

PROTECCION DE DISTANCIA EN LINEAS DE TRANSMISION



INTRODUCCIÓN

Las líneas de transmisión son los elementos más susceptibles a fallas de todo el sistema eléctrico de potencia; el **85 %** de las fallas en estos elementos son monofásica, el 7 % son bifásicas, el 3 % son bifásicas a tierra, y el resto son trifásicas y flameos (de torre a tierra y de tierra a torre).

INTRODUCCIÓN

Los relevadores de distancia determinan la distancia eléctrica a la falla a partir de mediciones uniterminales de la línea de transmisión (LT), por lo que sus zonas de protección son abiertas, es decir, sus alcances varían de régimen de operación del sistema, entre otros factores.

Las protecciones que presentan este comportamiento también se denominan protecciones no unitarias o con selectividad relativa.

INTRODUCCIÓN

La presencia de una fuente de generación o una interconexión que inyecta o consume reactivos en un punto ubicado entre el relevador y la falla, afecta la impedancia medida y constituye una fuente de error al determinar la distancia a la falla. Este efecto es generalmente conocido como fuentes intermedia (aunque en realidad la corriente inyectada puede ser positiva o negativa), y además se debe tener en cuenta en el calculo de los ajustes, así como en el análisis de la operación de los relevadores de distancia.

Tipos de relevadores de distancia

Los relevadores de distancia son clasificados de acuerdo a su característica en el plano x-y (plano de impedancia), del numero de las señales de entradas y del método usado para comparar las entradas.

Figura 9.2.- Relay based on an amplitude comparator

Tipos de relevadores de distancia

El comparador de amplitud es muy limitado.

En el principio de comparación fundamental del relevador de distancia es en base a la comparación fasorial. El siguiente análisis muestra las siguientes señales S_o y S_r , los cuales no son comparados en magnitud, para estos existen dos señales S_1 y S_2 , las cuales pueden ser comparadas en fase. La relación entre las señales es la siguiente:

$$\begin{aligned} S_o &= S_1 + S_2 & S_1 &= \frac{(S_o + S_r)}{2} \\ S_r &= S_1 - S_2 & S_2 &= \frac{(S_o - S_r)}{2} \end{aligned}$$

Tipos de relevadores de distancia

La comparación entre las magnitudes esta dado por:

$$|S_0| \geq |S_r|$$

y

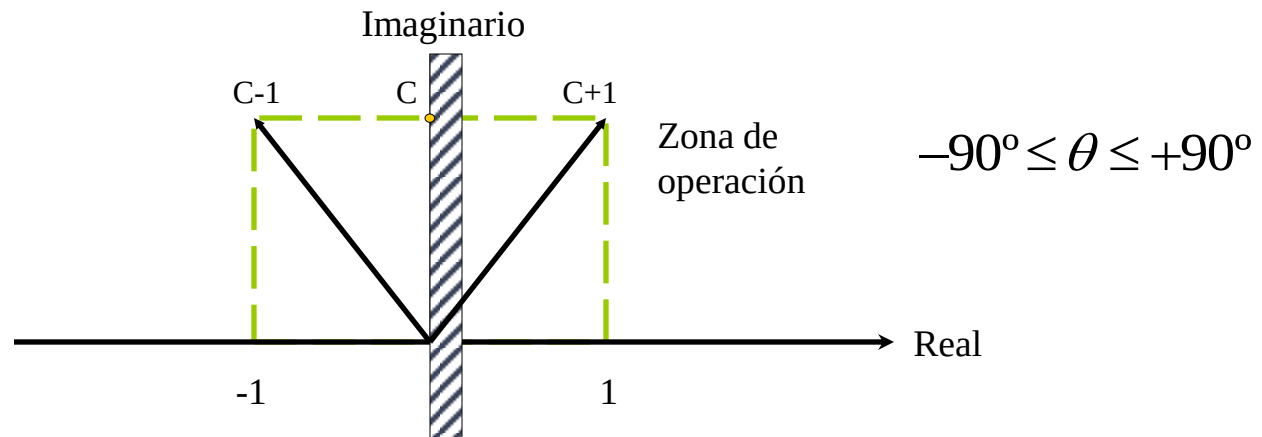
$$|S_1 + S_2| \geq |S_1 - S_2|$$

Definiendo $S_1/S_2 = C$, la relación anterior puede ser expresada como :

$$|C + 1| \geq |C - 1|$$

Dibujando C en el plano cartesiano, este presenta la condición anterior, la cual es satisfecha en el semiplano derecho.

Tipos de relevadores de distancia



Comparación de fases en un plano complejo; $C = S_1/S_2$.

Dado que:

$$C \angle \theta = (S_1 \angle \alpha) / (S_2 \angle \beta)$$

$$-90^\circ \leq \alpha - \beta \leq +90^\circ$$

Relevadores de Impedancia.

- ◆ Este relevador no toma en cuenta el ángulo de fase entre el voltaje y la corriente aplicados a él, por esta razón su característica de operación en el plano R-X es un círculo con centro en el origen de las coordenadas y de radio igual al ajuste en Ohms.
- ◆ El relevador opera para todos los valores de impedancia menores que el ajuste, o sea todos los puntos dentro de la característica circular.

Relevadores de Impedancia.

Si Z_R es la impedancia de ajuste el relevador operará cuando $Z_R \geq V/I$, o cuando $I*Z_R \geq V$. Para que el relevador trabaje como comparador de fase las siguientes magnitudes deben ser asignadas a S_o y S_r :

$$S_o = I*Z_R \quad (1)$$

$$S_r = K*V$$

Donde la constante K toma en cuenta la relación de transformación de los TC's y TP's.

Relevadores de Impedancia.

Las magnitudes correspondientes para el comparador de fase son:

$$\begin{aligned} S_1 &= KV + I Z_R \\ S_2 &= -KV + I Z_R \end{aligned} \quad (2)$$

Dividimos la ecuación 1 entre (K I), se obtiene:

$$\begin{aligned} S_1 &= Z + (Z_R/K) \\ S_2 &= -Z + (Z_R/K) \end{aligned} \quad (3)$$

Donde:

$$Z = V/I$$

Relevadores de Impedancia.

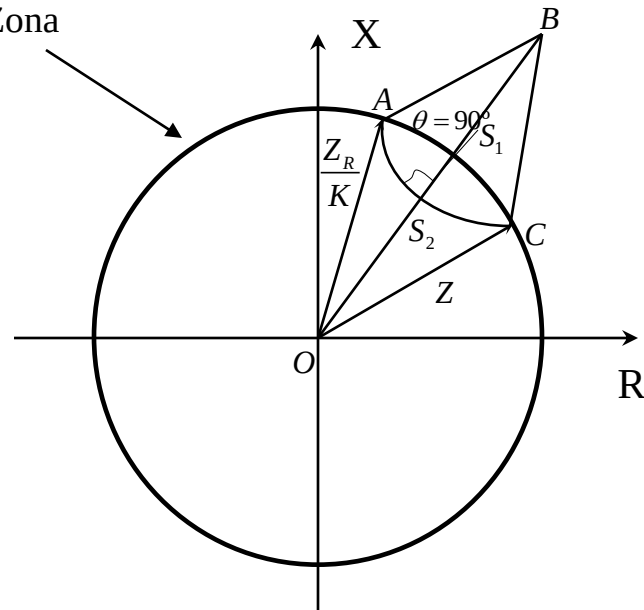
S_1 y S_2 deberán ser graficadas, la escala no afecta la relación de fase entre las 2 señales.

Al graficar Z_R/K y las ecuaciones 3 en el plano R-X la característica de operación del rele la determinamos por la trayectoria del punto Z tal que θ el ángulo de fase entre las señales S_1 y S_2 este dado por: $-90^\circ \leq \theta \leq +90^\circ$.

La grafica se muestra en la figura 1:

Relevadores de Impedancia.

Limite de la Zona
de Protección



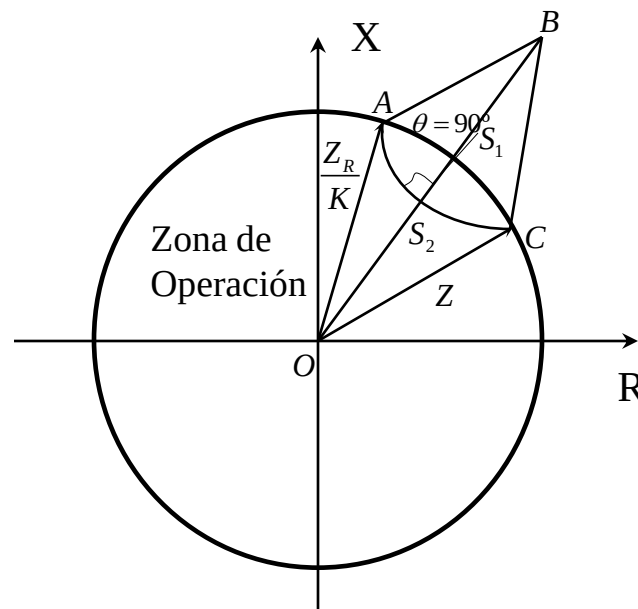
Relevadores de Impedancia.

Las ecuaciones 3 dan como origen a un romboide OABC el cual tiene diagonales S_1 y S_2 . De las propiedades de los romboides deducimos que el ángulo entre S_1 y S_2 es 90° siempre y cuando $|Z| = |Z_R/K|$.

Y vemos que el punto C es el limite de la zona de operación y su trayectoria para los diferentes valores de Z le da la forma al circulo de radio Z_R/K .

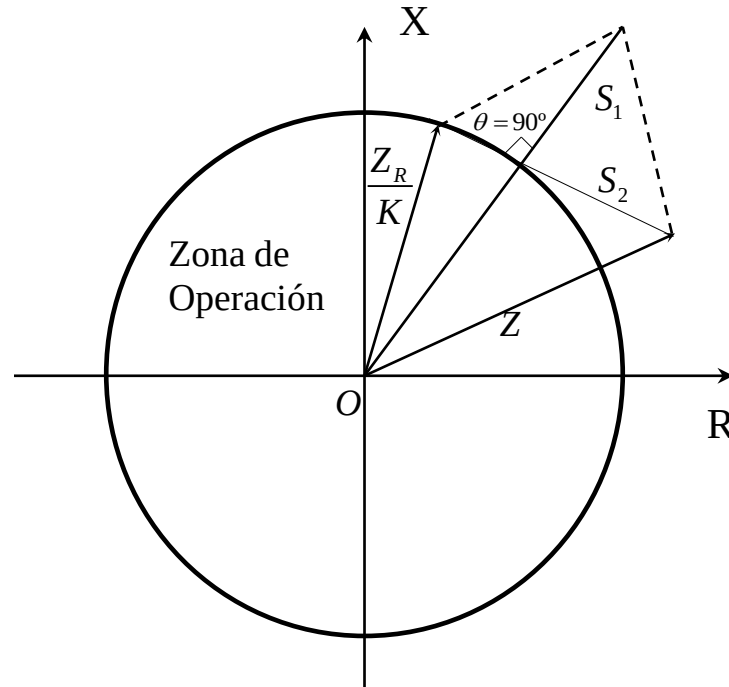
Relevadores de Impedancia.

Si $Z < Z_R/K$, como se muestra en la figura 2, $\theta < 90^\circ$ y por consiguiente el vector para Z esta dentro de la zona de operación del rele. Como se muestra en la figura 2:



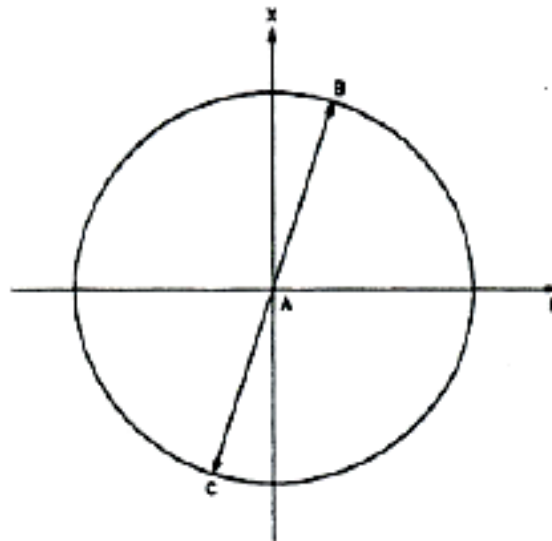
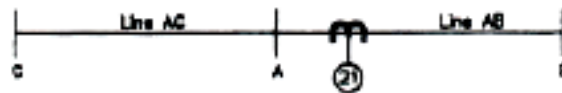
Relevadores de Impedancia.

En el caso opuesto si $Z > Z_R/K$ como se muestra en la figura 3 el vector Z esta fuera de la zona de operacion del relevador, el cual no operará.



Relevadores de Impedancia.

El relevador por impedancia, operará para fallas a lo largo del vector AB de la figura 4, y para todas las fallas detrás del bus (barra colectora), esto es a lo largo del vector AC de la misma figura 4.



Relevadores de Impedancia.

El vector AB representa la impedancia adelante del relevador, entre su localización y el final de la línea AB.

Y el vector AC representa la impedancia de la línea que está detrás de la localización del relevador.

El relevador por impedancia tiene 3 desventajas principales:

- 1.- Este relevador no es direccional, esto es que verá fallas por delante y por detrás de su ubicación, por lo que necesita de un elemento direccional para poder discriminar fallas.
- 2.- Este es afectado por la resistencia de arco.
- 3.- El relevador es muy sensible a oscilaciones del sistema de potencia, debido a la gran área de cobertura de su característica circular.

Relevadores Direccionales.

El relevador direccional es un elemento que produce aperturas (disparos) cuando la impedancia medida esta situada en una mitad del plano R-X.

Estos relevadores son comúnmente usados junto con el de de impedancia para limitar el alcance de la zona de operación del semicírculo.

La característica de operación es obtenida de una comparación de fase de las siguientes señales:

$$S_1 = KV$$

$$S_2 = Z_R I$$

Relevadores Direccionales.

Dividiendo entre IK y definiendo $Z=V/I$, obtenemos:

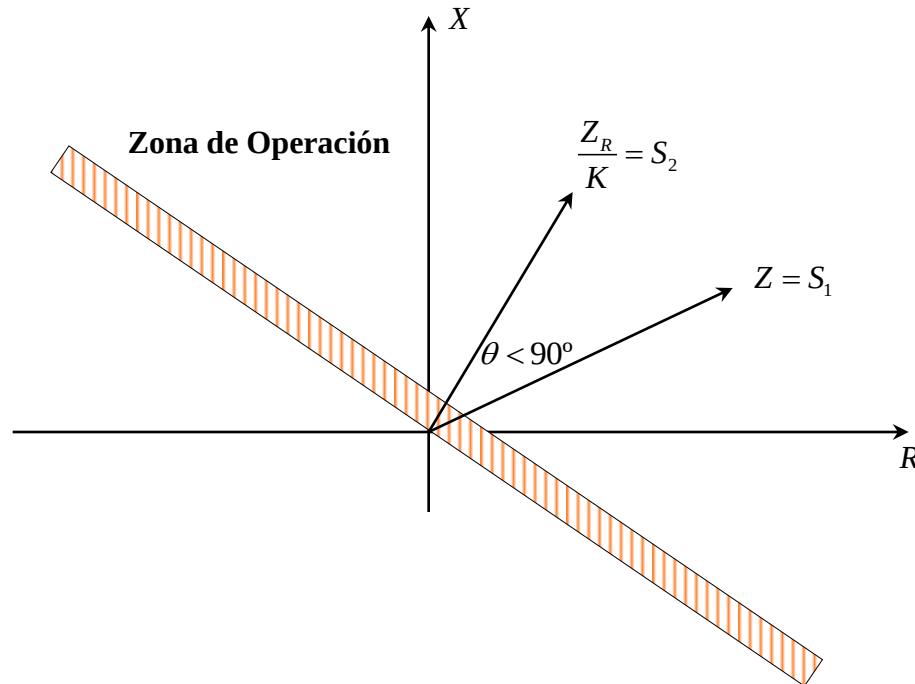
$$S_1 = Z$$

$$S_2 = Z_R / K$$

La zona de operación del relevador direccional se define por los valores de Z y Z_R y el cual resulta en una diferencia de fase entre S_1 y S_2 de menos de 90° .

Relevadores Direccionales.

La grafica de esta característica se muestra a continuación:



Relevadores de Reactancia.

El relevador por reactancia esta diseñado para medir solamente la componente de la impedancia de la línea; consecuentemente, su ajuste esta diseñado para usar un valor determinado por la reactancia X_R . En este caso el par de ecuaciones para S_1 y S_2 son las siguientes:

$$\begin{aligned} S_1 &= -KV + X_R I \\ S_2 &= X_R I \end{aligned} \quad (5)$$

Y dividiendo entre $(K I)$, tenemos:

$$\begin{aligned} S_1 &= -Z + X_R / K \\ S_2 &= X_R / K \end{aligned} \quad (6)$$

Relevadores de Reactancia.

La característica de operación es obtenida graficando las ecs 5 en el plano y determinando estos valores de Z para los cuales $\theta < 90^\circ$.

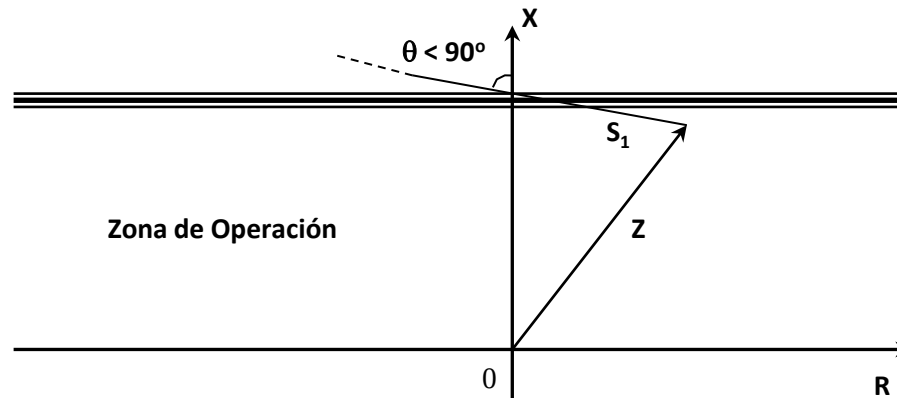
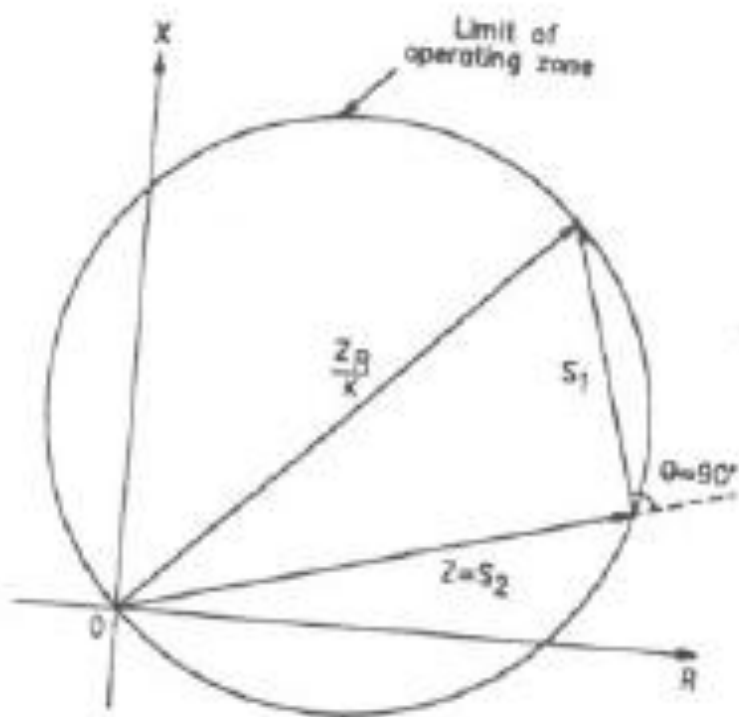


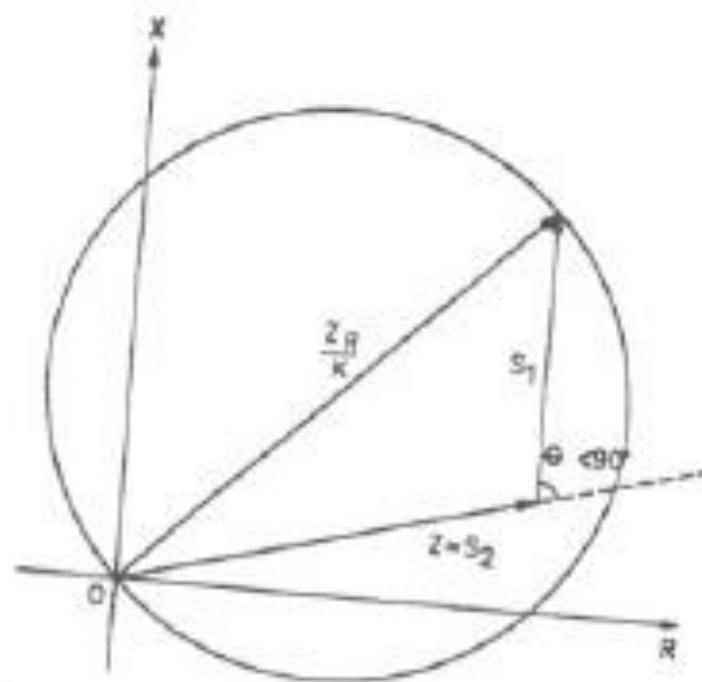
Figura 6.6 - Limite de la zona de operación del relevador de reactancia.

Aquí en la figura se muestra el limite de la zona de operación por un línea recta paralela al plano de la resistencia, graficada para una reactancia X_R/K .

Relevadores de Mho completamente polarizados.



Limite de operación con $\theta=90^\circ$



$\theta < 90^\circ$ Rele opera

Relevadores de Mho completamente polarizados.

Este relevador no es muy eficiente cuando es usado en lines largas por que no tiene el suficiente alcance para cubrir el eje de las X, y no es capaz de detectar fallas con alta resistencia de arco.

Este problema se presenta también en casos de líneas cortas desde que el ajuste es bajo y el valor del eje X cubierto por el circulo Mho es más pequeño en relación con el valor de resistencia de arco esperado.

Relevadores de Mho completamente polarizados.

Una solución a esto es extender su característica circular a lo largo del eje X para fallas desbalanceadas, esta característica la podemos obtener con medidas de un comparador de fase alimentado con las siguientes señales:

$$S_1 = V_{pol}$$

$$S_2 = V - I Z_R$$

Donde:

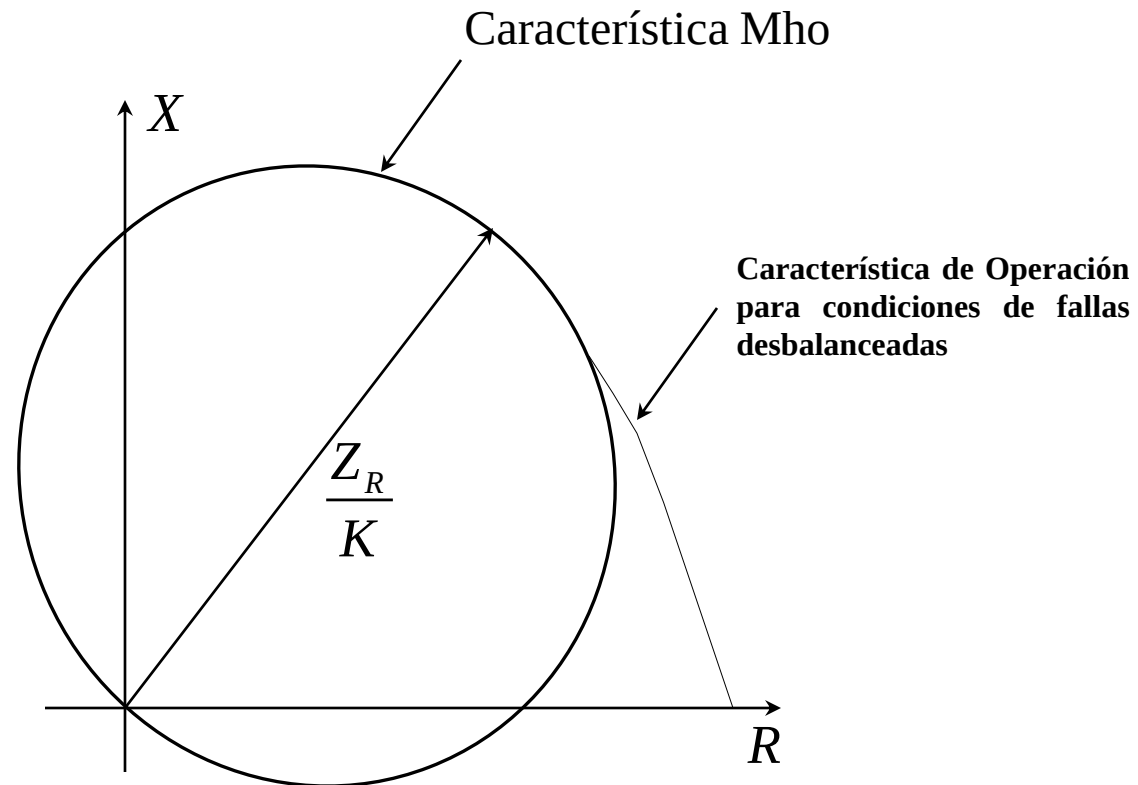
V: voltaje de la fase fallada en la posición del rele

V_{pol} : voltaje tomado de la fase o fases sin condiciones de falla.

I: corriente de falla

Z_R : Ajuste del rele de distancia.

Relevadores de Mho completamente polarizados.



Relevadores con característica lente.

Estos relevadores de distancia son usados en líneas con alta impedancia las cuales tienen alta transferencia de potencia.

Bajo estas condiciones los valores de la impedancia de línea, los cuales son iguales a $(V^2)/S$, llegan a ser pequeños y consiguen cerrar la característica de impedancia del rele, especialmente la de la zona 3.

Relevadores con característica lente.

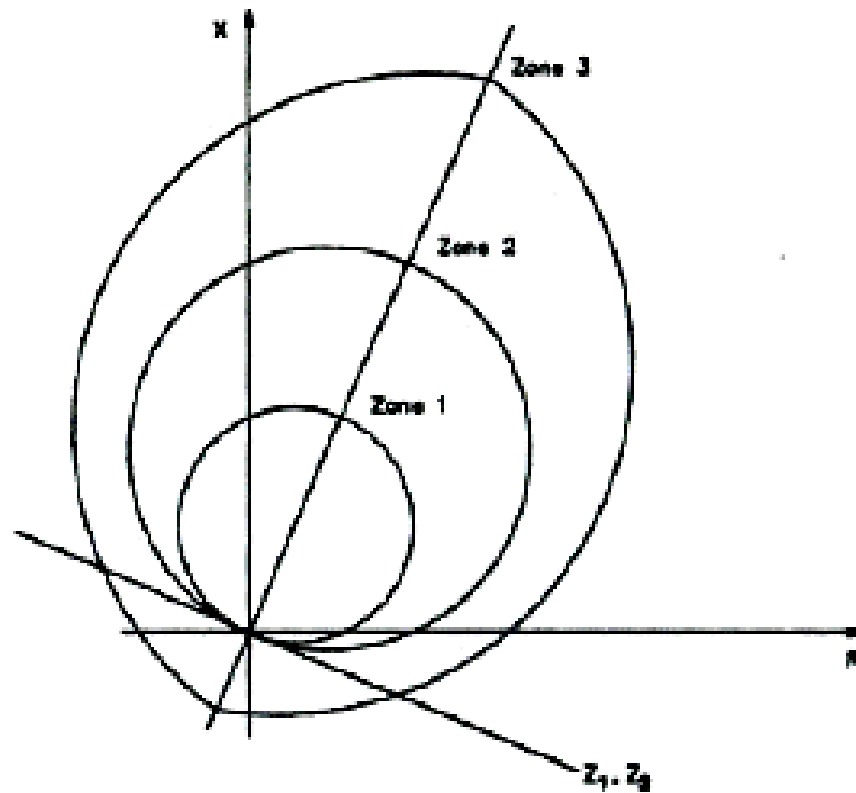


Figure 9.14 Zone 3 offset lens characteristic

Relevadores con característica poligonal.

Este relevador provee un extenso alcance para cubrir la resistencia de falla, en particular en líneas cortas, inclusive la resistencia de línea puede ser colocada en la característica de disparo.

La característica poligonal de disparo es obtenida de 3 elementos de medida independientes: reactancia, resistencia y dirección. La característica es una adecuada combinación de estos 3 elementos.

Relevadores con característica poligonal.

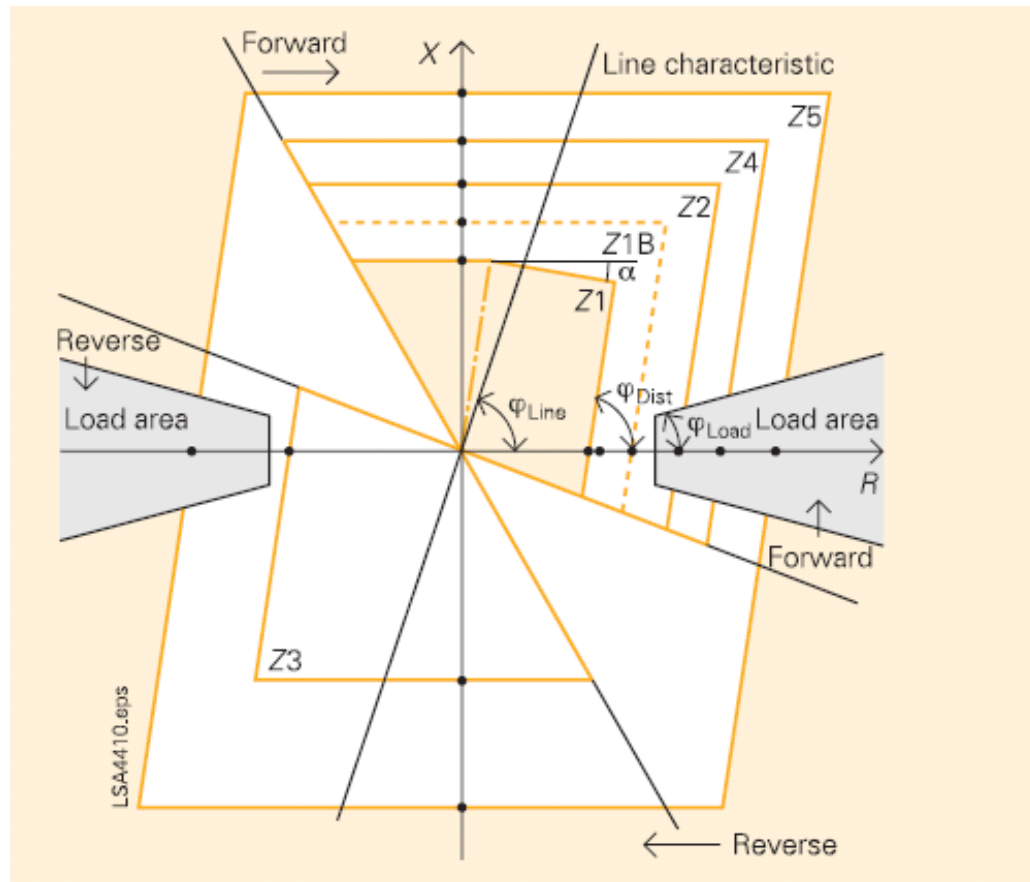


Fig. 27 Quadrilateral zone diagram

20/05/2010

Relevadores con característica combinada.

Una característica de operación se puede definir en el plano de impedancia para líneas paralelas a los ejes de resistencia y reactancia las cuales se cruzan en un ajuste perpendicular a ellas de Z_K como se muestra en la fig siguiente:

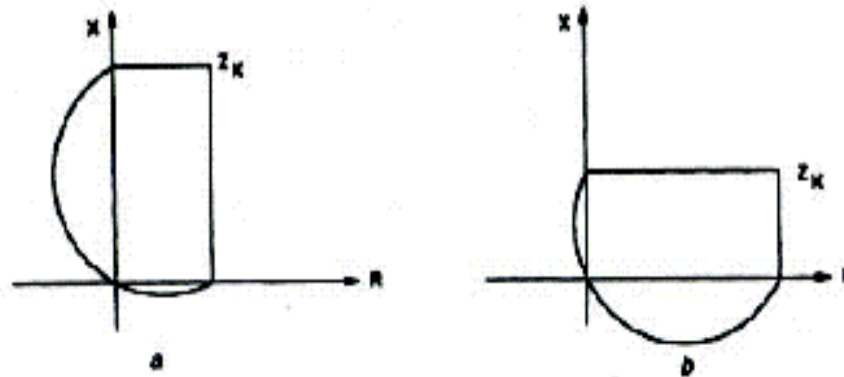
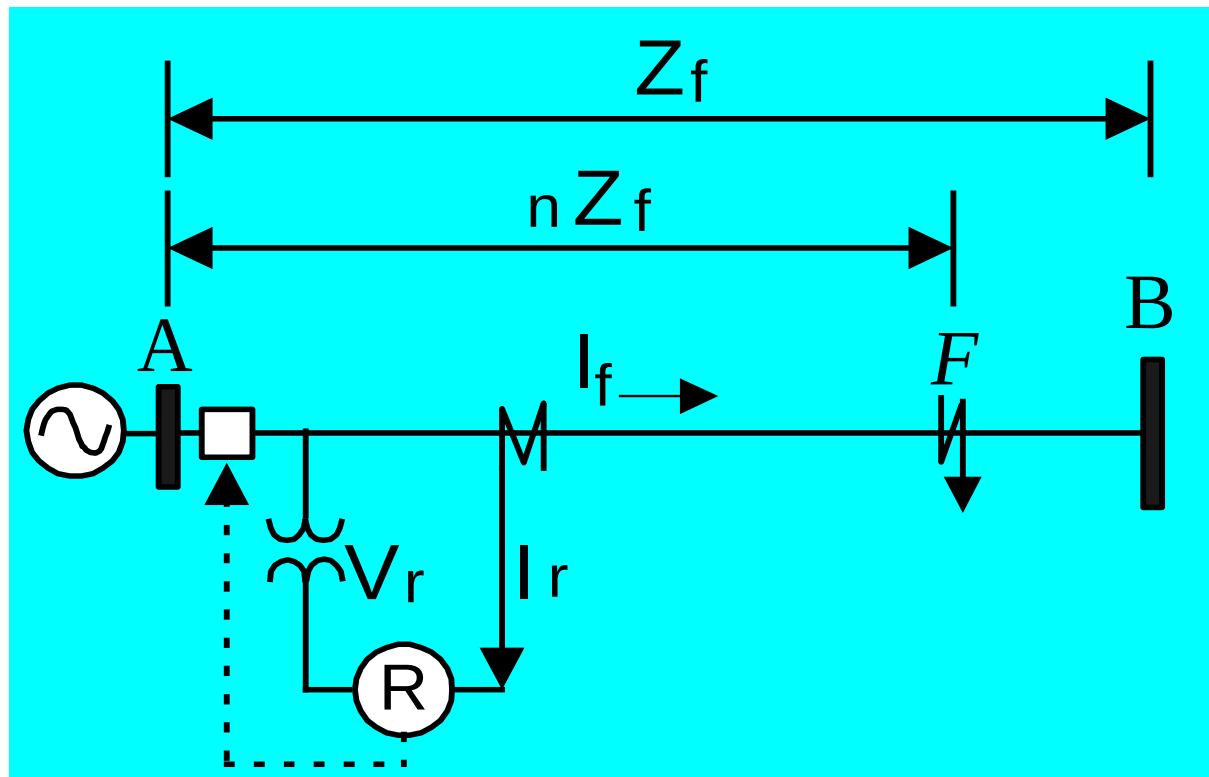


Figure 9.16 Typical combined operating characteristics

a R/X ratio = 0.5
b R/X ratio = 2

PRINCIPIO DE OPERACION

El principio de operación de la protección de distancia se muestra en la figura.



PRINCIPIO DE OPERACION

La ecuación representa la impedancia medida o "vista" por los relevadores de distancia (Z_r).

Durante cortocircuitos trifásicos la impedancia medida Z_r coincide con la impedancia de la sección de la línea comprendida entre el punto de la ubicación del relevador y del cortocircuito, esto se cumple si no existen contribuciones corriente en la sección protegida por el relevador.

$$Z_r = V_r / I_r$$

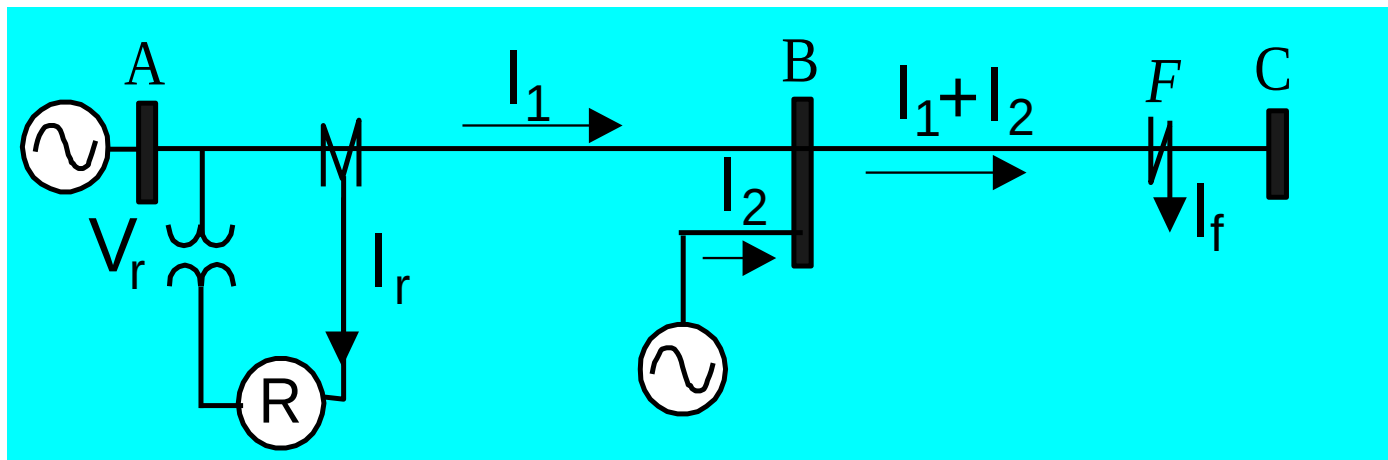
PRINCIPIO DE OPERACION

En un sistema radial, la relación de voltaje - corriente que mide un relevador de distancia ante una falla, es proporcional a la distancia física que existe entre la localización del relevador y el punto de falla.

En un sistema anillado, no siempre se cumple que la relación de voltaje - corriente proporcione la distancia física aproximada al punto de falla. Esto se debe a la contribución de corriente de otras líneas que inciden en nodos ubicados entre el relevador y la falla.

PRINCIPIO DE OPERACION

Se muestra el efecto “infeed”, este fenomeno se presenta cuando existe contribuciones de corriente de falla a un punto intermedio entre la ubicación del relevador y el punto de falla.



PRINCIPIO DE OPERACION

La corriente que mide el relevador es $I_r = I_1$

El voltaje que “ve” el relevador es.

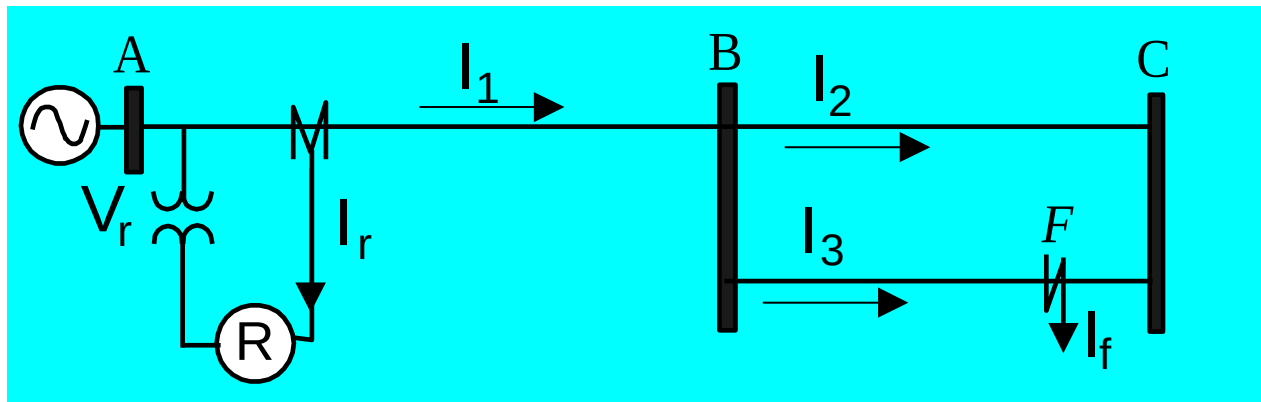
$$V_r = I_1 * Z_{AB} + (I_1 + I_2) Z_{BF}$$

$$Z_r = \frac{(I_1 Z_{AB} + (I_1 + I_2) Z_{BF})}{I_1}$$

$$Z_r = Z_{AB} + Z_{BF} + \left(\frac{I_2}{I_1} \right) Z_{BF}$$

PRINCIPIO DE OPERACION

Impedancia que mide un relevador en presencia del efecto “outfeed”.



$$Z_r = \frac{V_r}{I_1} = \frac{I_1 Z_{AB} + I_3 Z_{BF}}{I_1}$$

$$Z_r = Z_{AB} + \left(\frac{I_3}{I_1} \right) Z_{BF}$$

$$\left(\frac{I_3}{I_1} \right) \angle \perp$$

Ajustes para el relevador de impedancia (21)

Los relevadores de distancia son ajustados en base a la impedancia de secuencia positiva, desde el punto en el cual esta colocado el relevador hasta el punto de la línea a proteger.

La impedancia de línea es proporcional a la longitud de la línea de transmisión, la cual es apropiada para localizar el lugar de la falla, sin embargo, dicho valor es obtenido por el uso de tensión y corrientes medidos por los transformadores de instrumento los cuales alimentan a la protección (21).

Ajustes para el relevador de impedancia (21)

Los relevadores trabajan con señales secundaria, entonces la siguiente expresión es utilizada:

$$\frac{V_{prim}}{I_{prim}} = Z_{prim} = \frac{V_{sec} \times RTP}{I_{sec} \times RTC}$$

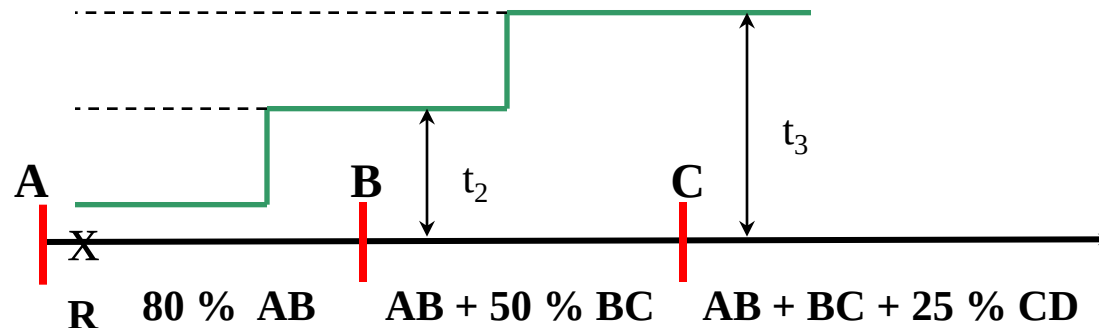
Entonces,

$$Z_{sec} = Z_{prim} \times (RTP / RTC)$$

Donde: RTP y RTC; son las relaciones de transformación de TC y del TP, respectivamente.

Ajustes para el relevador de impedancia (21)

Generalmente, tres zonas de protección son empleadas para la protección de líneas de transmisión, tal como se muestra en la figura.



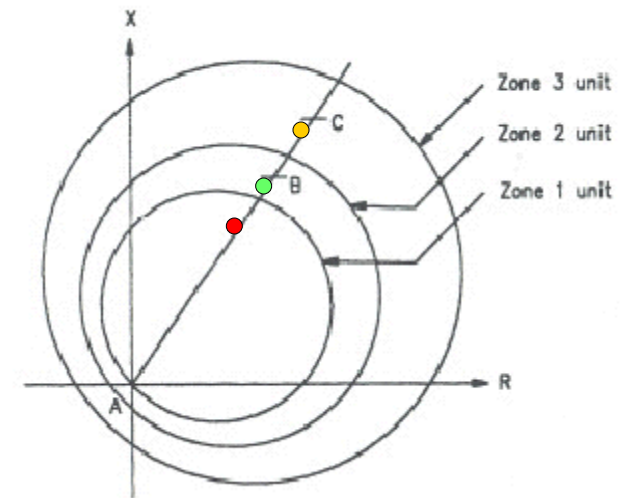
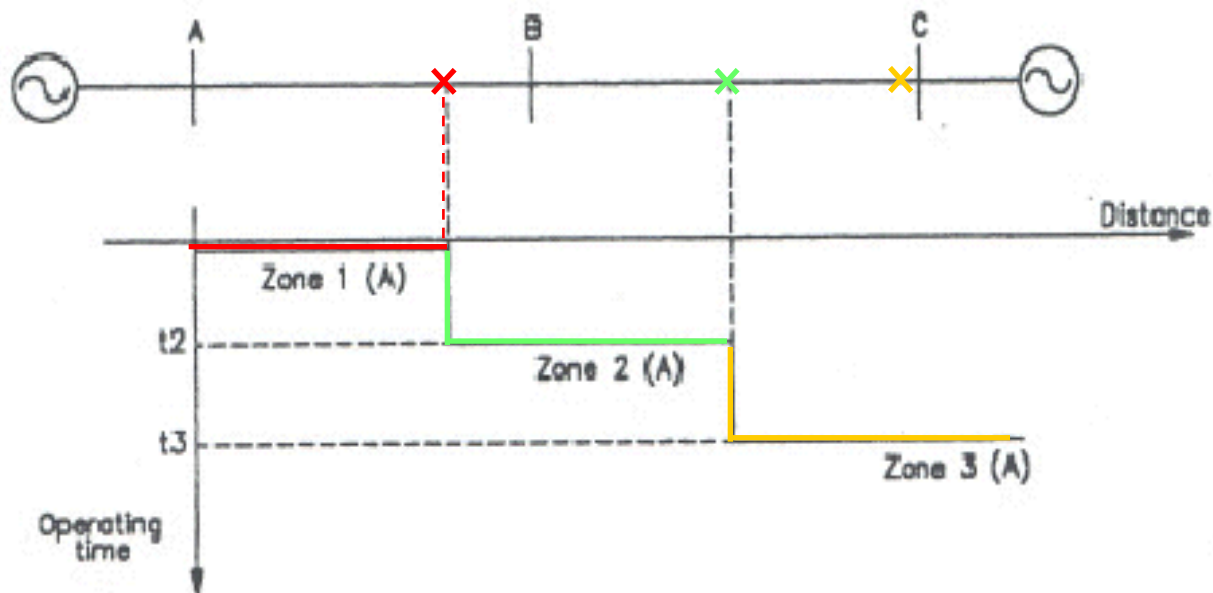
Zonas de protección de distancia para un sistema radial

Ajustes para el relevador de impedancia (21)

Las zonas de protección son ajustadas de acuerdo al siguiente criterio:

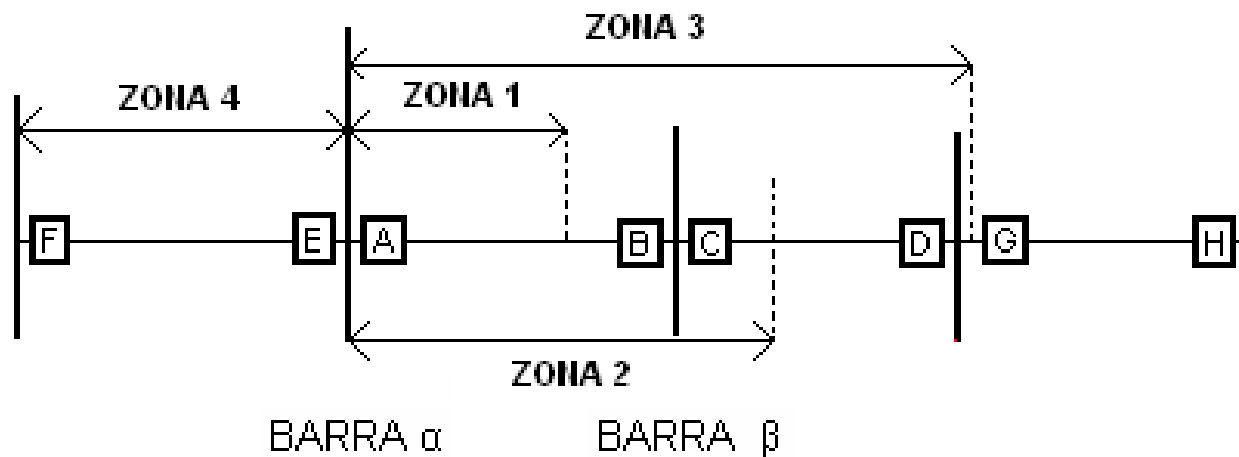
- **Zona 1.**- Esta zona es ajustada para proteger el 80 % y el 85 % de la longitud de la línea de protección.
- **Zona 2.**- Esta zona es ajustada para proteger el 100 % de la línea, mas el 50 % de la longitud de la línea adyacente más corta.
- **Zona 3.**- Esta zona es ajustada para proteger el 100 % de la segunda línea, mas el 25 % de la longitud de la siguiente línea adyacente más corta.

PRINCIPIO DE OPERACION



Relevador de distancia 21L y 21G

- coordinación entre el 67N y esquemas del relevador de distancia
- 67N nunca debe abarcar mas de la zona 1 del relevador de distancia
- 67N debe de operar con un poco mas de tiempo en la zona 2
- lo anterior demuestra que el 67N es un respaldo del 21



1ª ZONA 80% de la línea propia

2ª ZONA 50% de la línea adyacente

3ª ZONA 100% de la línea adyacente mas el 25% de la línea siguiente

4ª ZONA 25% de la línea hacia atrás

Ajustes típicos para LT's de Un de 230kV.

Alcances típicos con tres zonas de protección

Alcance de la zona 1

- Elemento instantáneo con ajuste al 80%
- No rebasar el límite de la relación de R/X

Alcance de la zona 2

- Ajustar al 50% para líneas cortas; con tiempo de operación de 350 a 400ms.
- Vigilar coordinación en tiempo con transformadores evitando buses de baja y alta.

Alcance de la zona 3

- Zona de respaldo, por lo cual su alcance debe ser seleccionado con atención.
- Ajustar la zona para que respalde a la línea mas larga y su tiempo de operación esta entre los 700 a 800ms. Con infeed máximo.
- Respalda la zona 2 con diferentes condiciones de infeed.
- Coordinar los tiempos de operación con TR's atendiendo lado de baja y alta.
- Analizar la operación tanto para relevadores de fase como los de tierra.

Ajustes típicos para LT's de Un de 400 kV

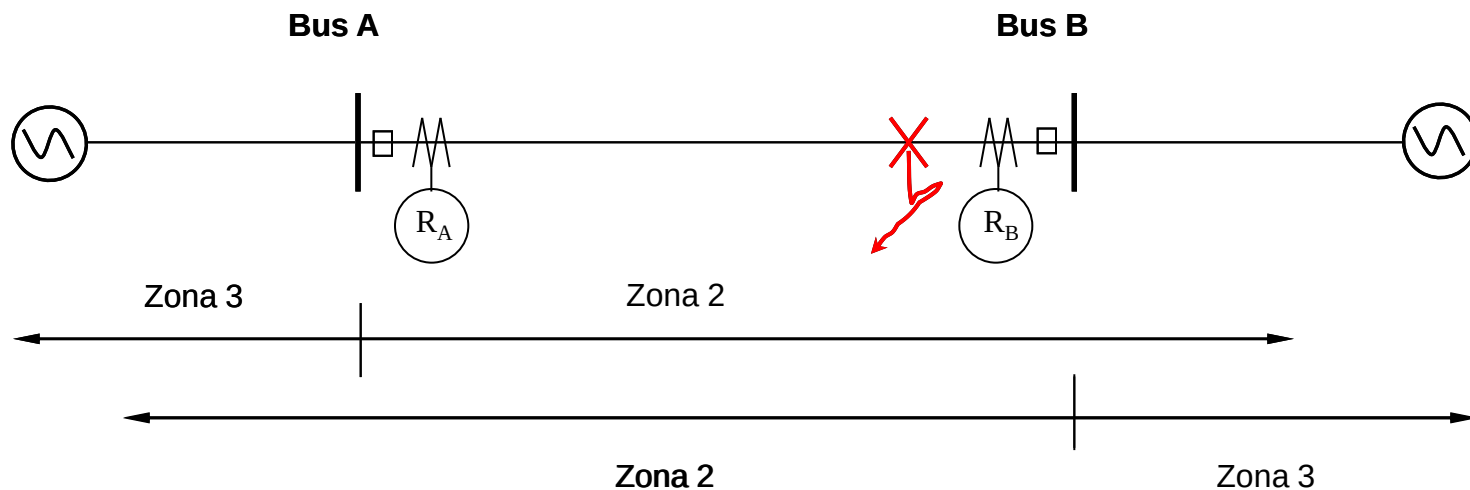
- Generalmente este esquemas de protección tiene lógica POTT.
- 4 zonas de protección.

Alcance de la zona 1

- Igual que a la zona 1 (líneas de 230kV).

Alcance de la zona 2

- La zona 2 se ajusta considerando un alcance de 120% de la línea, garantizando que las unidades de fase y tierra operen para cualquier tipo de contingencias en la línea.
- Aplicación de la lógica POTT.



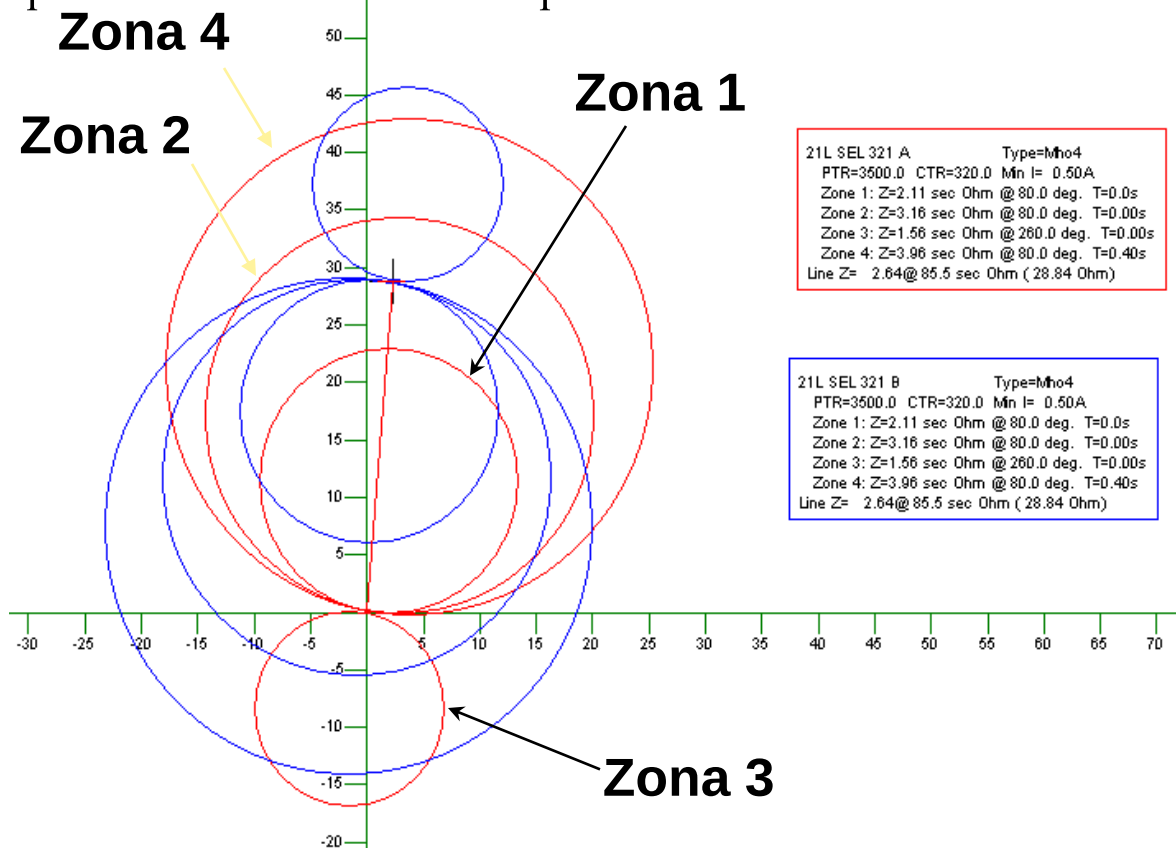
Ajustes típicos para LT's de U_{nominal} de 400 kV

Alcance de la zona 3

- Zona de bloqueo
- Ve fallas hacia atrás
- Ajuste para alcances del 2/3 superior al alcance de la teleprotección del bus frontal

alcance de la zona 4

- se ajusta con el alcance típico de la zona 2
- tiempo de operación de 350 a 400ms.
- Tiene lógica de disparo.



Criterios de coordinación del relevador 21L / 21G

- Selección de la RTC igual que en los casos anteriores.
- Aspectos que deben tomarse en cuenta al ajustar la protección de distancia.
 - Efecto resistivo
 - Vector carga del sistema.
- Para ajustes de fallas entre fases 21L: $R/X = 1; 1,5$
- Para ajustes de fallas a tierra 21G. $R/X = 2; 2,5; 3; 3,5$; considerar (resistencia de arco)
- Calculo de la resistencia de arco en LT's
- Fallas entre fases

donde:

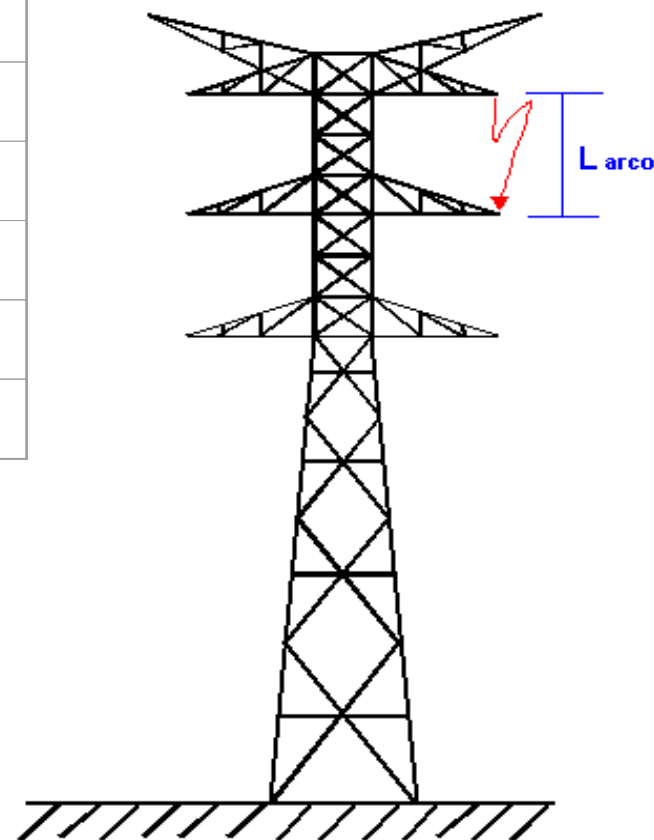
$$R_{arco} = \frac{V_{arco}}{I_{falla\ minima}}$$

$$V_{arco} = (2\ 500\ V / m)(L_{arco})$$

$$L_{arco} = Longitud\ del\ arco.$$

Distancias Típicas de Conductor a Conductor

Nivel de Tensión	Configuración de la LT	Distancia entre conductores
400 kV	Horizontal	12,5 m
	Vertical	10,0 m
230 kV	Horizontal	7,00 m
	Vertical	6,45 m
115 kV	Horizontal	4,00 m
	Vertical	3,70 m



Distancia típicas de conductor a torre de transmisión

Nivel de Tensión	Distancias típicas para cadenas tipo V
400 kV	3,6 m
230 kV	2,19 m
115 kV	1,022 m

Falla de fase a tierra

Consideraciones

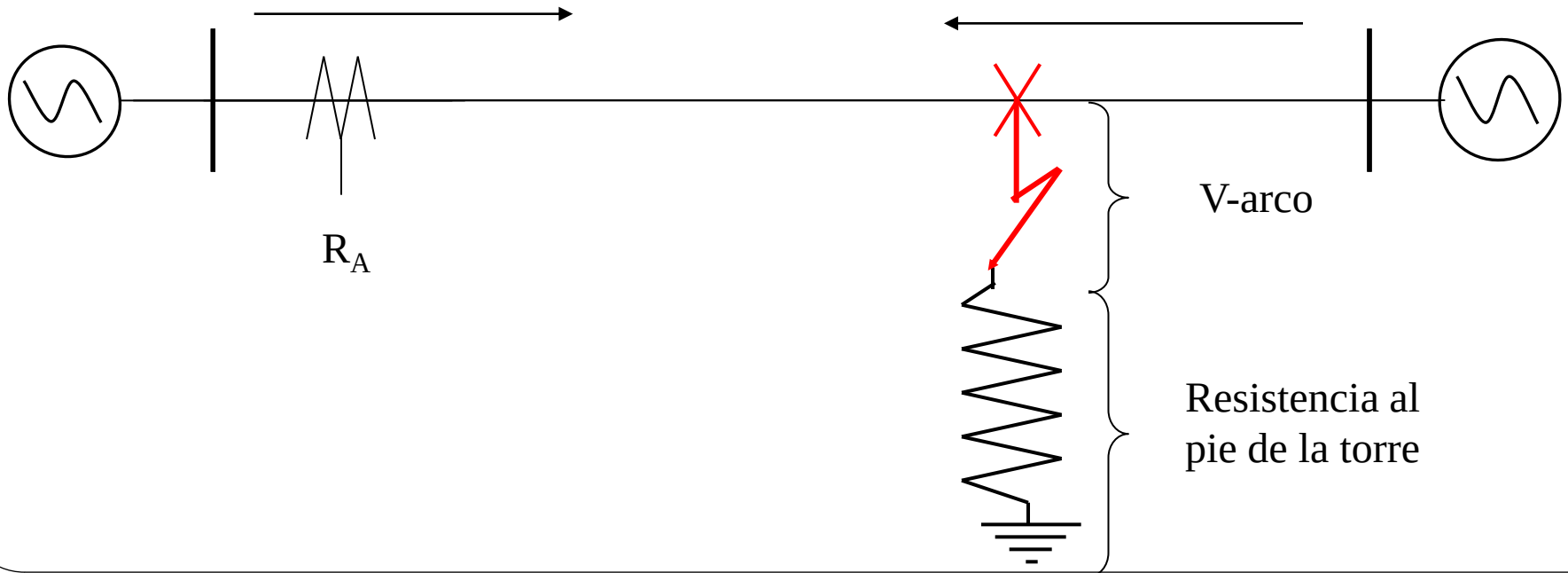
- Voltaje de arco
- Resistencia al pie de la torre (valor máximo $10\ \Omega$)
 - Relación de aportación a la falla

$$R_g = R_{pt} + R_{-arco}$$

$$R_g = \frac{1.2 * R_g * (RTC / RTP)}{1 + K_0}$$

I 1

I 2



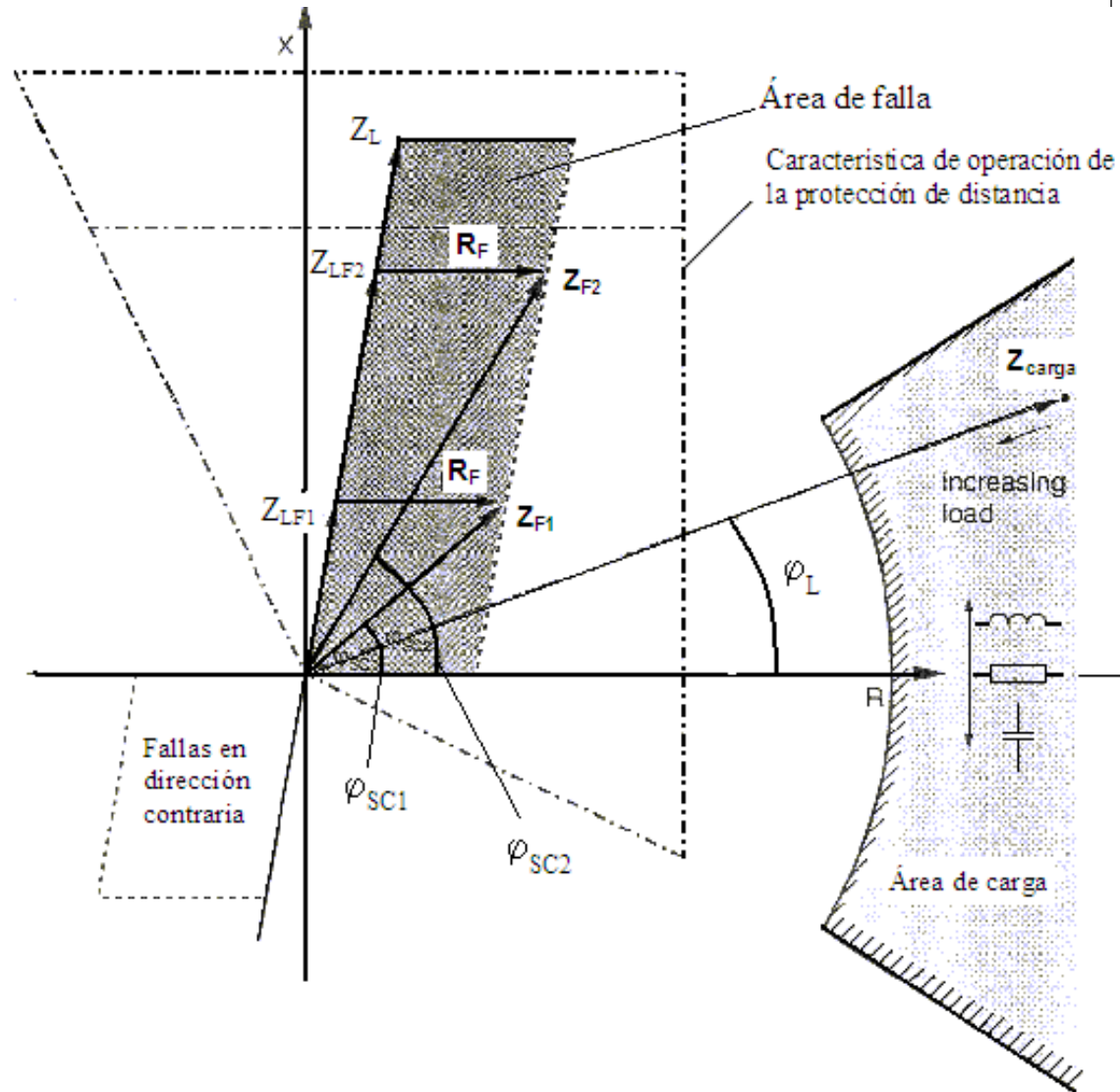
Influencia del vector carga

Comportamiento de la protección con valores de impedancia.

Depende de la potencia real y la potencia reactiva.

Cuando el arco resistivo o la resistencia de falla esta presente en una falla, el componente resistivo adicional R_F es agregado a la impedancia de la línea.

φ_{SC} es el ángulo de C.C. Entre la I c.c. Y el voltaje de c.c.



Análisis de la Protección de Distancia en LT de 400kV.

21G SEL 321 LT-AB Type=Quad4
PTR=3500.0 CTR=320.0 Min I= 0.50A
Char ang= 75.0deg, Dir blinder= 75.0deg
Zone 1: X=2.20 sec Ohm, R+=3.00,R=-3.00 T=0.0s
Zone 2: X=3.16 sec Ohm, R+=4.00,R=-4.00 T=0.00s
Zone 3: X=1.56 sec Ohm, R+=6.00,R=-6.00 Rev. T=0.00s
Zone 4: X=3.96 sec Ohm, R+=7.00,R=-7.00 T=0.40s
Line Z= 2.64@ 85.5 sec Ohm (28.84 Ohm)

Fault Description:
See table in TTY window.

