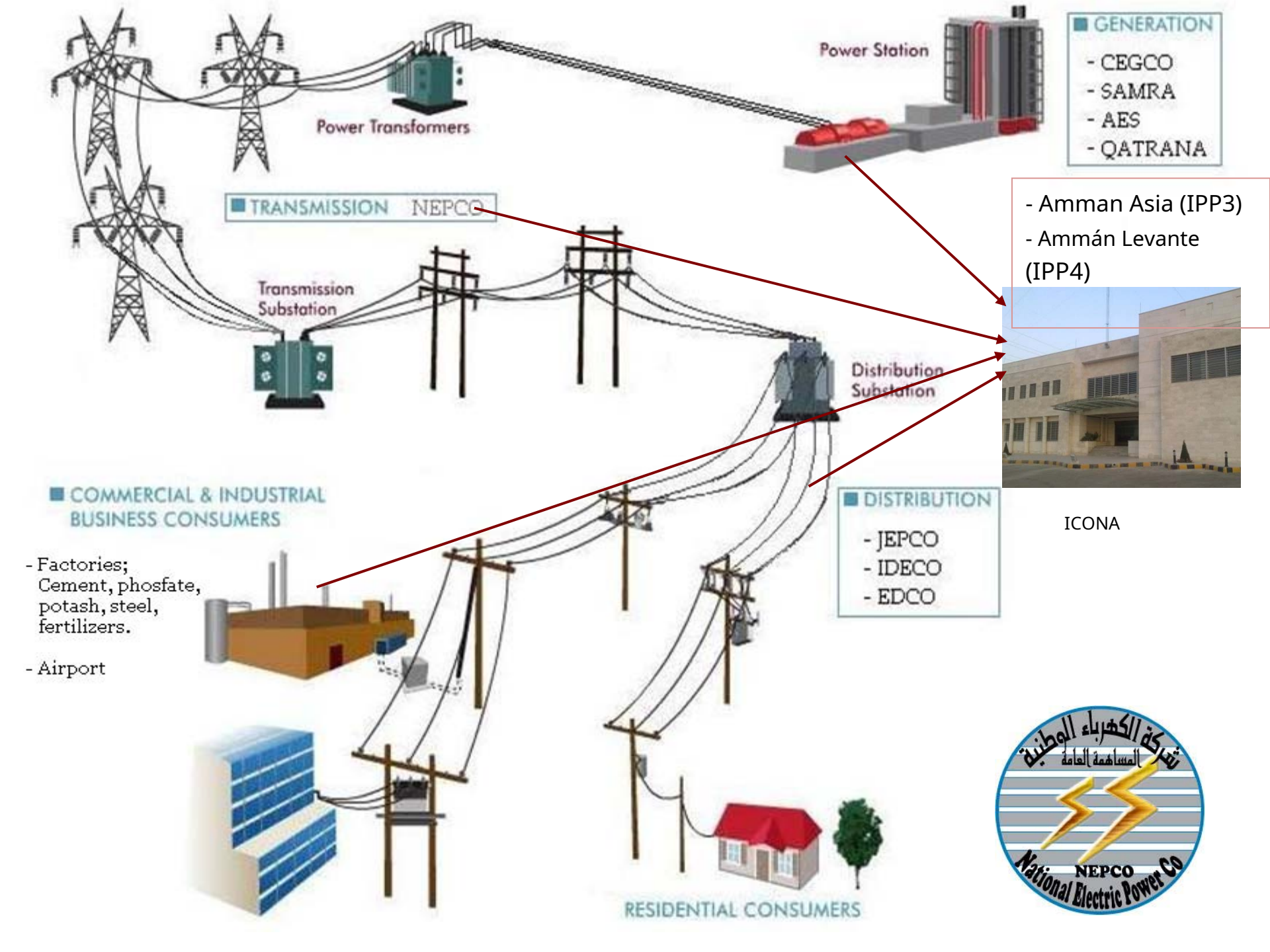
$$PAG_1 - PAG_2 - PAG_3 - 150 - PAG_{pérdida}$$

Resultados (obtenidos numéricamente):

- $PAG_1 = 35{,}1$ MW
- $PAG_2 = 64{,}1$ MW
- $PAG_3 = 52{,}5$ MW
- $PAG_{pérdida} = 1{,}7$ MW
- $PAG_{demanda} = 150$ MW

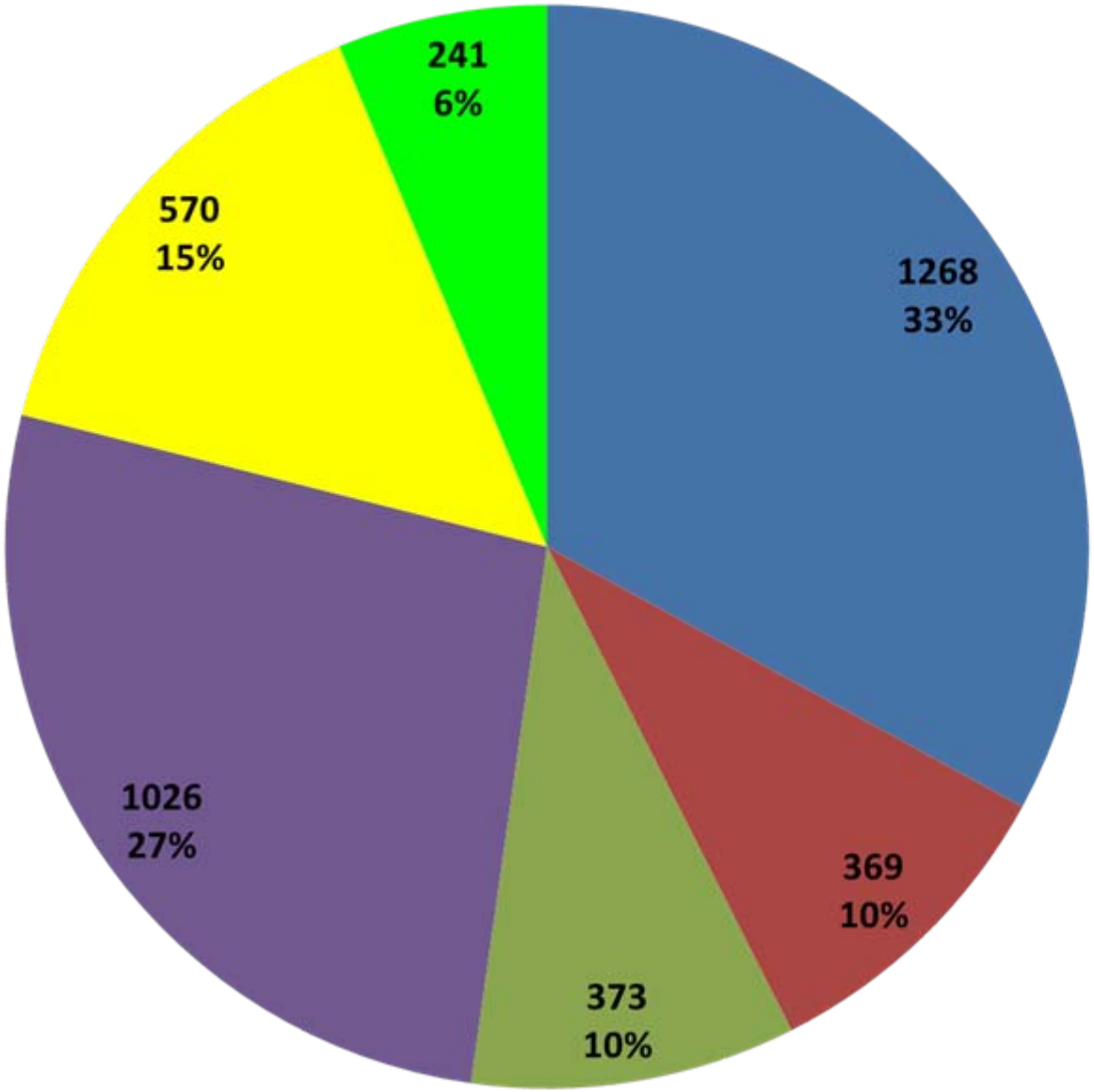
NATIONAL GRID


SYRIA
EGYPT
N
S
W
E
Main Bulk Substations
OHTL 132 kV
U.G. Cable 132 kV
OHTL 400 kV
0 25 50 100 Km
Dair Ali
Waqas
Irbid
Ishtafina
Rehab
Sabha
Al-Rajhi Cement Factory
Dulail
Subeihi
Sarrow
Salt
Fuheis
Abdali
IPP3 Substation
Sahab
Mwaqar
Broadcasting
Azraq
Safawi
Ruwaished
El-Risha
Suweimeh
South Amman
Modern Cement
Qatrana 132/400 kV
Qatrana Cement Factory
New Karak
Karak
Ghorsafi
El-Hasa
Rashadiya
Ma'an
Shedia
Quwira
Disi
Aqaba Submarine Cable
Aqaba Thermal Power c/c 132/400 kV


Power Transformers
Power Station
GENERATION
- CEGCO
- SAMRA
- AES
- QATRANA
TRANSMISSION NEPCO
Transmission Substation
Distribution Substation
- Amman Asia (IPP3)
- Ammán Levante (IPP4)
ICONA
COMMERCIAL & INDUSTRIAL BUSINESS CONSUMERS
- Factories; Cement, phosfate, potash, steel, fertilizers.
- Airport
DISTRIBUTION
- JEPCO
- IDECO
- EDCO
RESIDENTIAL CONSUMERS
شركة الكهرباء الوطنية
المساهمة العامة
NEPCO
National Electric Power Co

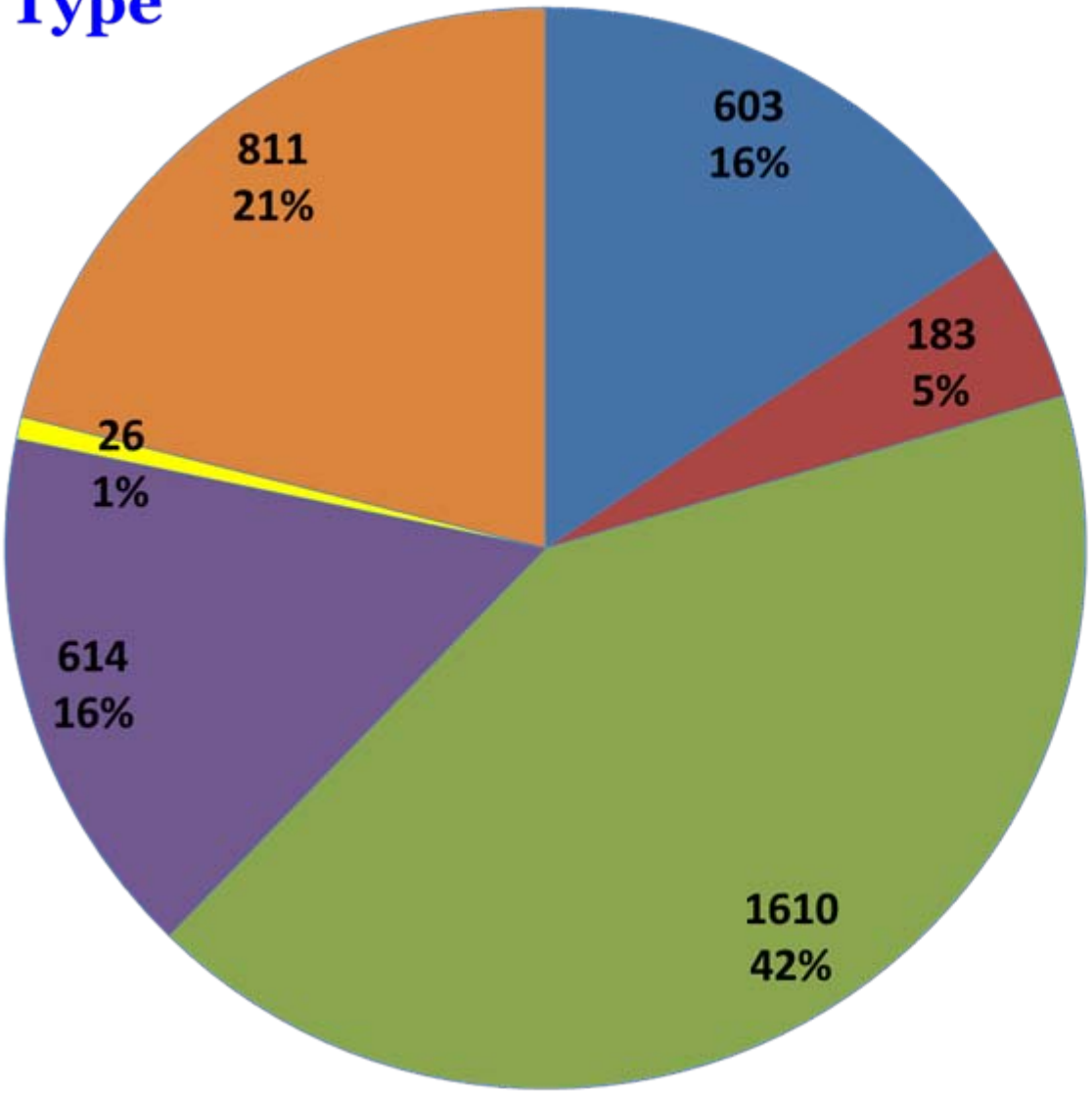
Generation

By Company

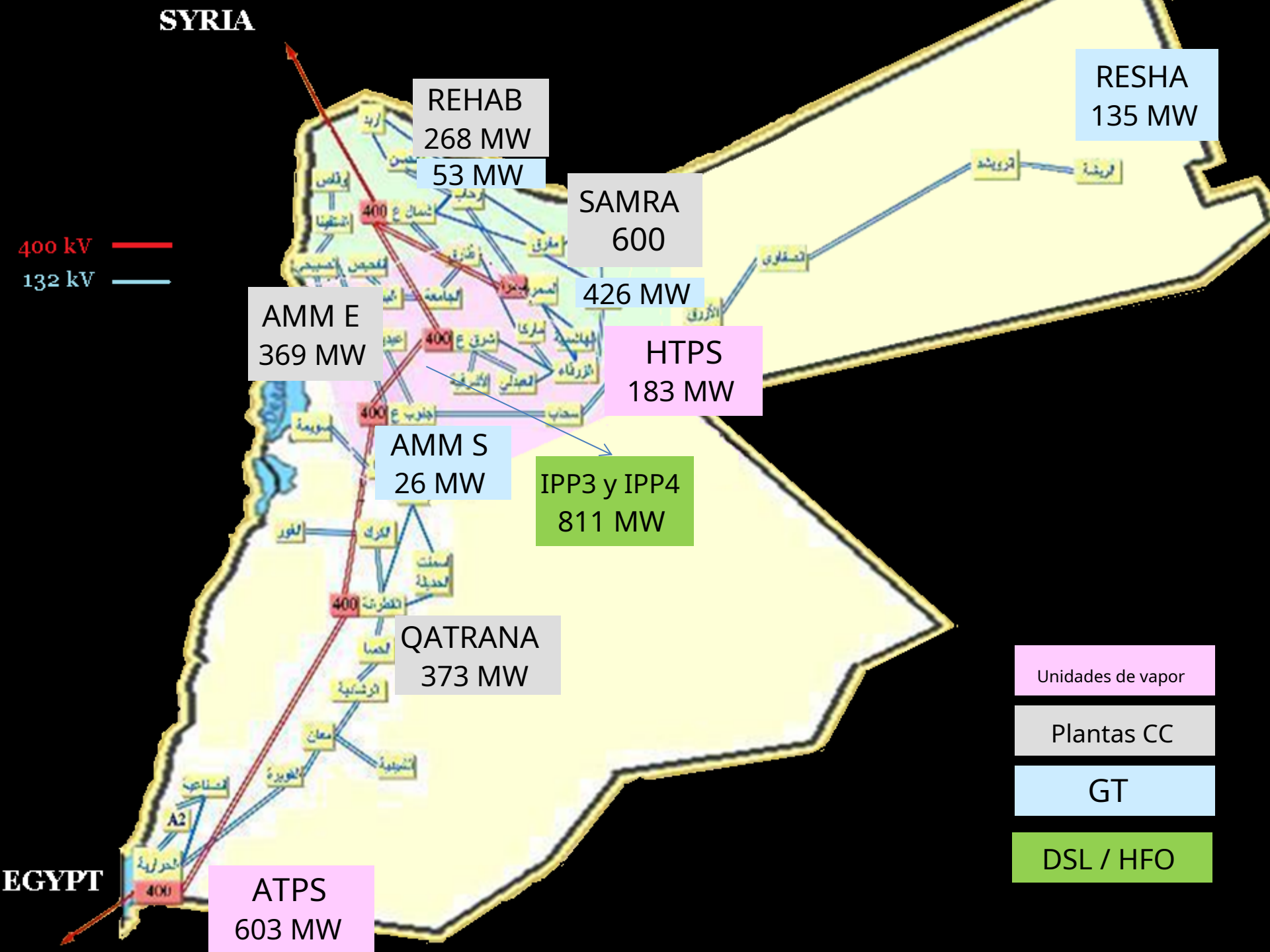


- CEGCO
- AES
- QEPCO
- SAMRA
- Amman Asia (IPP3)
- Amman Levant (IPP4)

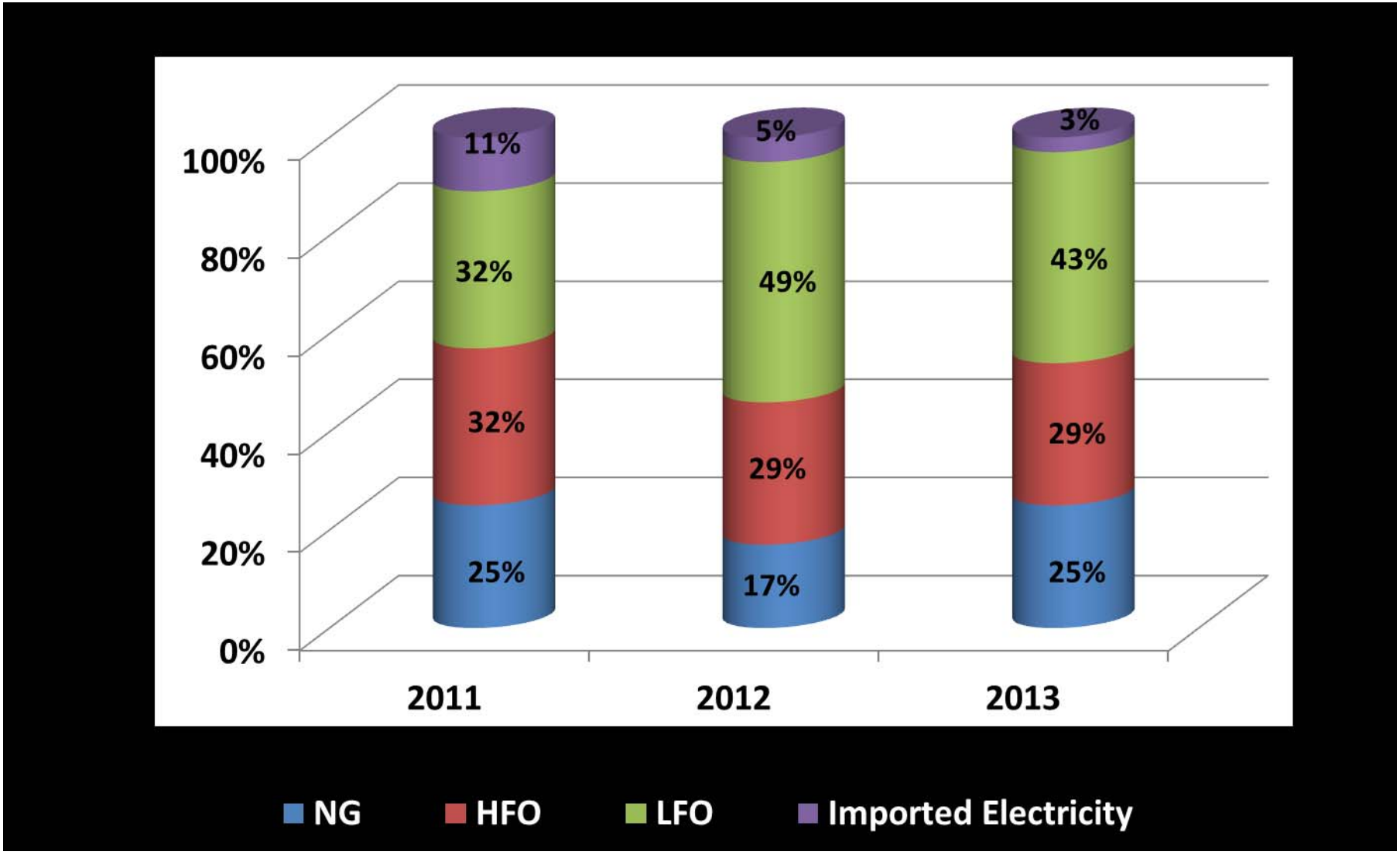
Generation
By Type

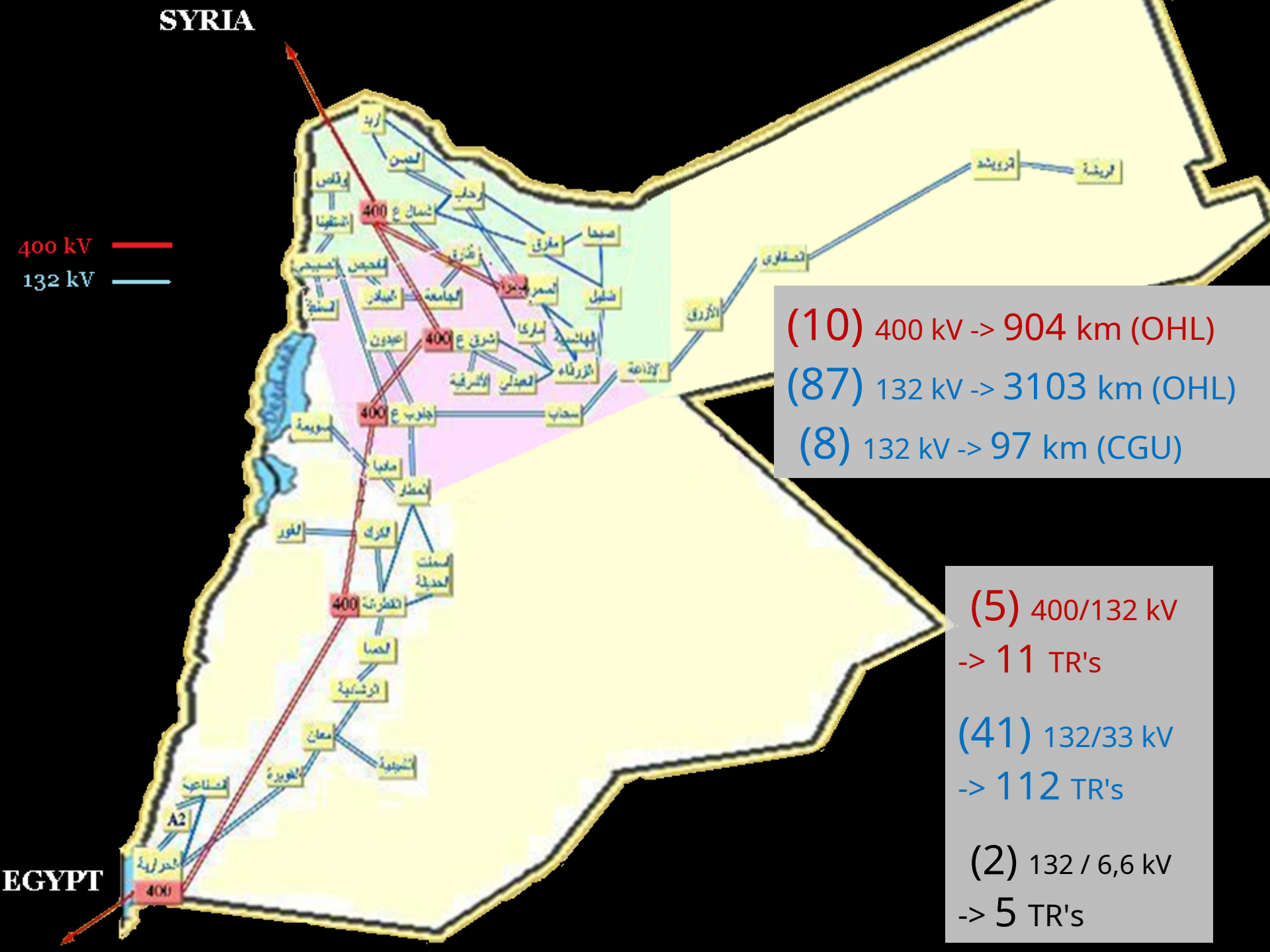


- Steam NG/HFO
- Steam HFO
- CC NG/LFO
- GT NG/LFO
- GT LFO
- Dsl /HFO


SYRIA
REHAB
268 MW
53 MW
RESHA
135 MW
SAMRA
600
426 MW
400 kV
132 kV
AMM E
369 MW
HTPS
183 MW
AMM S
26 MW
IPP3 y IPP4
811 MW
QATRANA
373 MW
Unidades de vapor
Plantas CC
GT
DSL / HFO
EGYPT
ATPS
603 MW

Energía generada por tipo de combustible:




SYRIA
400 kV
132 kV
(10) 400 kV -> 904 km (OHL)
(87) 132 kV -> 3103 km (OHL)
(8) 132 kV -> 97 km (CGU)
(5) 400/132 kV
-> 11 TR's
(41) 132/33 kV
-> 112 TR's
(2) 132 / 6,6 kV
-> 5 TR's
EGYPT
A2
400

Despacho económico

- Los operadores cargan las unidades generadoras disponibles para mantener la ecuación:

  Generación = Carga + Pérdidas

- Basado en el "Programa de despacho diario", que es un programa por horas preparado con anticipación, que muestra las cargas del sistema pronosticadas y la carga de generación sugerida para cumplir con dichas cargas.