RELES DE DISTANCIA

Es la forma mas comun de protección en líneas de transmision de alto voltaje, las lineas tienen su impedancia por kilómetro, y usando este valor y comparandolo con el voltaje y la corriente la distancia a la falla puede ser determinada.

El código ANSI para los reles de protección a distancia es el 21, este tambien es llamado relé de impedancia

A diferencia de las protecciones para fase y neutro convencionales, la ventaja de la proteccion de distancia es que la cobertura de la falla del circuito a proteger es virtualmente independiente de las variaciones de la impedancia de la fuente.

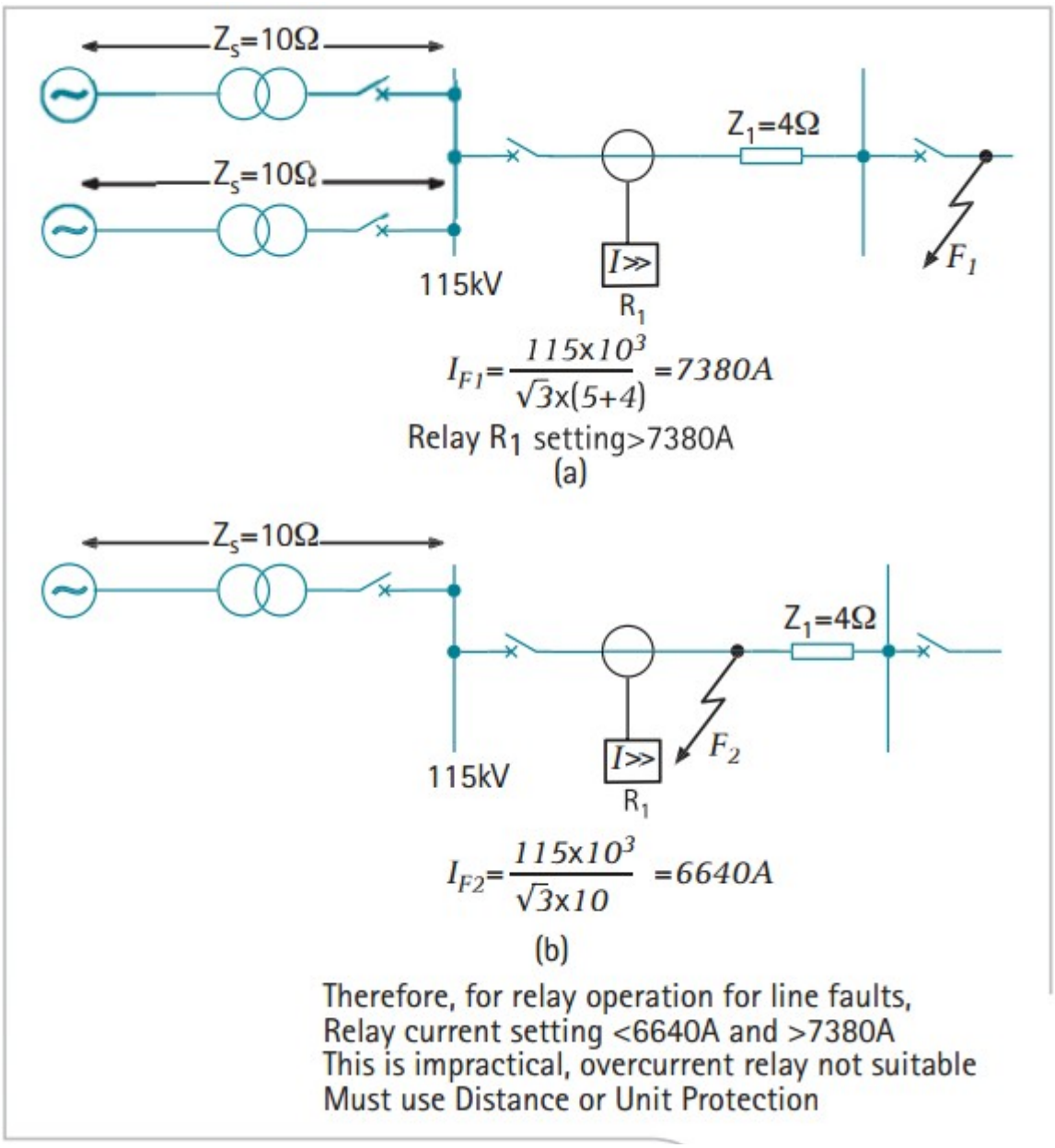


Fig. Ventajas de la proteccion de distancia frente a la proteccion de sobrecorriente convencional.

La Impedancia de una linea de Transmisión es proporcional a su longitud, para la medicion de distancia es apropiado usar un relé capaz de medir la impedancia de una línea hasta un punto determinado (reach point). Este relé es el rele de distancia y es diseñado solo para operar con fallas que pudieran ocurrir entre la locacion del relé y el seleccionado reach point, dando una discriminacion para fallas que pudieran ocurrir en diferentes secciones de la linea.

El principio básico de operación de la protección a distancia involucra la división del voltaje en el punto donde se encuentra el relé entre la corriente medida, la impedancia aparente calculada es comparada con la impedancia del reach point, si la impedancia medida es menor que la impedancia del reach point, se asume que existe una falla entre el relé y el reach point.

El reach point del relé es el punto a lo largo de la impedancia de la linea localizado en la frontera característica del relé, el cual es dependiente de la relacion de voltaje, corriente y angulol de fase entre ellos, lo cual nos permite representarlo en un diagrama R/X. La posición de las impedancias del sistema de potencia, vistas por el relé durante fallas, oscilaciones de potencia y variaciones de carga tambien pueden ser representadas en el mismo diagrama, de esta manera el desempeño del relé en presencia de fallas del sistema y perturbaciones puede ser estudiado.

Desempeño del Relé
El desempeño del relé de distancia esta definido en términos de precisión de alcance y tiempo de operación, la precision de alcance es una comparacion del alcance ohmico del relé durante condiciones normales de operacion con un valor predeterminado en ohms. La precision de alcance depende particularmente del nivel de voltaje presente en el relé bajo condiciones de falla, las técnicas de medición de la impedancia empleadas en diseños especificos del relé tambien tienen impacto.

Los tiempos de operacion pueden variar con la corriente de falla, con la posicion de la falla respecto a la posicion del relé en el sistema de transmisión y en el punto de la onda de voltaje al cual ocurre la falla.

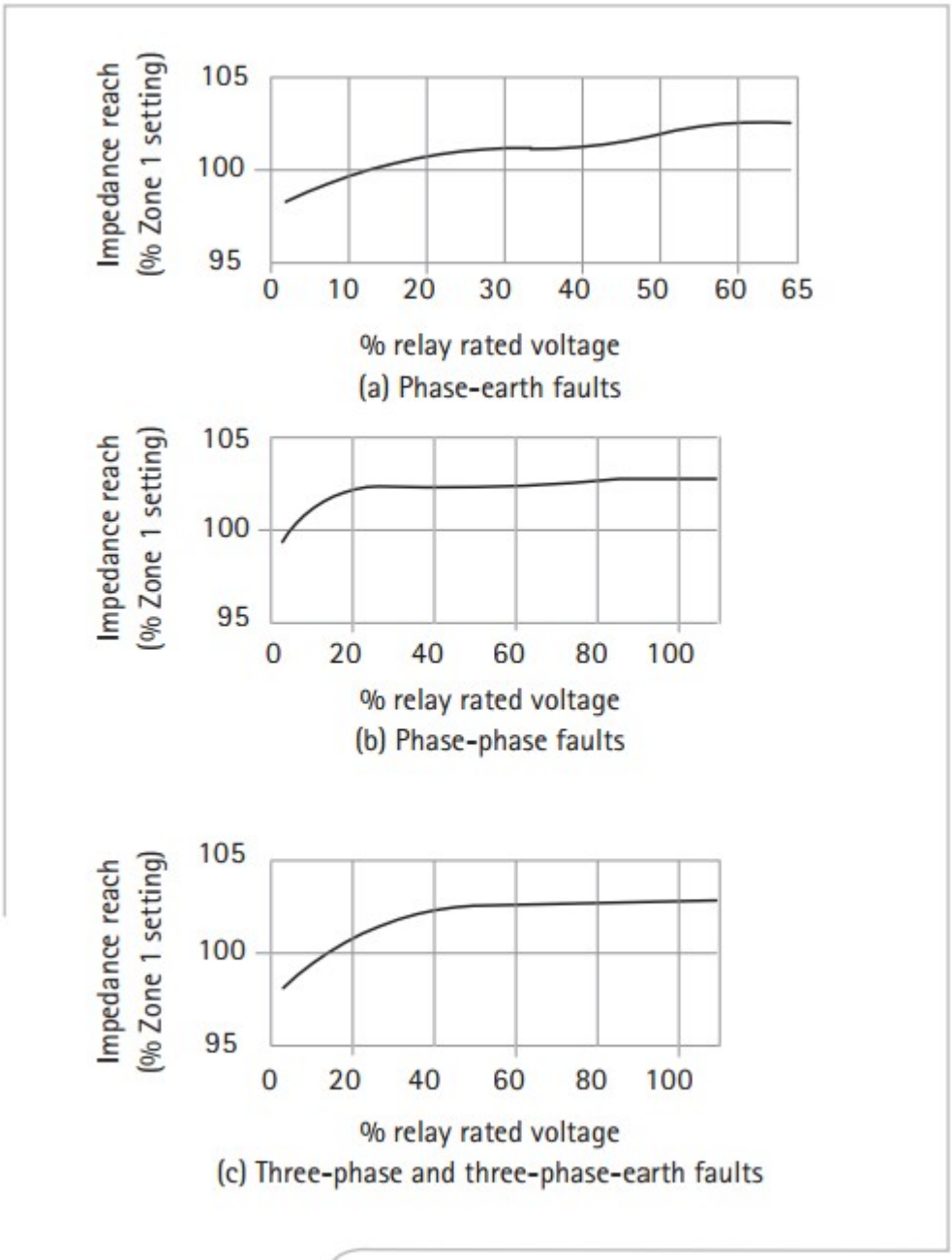
Dependiendo de la tecnica de medición empleada en el diseño particular del relé, errores transitorios en las señales de medida tales como las producidas por transformadores, pueden tambien retrasar adversamente el tiempo de operacion para fallas cercanas al reach point.

Reles electromecanicos o de distancia estática
Con los relés electromecanicos y diseños estaticos anteriores, la magnitud de las cantidades de entrada particularmente influyen en las dos caracteristicas del desempeño, la precision de alcance y el tiempo de operacion, comercialmente es usual presentar la

informacion del desempeño del relé por curvas voltaje/alcance, como se muestra en la figura y las relaciones Tiempo de operacion/posicion de la falla en curvas con varios valores de relacion de impedancias del sistema (S.I.R.´s) como se muestra en la figura

$$S.I.R = \frac{Z_S}{Z_L}$$

Donde:
Zs = impedancia fuente del sistema, detras de la posicion del relé
Zl = impedancia de la linea equivalente al alcande predeterminado del rele



caracteristicas tipicas de impedancia de precision para la zona 1

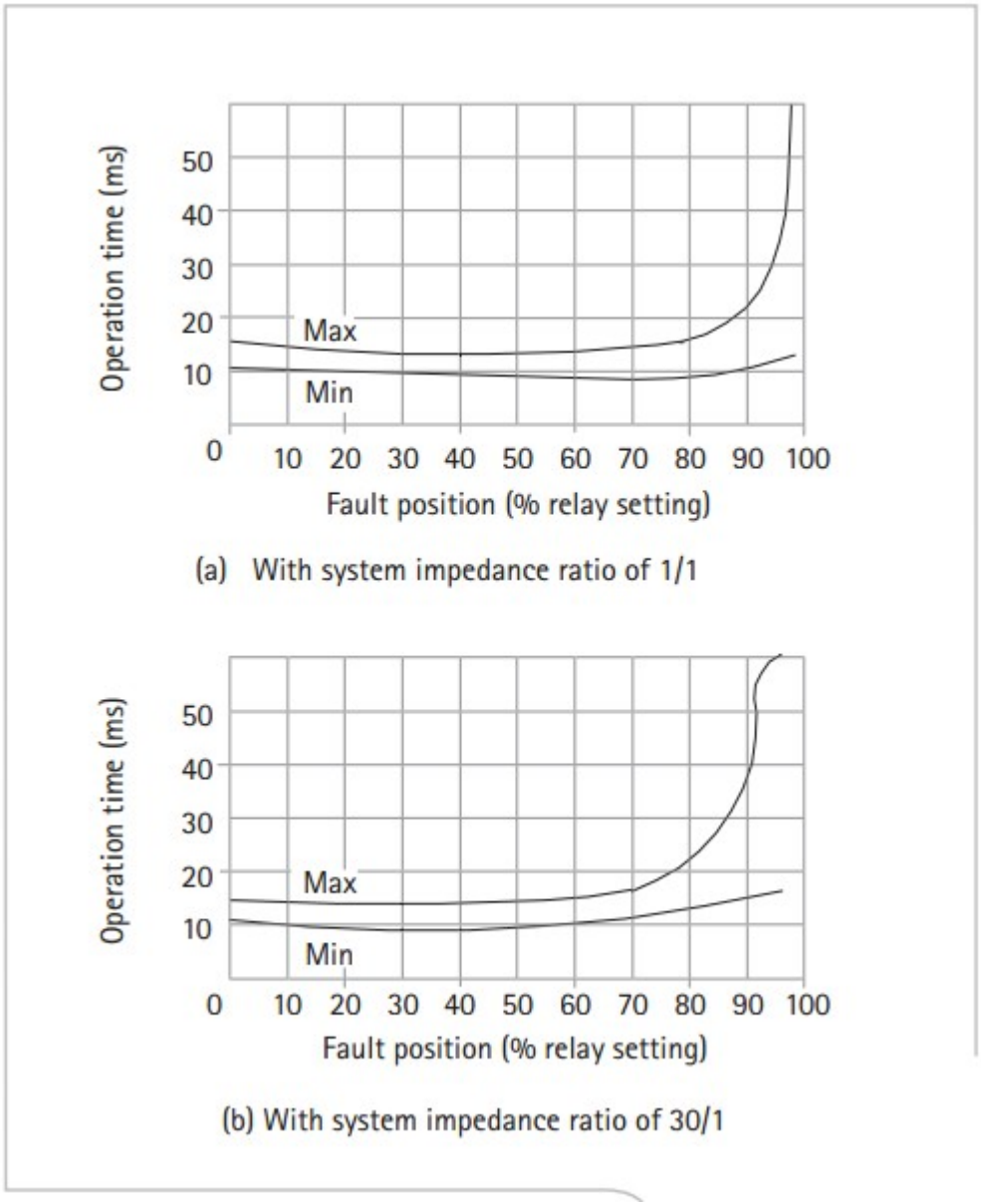
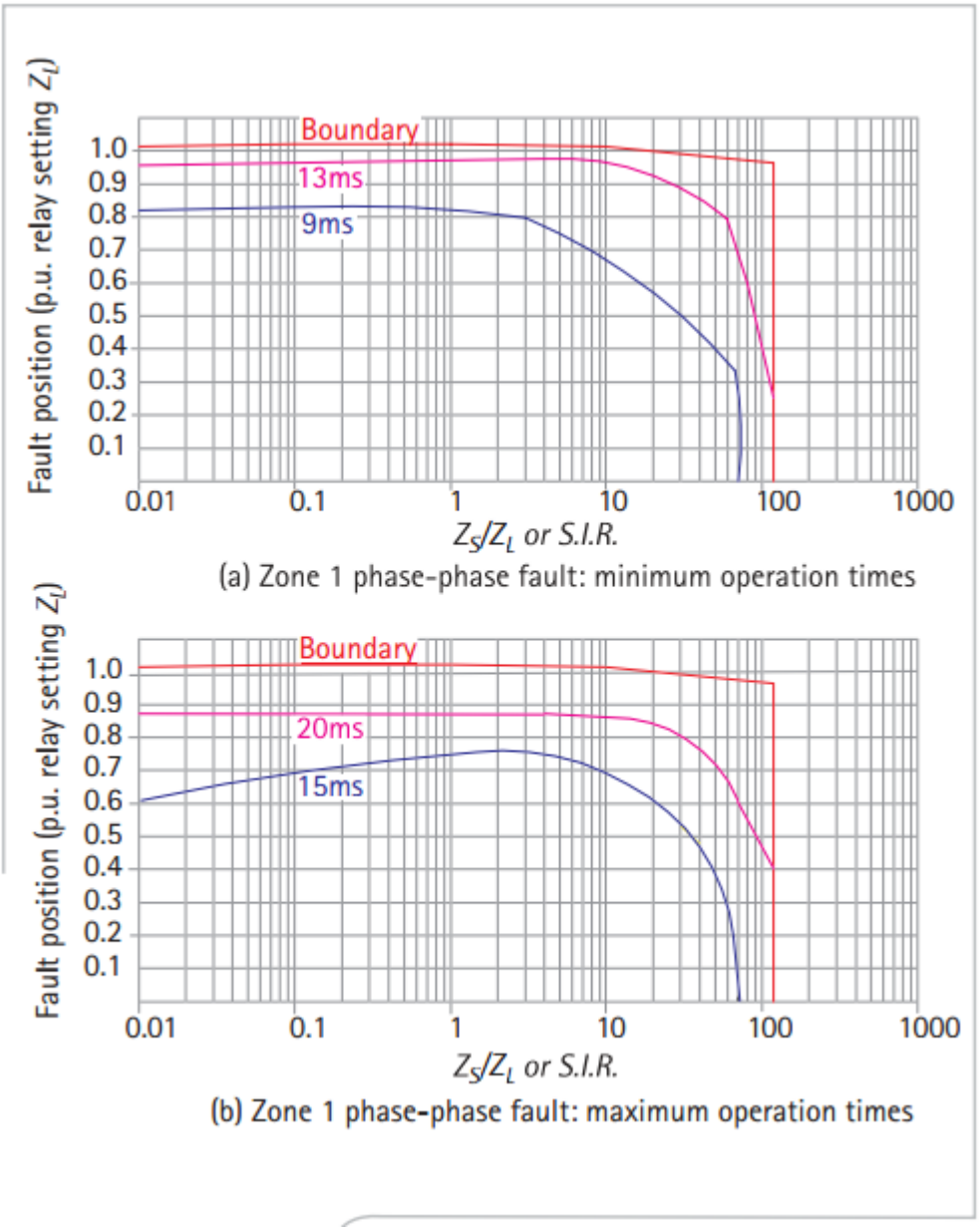


Fig. Caracteristicas tipicas de tiempo de operación para la zona 1, fallas de Fase a Fase

Alternativamente, la informacion anterior es combinada en una familia de curvas, donde la posición de la falla, expresada como un porcentaje del ajuste del relé es ploteada contra la relacion entre las impedancias de fuente y línea, tal como se muestra en la figura



RELES DE DISTANCIA DIGITALES/NUMERICOS

Los relés de distancia digitales tienden a tiempos de operación mas consistentes, éstos son por lo general ligeramente mas lentos que los diseños antiguos de relés de distancia en operacion en las mejores condiciones, pero sus maximos tiempos de operacion son tambien pequeños bajo condiciones adversas de formas de onda o por condiciones de fallas en la frontera.

RELACION ENTRE EL VOLTAJE EN EL RELE Y LA RELACION Zs/Zl

Un circuito simple y generico se muestra en la figura, el cual puede representar una condicion de falla en un circuito de potencia trifásico, el voltaje V aplicado a la impedancia es el voltaje de circuito abierto del sistema de potencia. El punto R representa

la posicion del relé, Ir y Vr son la corriente y el voltaje medido por el rele.
Las impedancias Zs y Zl están descritas como la impedancia fuente y la impedancia de línea respecto a la posicion del relé. La impedancia fuente Zs es una medida del nivel de la falla en el punto donde se encuentra el relé, para fallas que involucran el cable de puesta a tierra dicha impedancia es dependiente del metodo de puesta a tierra utilizado aguas abajo o detras de la posicion del relé. La impedancia de linea Zl es una medida de la impedancia de la seccion a proteger. El voltaje Vr aplicado al relé, es por lo tanto, Ir.Zl . Para una falla en el reach point, esto puede ser alternativamente expresado en terminos de la relacion Zs/Zl por medio de las siguientes expresiones.

$$V_R = I_R * Z_L$$

Donde

$$I_R = \frac{V}{Z_S + Z_L}$$

Por lo tanto:

$$V_R = \frac{Z_L}{Z_S + Z_L} * V$$

Lo que tambien se puede expresar como:

$$V_R = \frac{1}{(Z_S / Z_L) + 1} * V$$

Las relaciones antes descritas entre Vr y Zs/Zl se ilustran en la figura, es valida para todo tipo de cortocircuitos demostrando algunas reglas simples, estas son:

I. Para las fallas de fase, V es el voltaje entre Fases de la fuente y la relacion Zs/Zl es la relacion de impedancias de secuencia positiva entre la fuente y la linea. Vr es el voltaje de fase aplicado al relé e Ir es la corriente de fase del mismo, para las respectivas fallas de fase.

$$V_R = \frac{1}{(Z_S / Z_L) + 1} * V_{fase}$$

II. Para fallas de tierra, V es el voltaje de fase a neutro de la fuente y Zs/Zl es una relacion compuesta que involucra las impedancias de secuencia cero y secuencia positiva. Vr es el voltaje fase a neutro aplicado al relé y Ir es la corriente en relé para la fase en falla.

$$V_R = \frac{1}{(Z_S / Z_L)(\frac{2+p}{2+q})+1} * V_{fase-neutro}$$

Donde

$$Z_s = 2Z_{S1} + Z_{S0} = Z_{S1}(2+p)$$

$$Z_L = 2Z_{L1} + Z_{L0} = Z_{L1}(2+p)$$

Y

$$p = \frac{Z_{S0}}{Z_{L0}}$$

$$q = \frac{Z_{S0}}{Z_{L1}}$$

ZONAS DE PROTECCION

Una cuidadosa seleccion del ajuste del alcande y los tiempos de disparo para las varias zonas de medida, habilita una correcta coordinación entre los reles de distancia en sistemas de potencia.

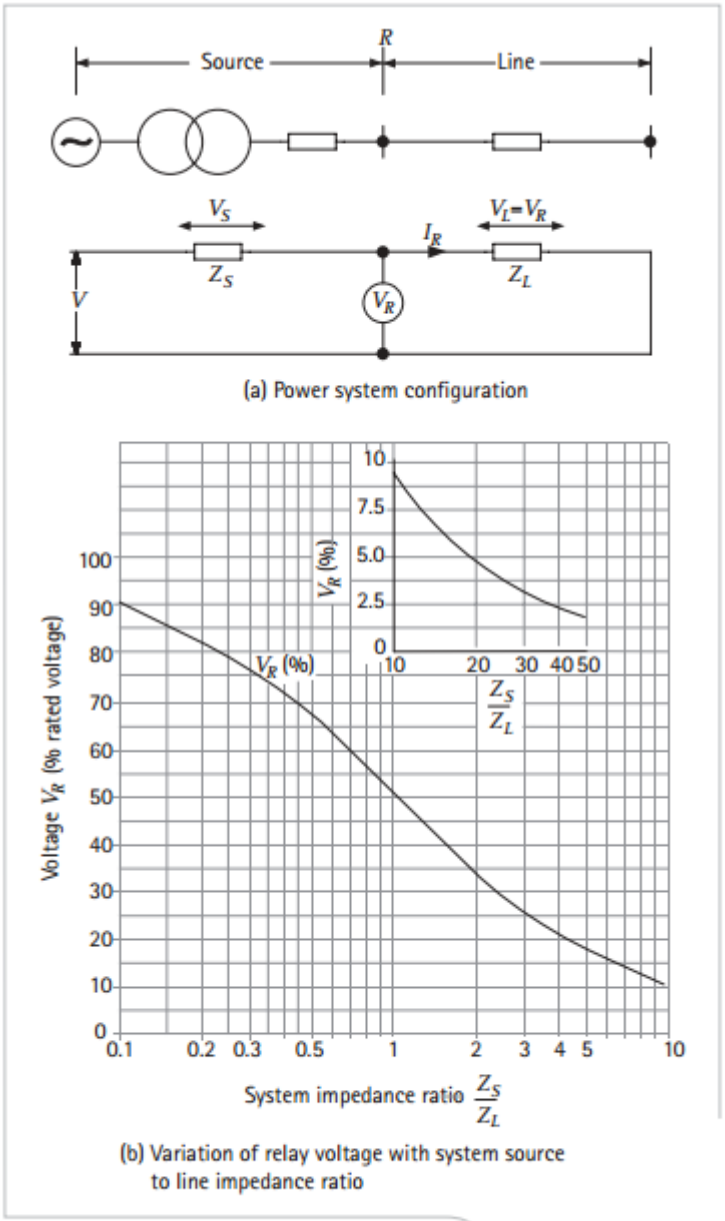


Figure 11.5: Relationship between source to line ratio and relay voltage

Ajuste de zona 1

Los relés electromecanicos usualmente tienen ajustado un alcande de hasta 80% de la impedancia de la linea protegida. Para los relés digitales los ajusten de hasta un 85% son seguros. Los resultantes 15-20% son margenes de seguridad que aseguran que no hay riesgo que en la zona 1 se presente un sobrealcance de la linea debido a errores en los transformadores de corriente y voltaje, impresiciones en la los datos de la impedancia de la línea.

Ajuste de zona 2

Para asegurar un cubrimiento completo de la linea con cierta tolerancia para las fuentes de error descritas en la zona 1 la proteccion debe ser al menos de 120% de la impedancia de la linea a proteger, en muchas aplicaciones es practica común establecer el alcance de

la zona 2 igual al de la linea a proteger mas el 50% de la linea adyacente mas cercana. Cuando sea posible esto asegura que el maximo alcance efectivo de la zona 2 no se extienda mas alla del alcance de la zona 1 de la linea adyacente, esto evita la necesidad de una regulacion en ajustes de tiempo entre los relés situados aguas arriba y aguas abajo. El disparo de la zona 2 debe ser retrasado en el tiempo para asegurar la clasificacion con los reles primarios aplicados a circuitos adyacentes que caen en el alcance de la zona 2. Asi se logra una completa cobertura de una seccion de la linea, con una rápida eliminacion de fallos en el primer 80-85% de la línea y otra un poco lenta eliminacion de fallos en la seccion restante de la linea.

Ajuste de zona 3
El apoyo de proteccion remota para todas las fallas en lineas adyacentes puede ser proveido por una tercera zona de proteccion que esta retrasada en el tiempo para discrimirar la proteccion de la zona 2 mas el tiempo de disapro de los circuit breaker pra la linea adyacente. El alcance de la zona 3 debe ser ajustada al menos 1.2 veces la impedancia presentada al relé para una falla remota al final de la segunda linea.

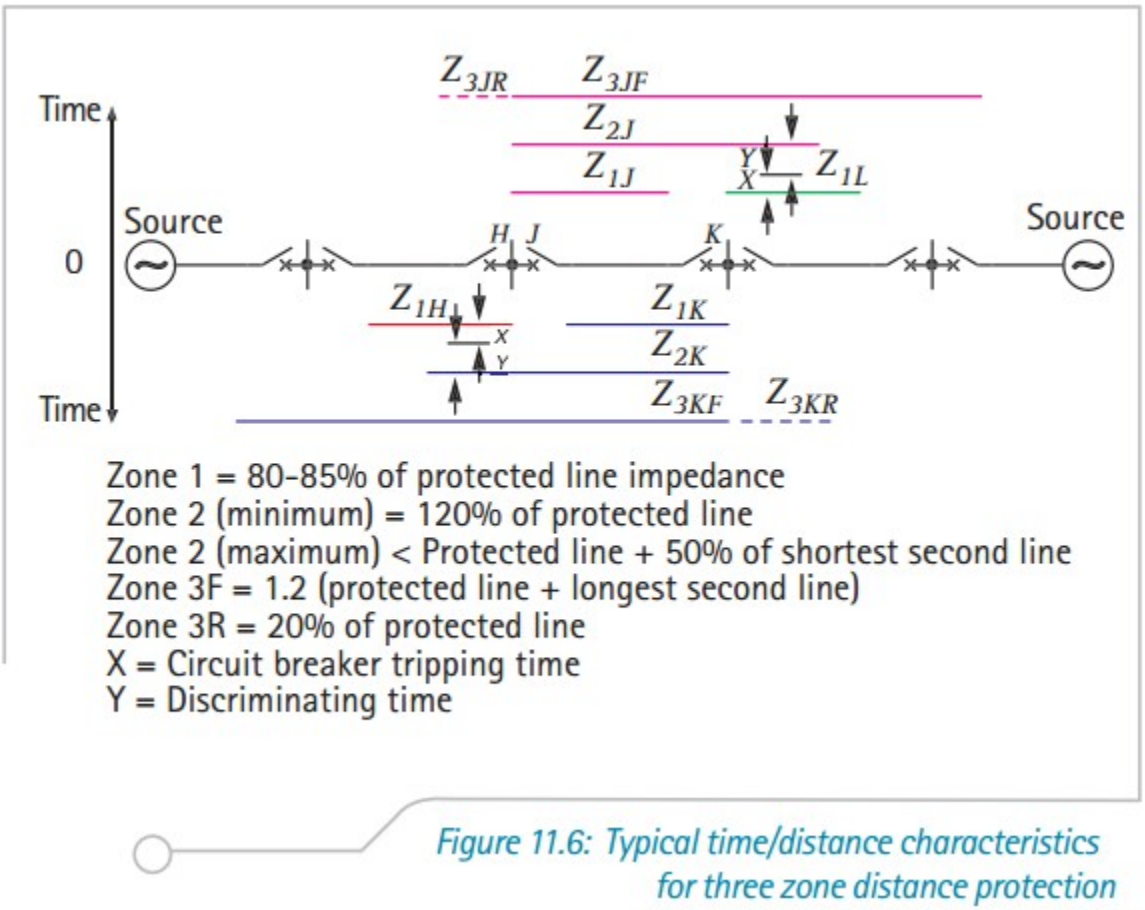


Figure 11.6: Typical time/distance characteristics for three zone distance protection

CARACTERISTICAS DEL RELE DE DISTANCIA
Algunos relés numericos miden la impedancia absoluta de falla y luego determinan si la operación es requerida de acuerdo a los limites de impedancia definidos en el diagrama

R/X. Los reles tradicionales y los reles numericos que emulan los elementos de impedancia de los reles tradicionales no miden la impedancia absoluta, ellos comparan el voltaje de falla medido con una replica de voltaje derivado de la corriente de falla y el ajuste de la impedancia de la zona para determinar si la falla esta dentro o fuera de la zona. Los comparadores o algoritmos de los reles de distancia que emulan a los comparadores tradicionales, están clasificados de acuerdo a sus características polares, el numero de señales de entrada que poseen, y el método por el cual las comparaciones son realizadas son medidas.

Los tipos comunes comparan cualquiera de los dos, la amplitud relativa o el desfase de dos valores de entrada para obtener las caracteristicas operativas que son cualquiera de las dos, lineas rectas o circulos al ser ploteados es un diagrama R/X.

COMPARACION ENTRE LA AMPLITUD Y EL DESFASE
Los elementos de medicion de relé cuya funcionalidad esta basada en la comparacion de dos cantidades independientes son esencialmente cualquiera de los dos, comparadores de amplitud o de fase. Para los elementos de impedancia de un relé de distancia los elementos a comparar son el voltaje y la corriente medida por el relé. Hay muchas técnicas de comparación disponibles para realizar la medición, dependiendo de la tecnologia usada. Estos varian desde balanced-beam (comparacion de amplitud) e induction cup (comparacion de fase) ambos reles electromagneticos.

Cualquier tipo de impedancia característica obtenible con un comparador es tambien obtenible con el otro, la adicion o substracción de señales para un tipo determinado de comparador produce la señal requerida para obtener una caracteristica similar usando el otro tipo. Por ejemplo, al comparar V e I en un comparador de amplitud resulta en una impedancia de caracteristica circular centrada en el origen del diagrama R/X, Si la suma y diferencia de V e I son aplicadas al comparador de fase el resultado es una caracteristica similar.

Caracteritica de impedancia plana
Esta caracteristica no toma en cuenta el angulo de desfase entre el voltaje y la corriente aplicados, debido a esto al plotear la impedancia, esta se caracteriza por ser un circulo en el diagrama R/X con su centro en el origen de coordenadas y un radio igual al ajuste del relé en ohms, la operacion del sistema ocurre para todo valor de impedancia inscrita dentro del circulo descrito.

Esta característica del relé se describe en la fig.11.7, este es por lo tanto no direccional y en esta forma operara para todas las fallas a traves del vector AL y tambien para todas las fallas detras de las Barras hasta el valor de la impedancia AM. Hay que considerar que A es el punto donde se localiza el Relé y RAB es el ángulo por el cual la corriente de falla se ralentiza con respecto al voltaje aplicado en el relépara una falla en la linea AB. RAC es el ángulo equivalente de adelanto para una falla en la linea AC. El vector AB representa la impedancia al frente del relé entre el punto de ubicación del rele (A) y el final de la linea (AB). El vector AC representa la impedancia de la linea AC detras del punto de ubicacion del relé, AL repesenta el alcance de la proteccion instantánea en la

zona 1 ajustada para cubrir del 80 al 85 % de la linea a proteger.

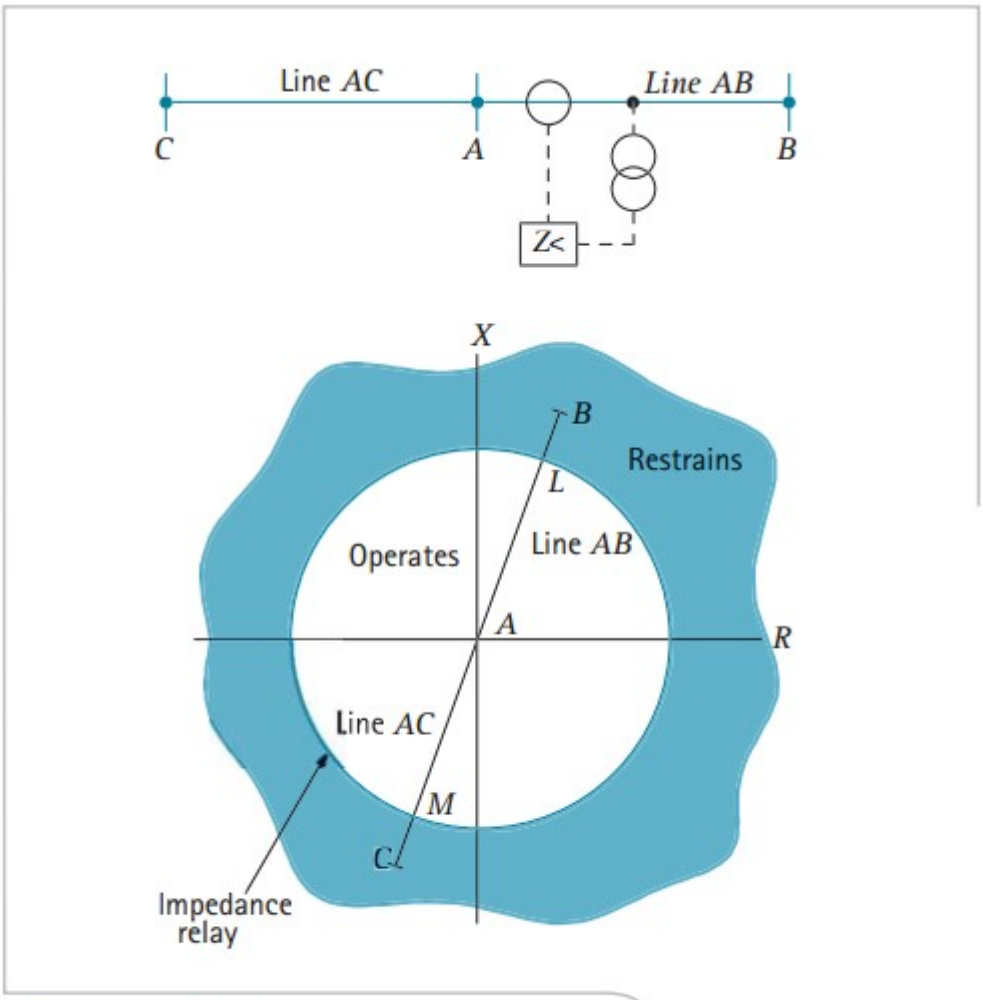


Figure 11.7: Plain impedance relay characteristic

Un relé usando esta características tiene tres importantes desventajas:

I. No es direccional, el relé verá las fallas en ambos flancos, tanto delante como detrás de su ubicacion, por lo tanto necesita un elemento direccional para ejecutar una correcta discriminación.

II. Posee una cobertura de resistencia de falla no uniforme

III. Es suceptible a variaciones de potencia y a cargas elevadas para una linea de gran longitud, debido a la gran area cubierta por el circulo de impedancia.

El control direccional es esencial para la calidad de discriminación en un relé de distancia. Para que el relé no se responsabilize por fallas fuera de la linea a proteger, esto

puede ser obtenido por la adición de un control direccional por separado, la grafica característica de un control direccional en el diagrama R/X es una linea Recta, asi la característica combinada del relé direccional y de impedancia es el semicirculo APQL mostrado en la figura 11.8

Si una falla ocurre en F, cerca a C en la linea paralela CD, la unidad direccional Rd en A restringirá debido a la corriente IF1, Al mismo tiempo, el relé de impedancia es prevenido de operar debido a la unidad Rd, si este control no esta provisto, la impedancia negativa leida en el relé podria operar antes de la abertura del circuit breaker C.

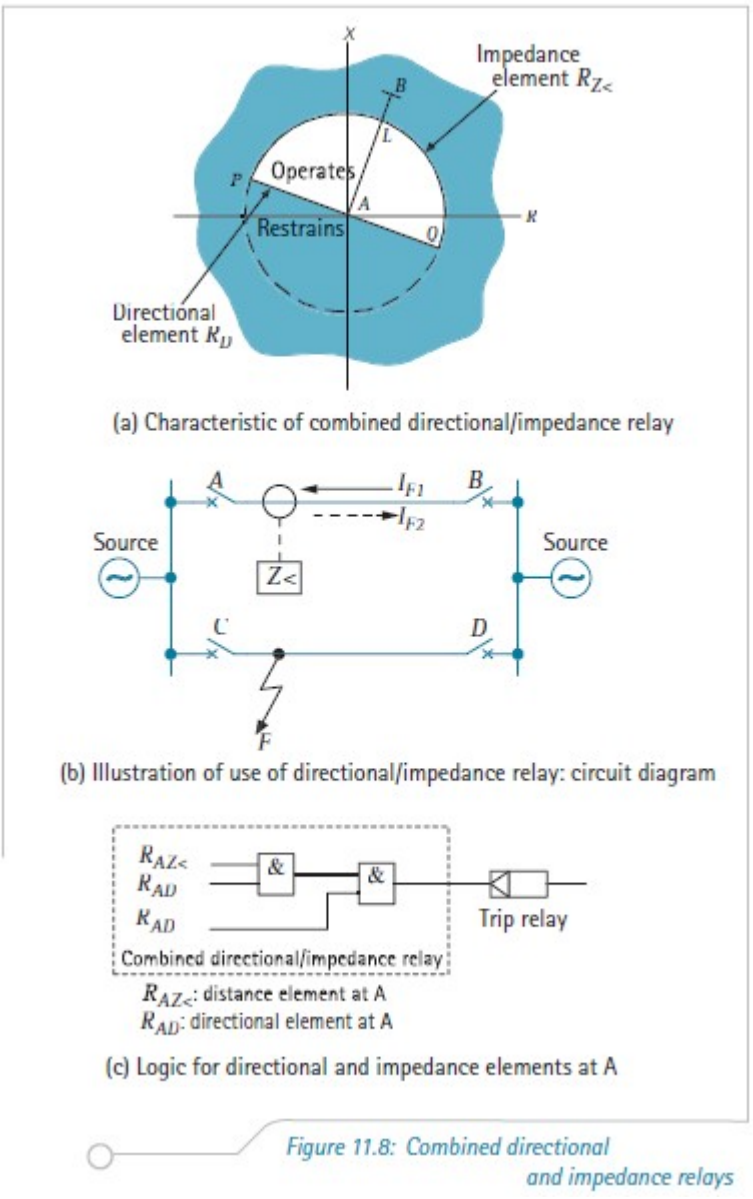


Figure 11.8: Combined directional and impedance relays

La inversion de la corriente a traves del relé desde IF1 hasta IF2 cuando C se abre puede resultar en un incorrecto disparo de la linea sana si la unidad direccional Rd opera antes de que la unidad de impedancia se reajuste. Este es un ejemplo de la necesidad de considerar la correcta coordinacion de los multiples Relés para alcanzar un exacto desempeño de los mismos durante condiciones de falla, en los relés antiguos esta condicion era conocida como la “Carrera de contactos”.

RELÉ MHO AUTOPOLARIZADO

El elemento de impedancia Mho es conocido generalmente como ambos debido a su caracteristica linea recta en el diagrama de admitancia. Este combina inteligentemente las

cualidades de discriminación de ambos, control de alcance y control de direccion, eliminando asi la “Carrera de contactos”, problema que ocurre generalmente al tener unidades de impedancia y direccion por separado.

Todo esto es alcanzado mediante la adicion de una señal de polarizacion, los Reles Mho son particularmente atractivos por razones económicas donde fueron usados reles electromecanicos, como resultado estos han sido empleados ampliamente alrederor del mundo por muchos años y sus avances y limitaciones ahora son muy bien entendidas. Por esta razon ahora son aun emulados en los algoritmos de algunos de los modernos relés numéricos.

La caracteristica de un relé de impedancia mho al ser ploteado en un diagrama R/X es un circulo cuya circunferencia pasa a traves del origen como se muestra en la figura 11.9(b), esto demuestra que el elemento de impedancia es inherentemente direccional y solo operara con fallas por delante del relé en direccion de la linea AB

La caracteristica de impedancia es ajustada por Zn, el alcance de la impedancia a traves del diametro y el angulo φ, el cual es el angulo de desplazamiento del diametro desde el eje R. El angulo φ tambien es conocido como el angulo caracteristico del Relé RCA. El relé opera para impedancias de falla Zf que puede ser ajustado dentro de sus caracteristicas.

Como sabemos la linea a proteger consta de resistencia e inductancia, el angulo de falla deberá ser dependiente de los valores relativos de R y X a la frecuencia de operación del sistema, Bajo condiciones de fallas por arco o fallas de tierra que involucran mayor resistencia, el valor del componente resistivo de la impedancia de falla se incrementará y con esto se producira una variacion en el angulo de la impedancia, por lo tanto un relé que tenga un angulo característico equivalente al angulo de la línea no dará alcance a detectar fallas de naturaleza resistivas.

Es usual, asi ajustar el angulo RCA mas bajo que el angulo de la línea, para que asi sea posible acerptar una pequeña cantidad de resistencia de falla sin causar under-reach, sin embargo cuando se ajusta el relé, la diferencia entre el angulo de la linea θ y el angulo caracteristico del relé φ debera ser conocido.

La caracteristica resultante se muestra en la figura 11.9c donde AB corresponde a la longitud de la linea a proteger, con el angulo φ menor que el angulo θ, la cantidad actual de linea protegida, AB sera igual al valor de ajuste del relé AQ multiplicado por el coseno de (θ - φ) por lo tanto el ajuste del relé necesario AQ esta dado por:

$$AQ = \frac{AB}{\cos(\theta - \varphi)}$$

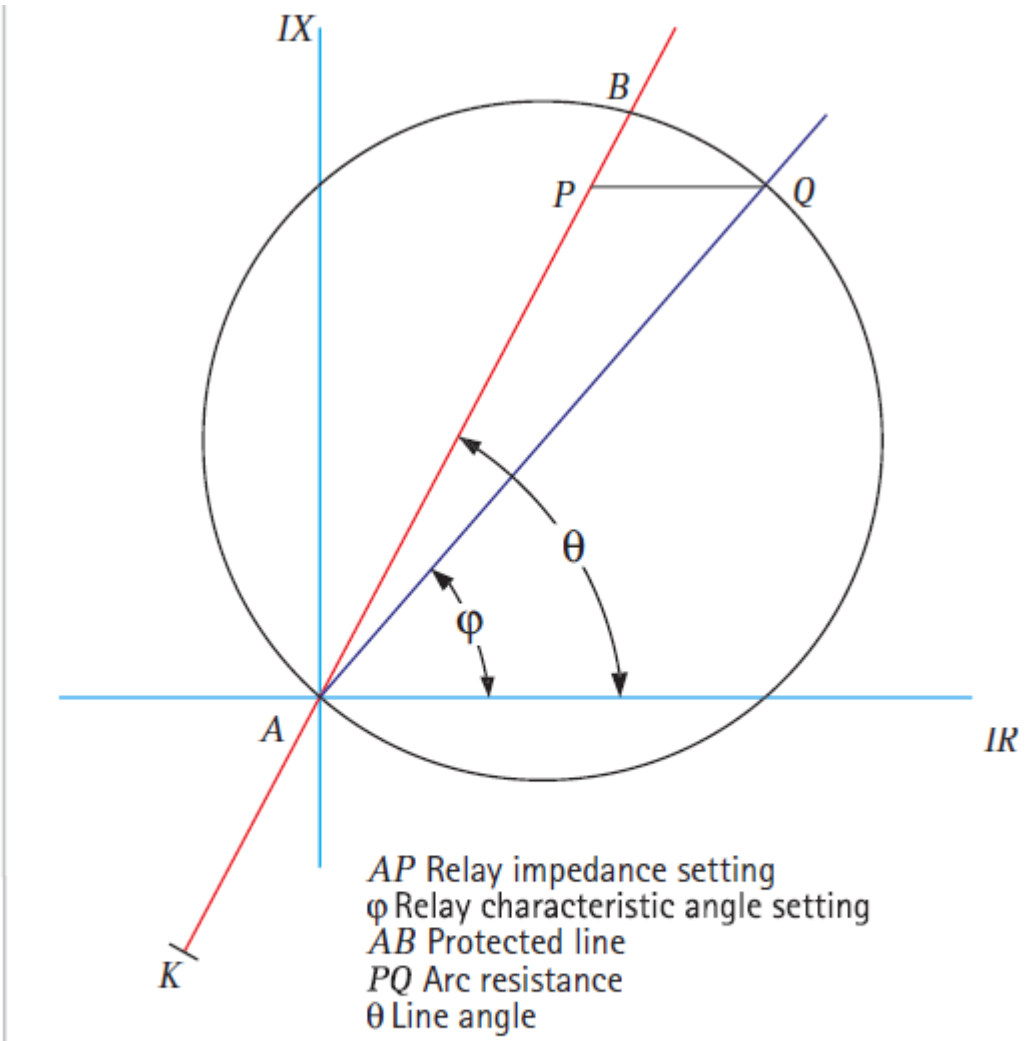


Figure 11.9: Mho relay characteristic

Ejemplo de aplicacion de un relé de distancia

El sistema de potencia descrito en la figura 11.22 muestra una red simple de 230 KV. El siguiente ejemplo muestra los calculos necesarios para aplicar la proteccion de distancia a las 3 zonas de la linea que interconecta las subestaciones ABC y XYZ. Todas las caracteristicas relevantes estan dadas en el diagrama. Para este ejemplo se usara el rele MiCOM P441 con caracteristicas Mho.

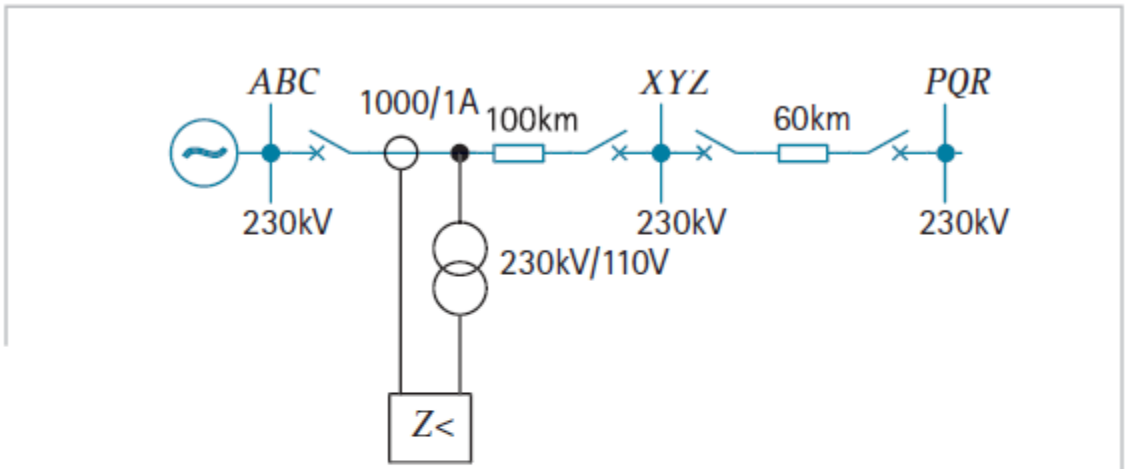


Figure 11.22: Example network for distance relay setting calculation

Impedancia de la linea
La impedancia de la linea es
Zl=(0.089 + j 0.476) x 100
= 8.9 + j 47.6 Ω
= 48.42 < 79.41°
Usaremos valores de 48.42 (magnitud) y 80° (angulo)

Compensacion Residual
Los reles usados son calibrados en terminos de la impedancia de secuencia positiva de la linea a proteger, debido a que la impedancia de secuencia cero de la linea entre los puntos ABC y XYZ es diferente de la impedancia de secuencia positiva, la impedancia vista por el relé en el caso de una falla a tierra, que implica el paso de la corriente de secuencia cero, será diferente a la observada para una falla de fase.

Por lo tanto el alcance de las fallas a tierra del relé requiere una compensación de secuencia cero, para el relé usado este ajuste es proveido por el factor de compensación residual KZ0 que es igual a

$$\left|K_{Z0}\right| = \left|\frac{\left(Z_0 - Z_1\right)}{3Z_1}\right|$$

$$\angle K_{Z0} = \angle \frac{\left(Z_0 - Z_1\right)}{3Z_1}$$

For each of the transmission lines:

$$Z_{L1} = 0.089 + j0.476\Omega \left(0.484 \angle 79.41^o\ \Omega\right)$$

$$Z_{L0} = 0.426 + j1.576\Omega \left(1.632 \angle 74.87^o\ \Omega\right)$$

Hence,

$$\left|K_{Z0}\right| = 0.792$$

$$\angle K_{Z0} = -6.5^o$$