RELE DE DISTANCIA

DEFINICIÓN

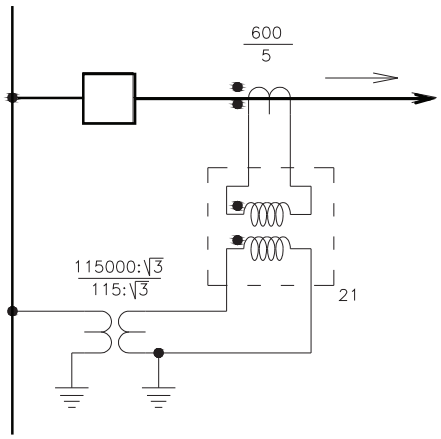
Un relé que puede medir la distancia de un punto a él se denomina relé de distancia, y se emplea para despejar las fallas que ocurren entre su posición y un punto determinado, discriminando así las fallas que puedan ocurrir en cualquier sección de la línea.

PRINCIPIO DE OPERACIÓN.

El principio básico de operación es la comparación de las cantidades de referencia de corriente y tensión en el punto donde se encuentra el relé.

Cuando la comparación se realiza en la forma más simple, o sea, inyectando la corriente de falla con la tensión en el punto de colocación del relé se originan dos pares de operación; el generado por la corriente o par de operación y el generado por la tensión o par antagónico o de frenado.

Comparándolos es posible determinar la distancia del relé a la falla y con ella la operación del mismo.



CARACTERISTICA DE OPERACIÓN DE LOS RELES

La ecuación general que rige el comportamiento de los relés electromecánicos de distancia es la siguiente:

$$T_M = ki \times Io^2 - kv \times Vr^2 \pm kp \times Io \times Vr \times COS(\theta - \gamma)$$

En donde:

T_M = Par resultante entre el par de operación y el par de frenado.

ki = Constante de proporcionalidad del par de operación.

I_0 = corriente de operación en amperios rms

kv = Constante de proporcionalidad del par de retención o frenado.

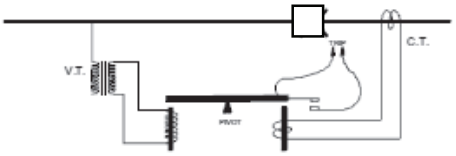
Vr = Tensión de frenado voltaje rms.

kp = Constante de proporcionalidad para el par de polarización.

γ = Angulo entre Io y Vr

θ = Angulo de polarización.

Considerando el aspecto de construcción en los relés se obtienen diversas curvas características de operación de los relés de distancia.



RELE TIPO PIVOTE

Si en la ecuación se hace que

Ki > 0, kv < 0 y kp = 0

TM > 0

$$ki \times Io^2 - kv \times Vr^2 > 0$$

$$ki \times Io^2 > kv \times Vr^2$$

$$\frac{ki}{kv} > \frac{Vr^2}{Io^2}$$

$$\frac{ki}{kv} > Z^2$$

o lo que es lo mismo

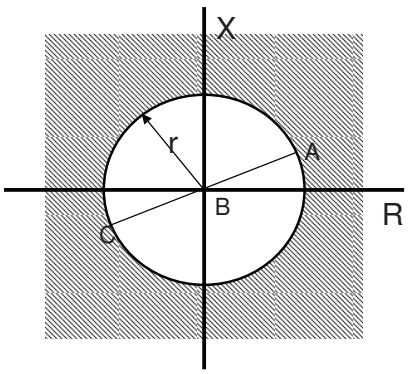
$$Z < \sqrt{\frac{ki}{kv}}$$

Descomponiendo el valor de Z

$$\sqrt{R^2 + X^2} < \sqrt{\frac{ki}{kv}}$$

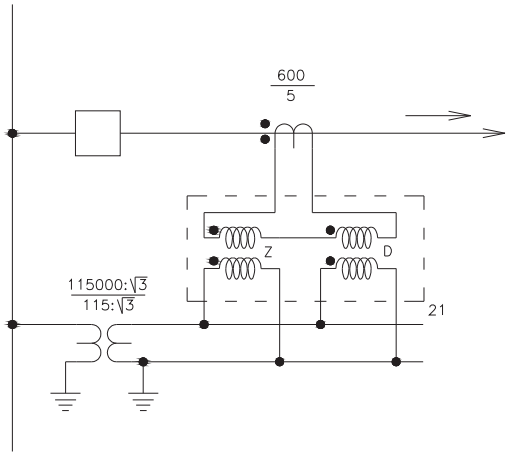
$$R^2 + X^2 < \frac{ki}{kv}$$

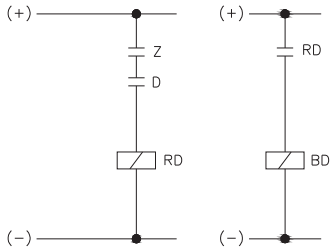
La expresión matemática anterior si la graficamos en un plano de impedancia R/X encontramos que corresponde a un circulo que tiene centro en el origen y su radio es $\frac{ki}{kv}$



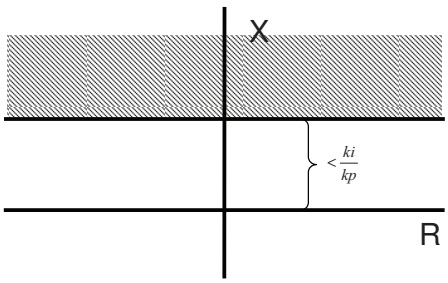
Esta grafica define a los relés de distancia con características de impedancia ya que la magnitud medida es la impedancia de la línea.
Las letras A, B y C corresponden a los extremos de las líneas AB y BC.
El radio r es la impedancia limite de referencia, lo interno al circulo es la zona de operación del relé, lo externo es la zona de frenado.
A los relés con esta característica se les llama **RELE DE IMPEDANCIA**

CARACTERISTICA DIRECCIONAL DE LOS RELES DE DISTANCIA TIPO IMPEDANCIA

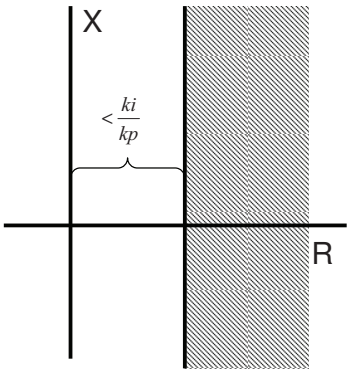




Si en la ecuación se hace que
ki > 0 ; kv = 0 y kp < 0
Y se grafica el resultado se obtienen los siguientes comportamientos:

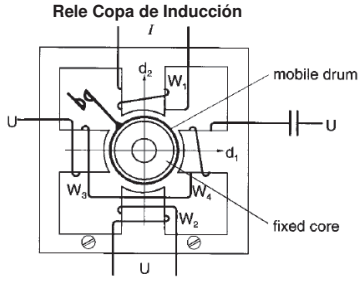


Cuando el angulo θ = 90º se obtiene la caracteristica que mide solo la reactancia de la linea



Cuando el angulo θ = 0º se obtiene la caracteristica que mide solo la resistencia de la linea

Rele Copa de Inducción

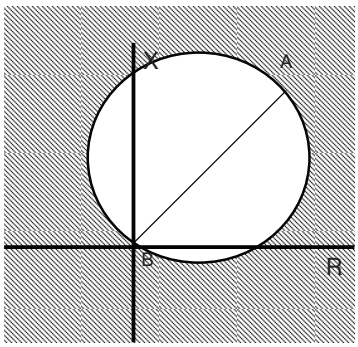


$U_{SC} \cdot I_{SC} \cdot \cos(\varphi - \Theta) \le \frac{1}{Z_R} U_{SC}^2$

$\frac{U_{SC}}{I_{SC}} = Z_{SC} < Z_R \cdot \cos(\varphi - \Theta)$

W_1: operate
W_2: restrain
W_3+W_4: polarise

Si en la ecuación se hace que
ki= 0; kv<0 y kp>0



Al relé con esta característica se denomina tipo MHO y el ángulo γ se le define como el ángulo característico del relé un valor típico es 60º.

$$-kv \times Vr^2 + kp \times Io \times Vr \times COS(\theta - \gamma) > 0$$

$$\left(R - \frac{1}{2} \times \frac{kp}{kv} \times COS(\theta)\right)^2 + \left(X - \frac{1}{2} \times \frac{kp}{kv} \times SEN(\theta)\right)^2 < \left(\frac{1}{2} \times \frac{kp}{kv}\right)^2$$

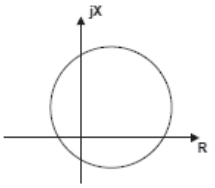
El resultado corresponde a un círculo desplazado que pasa por el origen y tiene centro en los siguientes puntos:

$$R = \frac{1}{2} \times \frac{kp}{kv} \times COS\gamma \qquad X = \frac{1}{2} \times \frac{kp}{kv} \times SEN\gamma$$

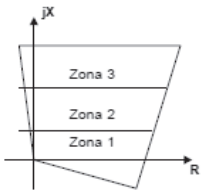
$$r = (\frac{1}{2} \times \frac{kp}{kv})^2$$

Características se pueden obtener con los relés numéricos

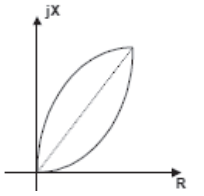
Mho Offset:
La característica de este relé en el plano R-X es un círculo desplazado y que incluye el origen, con lo cual se obtiene una mejor protección para las fallas cercanas al relé. Cuando esta unidad se utiliza para dar disparo debe ser supervisada por una unidad direccional o ser de tiempo retardado

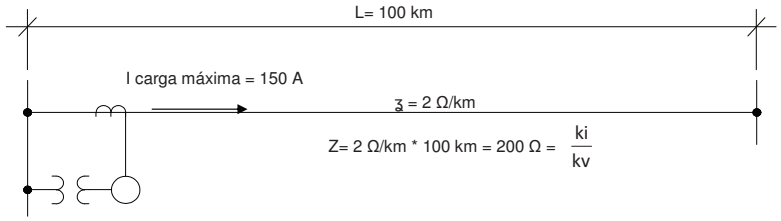


Cuadrilateral:
La característica de este relé puede ser alcanzada con la combinación de características de reactancia y direccional con dos características de control de alcance resistivo.



Lenticular:
Este relé es similar al relé mho, excepto que su forma es más de lente que de círculo, lo cual lo hace menos sensible a las condiciones de carga.





En condiciones de operación normal la impedancia vista por el relé desde la barra 1 es la siguiente:

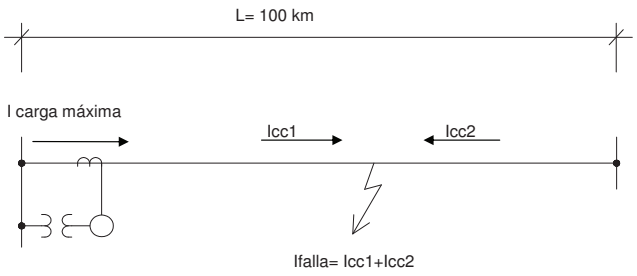
$Z_{\text{Vista por la barra}} = \frac{115.000\,V}{\sqrt{3} * 150\,A} = 442\Omega$ Comparando las impedancias: 442 Ω > 200 Ω

V Tensión de barra = 115 kV

I Cortocircuito =1771 A

I_{cc1}= 1328 A

I_{cc2}= 443 A



V Tensión de barra = 115 kV

I falla =1771 A

Icc1= 1328 A

Icc2= 443 A

En caso de ocurrir una falla en la línea, la impedancia aparente vista desde la barra 1:

$Z_{\text{Vista por la barra}} = \frac{115.000\,V}{\sqrt{3} * 1328\,A} = 49{,}99\Omega$

Comparando de nuevo los valores: 49,99 Ω < 200 Ω

La impedancia aparente vista desde la barra 2:

$Z_{\text{Vista por la barra 2}} = \frac{115.000\,V}{\sqrt{3} * 443\,A} = 149{,}88\Omega$

Con este valor de impedancia medida se puede obtener la distancia a la cual ocurrió la falla:

Desde la barra 1 $L = \frac{49{,}99\Omega}{2\Omega / km} \cong 25\,km$

Desde la barra 2 $L = \frac{149{,}88\Omega}{2\Omega / km} \cong 75 km$

CALCULO DE LA IMPEDANCIA DE AJUSTE

$$Z_S = Z_P * \frac{RTC}{RTT}$$

Donde:

Zs = Impedancia vista en el secundario, en Ohm (a nivel del relé)

Zp = Impedancia vista en el lado de alta tensión, en Ohm

RTC: Relación de transformación del transformador de corriente

RTT : Relación de transformación del transformador de voltaje

AJUSTE DE LOS RELES DE DISTANCIA

Los relés de distancias se ajustan por etapas o zonas identificadas como:

- Zona 1 (Z1)
- Zona 2 (Z2)
- Zona 3 (Z3)
- Zona en reversa
- Zona de arranque

AJUSTE DE LOS RELES DE DISTANCIA

Ajuste de la Zona 1

La primera zona de la protección distancia es normalmente de operación instantánea y tiene por finalidad proveer un despeje rápido de fallas que ocurran a lo largo de la línea.

La Zona 1 normalmente se ajusta entre un 80 ó 90% de la impedancia de la línea.

El margen de 10 o 20% proporciona un factor de seguridad para impedir operaciones del relé debido a imprecisiones en la lectura de los relés, transformadores de potencial e impedancia de la línea.

AJUSTE DE LOS RELES DE DISTANCIA

Ajuste de la Zona 2

El objetivo principal de esta zona es proteger completamente la línea en consideración y actuar como zona de respaldo ante la no operación de la Zona 1 de las líneas ubicadas en la subestación remota.

Como valor mínimo de ajuste se escoge el 120% de la impedancia de la línea a proteger, dado que si se escoge un valor inferior, los errores de los transformadores de instrumentos (CT y PT), el acoplamiento mutuo de secuencia cero en circuitos paralelos y el valor de la impedancia de falla, pueden producir subalcance en el relé, es decir que el relé no verá la falla en Zona 2, sino más allá.

AJUSTE DE LOS RELES DE DISTANCIA

Ajuste del Tiempo de operación de la Zona 2:

Para la selección del tiempo de disparo de la Zona 2 se debe tener en cuenta la existencia o no de un esquema de tele protección en la línea.

Si la línea cuenta con esquema de tele protección se puede seleccionar un tiempo de 400 ms para esta zona.

Si la línea no dispone de tele protección este tiempo se determina mediante un análisis de estabilidad del sistema ante contingencias en el circuito en consideración.

Este tiempo (tiempo crítico de despeje de fallas ubicadas en Zona 2) puede oscilar entre 150 ms. y 250 ms., dependiendo de la longitud de la línea y de las condiciones de estabilidad del sistema.

AJUSTE DE LOS RELES DE DISTANCIA

Ajuste de la Zona 3

El objetivo de esta zona es servir de respaldo a las protecciones de las líneas adyacentes. Normalmente, su ajuste se extiende hasta el extremo opuesto de la línea adyacente de mayor impedancia, pero se debe garantizar que este alcance no detecte fallas ocurridas en las subestaciones de diferentes tensiones conectadas a través de los transformadores de potencia. Este alcance también debe limitarse si su valor se acerca al punto de carga normal de la línea.
El criterio recomendado para el ajuste de la Zona 3 es el menor valor de impedancia calculada para los dos casos que se citan a continuación.

•Impedancia de la línea a proteger más el 80% de la impedancia equivalente de los transformadores en la barra remota.

$$Z_3 = Z_L + 0{,}8 * Z_{EQ\ TRANSF}$$

Impedancia de la línea a proteger más el valor de Z de la línea adyacente con mayor impedancia, multiplicada por un factor de seguridad del 120%.

$$Z_3 = 1.2 * (Z_L + Z_{LAMI})$$

Donde:

Z_3: Ajuste de zona 3

Z_L: Impedancia de la línea a proteger

Z_{LAMI}: Impedancia de la línea adyacente de mayor impedancia

AJUSTE DE LOS RELES DE DISTANCIA

Ajuste de la Zona Reversa o Zona 4

El propósito de esta zona es proveer un respaldo a la protección diferencial de barras de la subestación local.

En general, cuando se trata de respaldo a la protección diferencial de barras, debe verificarse que los ajustes de Zona 3 y Zona 4 (reversa), cumplan con la siguiente relación:

$$\frac{Ajuste\ zona3}{Ajuste\ zona4} = 0{,}1$$

El ajuste de la Zona Reversa para este fin, se realiza tomando el menor valor de los dos cálculos siguientes:

– 20% de la impedancia de la línea reversa con menor impedancia.
– 20% de la impedancia equivalente de los transformadores de la subestación local.

Tiempo de zona reversa:
Para respaldo de la protección diferencial de barras, se recomienda ajustar el tiempo de la Zona Reversa en 1500 ms, con el fin de permitir la actuación de las zonas de respaldo de la barra remota.

Se debe verificar que este tiempo esté por encima del tiempo de operación de la función 67N de la barra remota.

AJUSTE DE LOS RELES DE DISTANCIA

Arranque

Tiene por objeto detectar estados de falla en la red, seleccionar las magnitudes de las fases afectadas, guiarlos al sistema de medición y producir el arranque de los temporizadores de etapas.

Arranque por Sobrecorriente

Cuando se detecta un estado de sobrecarga en el sistema (tensiones nominales con corrientes de carga superiores a los permitidos en la red).

Se toma como ajuste 2,5 $I_{Máxima\ carga}$

Arranque por Subimpedancia

Cuando se detecta una condición de falla en la red, lo cual significa altas corrientes con una condición de caída de voltaje en la fase fallada.

$$Z_{ARRANQUE} = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3} * 2{,}5 * I_{MAXIMA\ CARGA}}$$

AJUSTE DE LOS RELES DE DISTANCIA

Alcance resistivo

Para el ajuste del alcance resistivo de las diferentes zonas, se tiene como criterio general seleccionar un único valor para todas las diferentes zonas de la protección distancia, permitiendo establecer la coordinación a través de los tiempos de disparo de cada zona y logrando selectividad por medio de la impedancia de la línea vista por el relé hasta el sitio de la falla de alta impedancia. Los valores típicos resistivos son calculados como el 45% de la impedancia mínima de carga o de máxima transferencia del circuito en cuestión.
Este valor de impedancia mínima de carga es calculado a través de la siguiente expresión:

$$Z_{MINIMA\,CARGA} = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3} * MCC}$$

Donde:

V_{LL}: Tensión nominal mínima línea - línea.

MCC: Máxima Corriente de Carga

La Máxima Corriente de Carga se selecciona como el menor valor entre los siguientes cálculos:

- ✓ La CTMÁX: Es la máxima corriente del transformador de corriente y que normalmente corresponde al 120% de IMÁX primaria del CT.
- ✓ La corriente máxima de carga, es decir el 130% de $I_{MÁX}$ del conductor la cual corresponde al límite térmico del circuito o el límite que imponga cualquiera de los equipos de potencia asociados.
- ✓ La máxima corriente operativa de la línea I_{MAX}.

CRITERIOS DE AJUSTE PARA CADAFE.

1era. Etapa:

80% a 85% de la longitud de la línea.

Tiempo de operación = instantáneo.

2da. Etapa:

100% de la línea + 20% de la siguiente más corta.

Tiempo de operación =300 ó 400 mseg.

3era.Etapa:

En esta etapa el criterio de ajuste va de acuerdo a la experticia y experiencia de la persona encargada en el área de protecciones, este es uno de los criterio utilizado; 100% de la línea + 100% de la siguiente más corta.

Tiempo de operación =1,2 ó 1,5 seg.

Arranque:

1,3 x 3era. Etapa.

Tiempo de operación = 2,0 ó 3,0 seg.

CRITERIOS DE SELECCION PROTECCIONES DE LINEA
CRITERIOS DE SELECCION

Con el uso de los relés electromecánicos el criterio de selección era basado en la longitud física de la línea y la influencia que pudiera tener la resistencia de falla RF en el valor medido por el relé.

En base a ello se tenía lo siguiente:

Para líneas cortas se usaban relés con caracteristica tipo reactancia ya que la resistencia de la falla Rf es significativa respecto a la impedancia de la línea ZL.

Para líneas intermedias el tipo IMPEDANCIA o tipo MHO.

Para líneas largas el preferido era el tipo MHO ya que La RF es pequeña en comparación con la ZL de la línea y por lo tanto esta no la afecta.

CRITERIOS DE SELECCION PROTECCIONES DE LINEA

En la actualidad el criterio para la selección del tipo de relé de distancia se basa en una clasificación cualitativa del largo de la línea basado mas no en la longitud de la misma, sino en la relación entre la impedancia de la fuente situada detrás de la protección y la impedancia de la línea, termino que recibe el nombre de SIR y viene expresado como SIR = ZG/ZL.

De acuerdo con esta relación se tiene la siguiente clasificación:

- Líneas Cortas serán aquellas cuyo SIR es mayor o igual 4.
- Líneas Medias serán aquellas cuyo SIR está entre 0,5 y 4.
- Líneas Largas: aquellas con un SIR menor o igual a 0,5.

EJEMPLO DE CALCULO DE SIR

Nombre	ZL(pu)	ZS(pu)	SIR	Tipo
Barbacoa/Guaraguao	0.08588	0.0868517	1.0113289	MEDIA
Guaraguao/Barbacoa	0.08588	0.20827735	2.42524784	MEDIA
Barbacoa/Isleta	0.19350	0.0868517	0.44885153	LARGA
Isleta/Barbacoa	0.19350	0.61247275	3.16527279	MEDIA
Barbacoa/Barcelona	0.05451	0.0868517	1.59318128	MEDIA
Barcelona/Barbacoa	0.05451	0.12374768	2.26998995	MEDIA
Barcelona/Cuartel	0.03911	0.12374768	3.16399496	MEDIA
Cuartel/Barcelona	0.03911	0.22963341	5.87129328	CORTA
Barcelona/Parchita	0.02178	0.12374768	5.68236872	CORTA
Parchita/Barcelona	0.02178	0.13356228	6.1330452	CORTA
Barbacoa/Chuparín	0.08468	0.0868517	1.02568812	MEDIA
Chuparín/Barbacoa	0.08468	0.15985709	1.88785609	MEDIA

CRITERIOS DE SELECCIÓN PROTECCÍON DE LÍNEA BASADO EN EL SIR

Para protección de líneas cortas no se recomienda el uso de protección distancia como protección principal, dado que factores tales como la resistencia de arco o la impedancia de falla pueden causar subalcance en el relé.

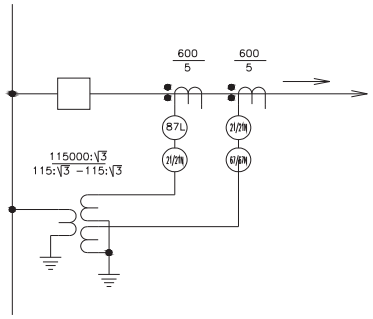
Para la protección de líneas de longitud media, se puede utilizar sin problema la protección de distancia, dado que la discriminación del relé es más efectiva en líneas con SIR menor que cuatro (4).

Las líneas largas, conectadas entre sistemas débiles o siendo ellas mismas débiles en comparación con los sistemas que unen, generalmente requieren disparos de alta velocidad para evitar problemas de estabilidad en el sistema.

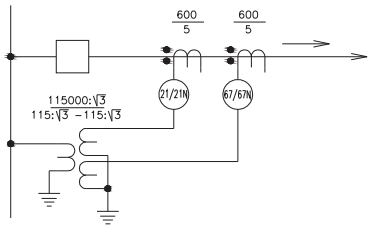
Estas líneas pueden tener otros elementos incluidos, tales como condensadores en serie, lo cual hace variable la impedancia total de la línea bajo ciertas condiciones e introduce comportamientos transitorios que hacen difícil la selectividad. Los esquemas de protección que más se recomiendan para este tipo de líneas compensadas son la comparación de fases y la comparación direccional, utilizando PLC (Power Line Carrier) o microondas.

CRITERIOS DE USO DE TIPOS DE RELES BASADO EN EL SIR EN PDVSA

En caso de líneas cortas y medias, la filosofía será de protección Principal (87L, 21/21N) y Respaldo (21/21N, 67/67N).



En caso de líneas largas, la filosofía será Principal y Respaldo con las mismas funciones: (21/21N, 67/67N)



FACTORES QUE AFECTAN LA MEDICIÓN EN EL RELÉ

Es deseable que en condiciones de falla, la impedancia vista por el relé sea idéntica a la de la línea protegida entre el relé y el punto de falla, es decir, ZF = ZL, donde ZF es la impedancia medida, y ZL es la impedancia de la sección de línea comprendida entre el relé y la falla. Sin embargo en los sistemas de potencia esto no es posible ya que existen factores que alteran la medición dando lugar a subalcance del relé, los factores que causan esta situación son los siguientes:

Efecto de Fuente Intermedia o infeed

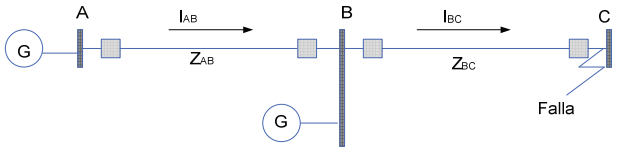
Resistencia de Falla

Longitud de la línea

Weak infeed

FACTORES QUE AFECTAN LA MEDICIÓN EN EL RELÉ

Efecto de Fuente Intermedia o infeed



$$V_{PA} = V_A = I_{AB} \times Z_{AB} + I_{BC} \times Z_{BC}$$

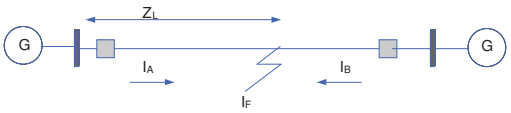
$$Z_{PA} = \frac{V_{PA}}{I_{PA}} = \frac{V_A}{I_{AB}} = \frac{I_{AB} \times Z_{AB} + I_{BC} \times Z_{BC}}{I_{AB}} = Z_{AB} + \frac{I_{BC}}{I_{AB}} \times Z_{BC}$$

Cuando no existe la fuente de generación en la barra B, se tiene la situación de que $I_{AB} = I_{BC}$, por lo que la impedancia medida por la protección A es $Z_{AB} + Z_{BC}$.

Como la impedancia medida por la protección es mayor que la impedancia que existe hasta el punto de falla, el alcance del relé disminuirá

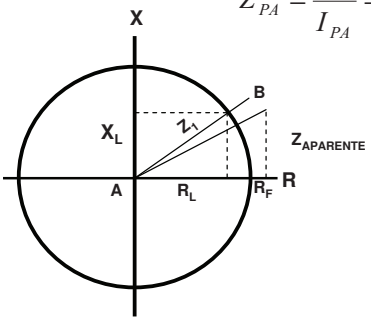
FACTORES QUE AFECTAN LA MEDICIÓN EN EL RELÉ

Resistencia de Falla



Cuando existe una fuente de generación en el extremo B, la impedancia aparente medida por la protección será:

$$Z_{PA} = \frac{V_{PA}}{I_{PA}} = \frac{V_A}{I_A} = \frac{I_A \times Z_L + I_F \times R_F}{I_A} = Z_L + \frac{I_A + I_B}{I_A} \times R_F$$



$$Z_{PA} = Z_L + R_F \times (1 + \frac{I_B}{I_A})$$

$$Z_{PA} = Z_L + R_L$$

ESQUEMAS DE COMUNICACIÓN

DUTT

Direct Underreaching Transfer Trip. / Disparo Directo Transferido por Sub alcance

PUTT

Permissive Underreaching Transfer Trip. / Disparo transferido por Sub Alcance Permitido

POTT

Permissive Overreaching Transfer Trip. / Disparo Transferido por Sobre Alcance Permitido

Aceleración de Zona (Zone acceleration)

CD

Permissive Directional Comparision Transfer Trip. / Disparo transferido permitido por

Comparación Direccional

Bloqueo por comparación direccional / Directional Comparison Blocking

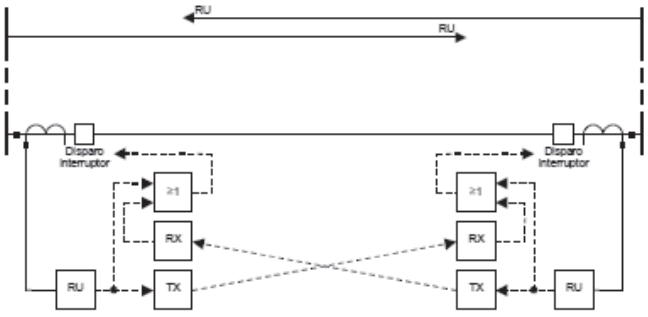
Desbloqueo por comparación direccional / Directional Comparison Unblocking

ESQUEMAS DE COMUNICACIÓN

Esquema DUTT

Se caracteriza porque únicamente requiere de la señal de bajo alcance (zona 1 ajustada a menos del 100% de la línea) y se aplica normalmente con un canal de Comunicación.

Cada extremo da orden de disparo cuando ve la falla en zona 1 o cuando recibe orden de disparo del otro extremo.

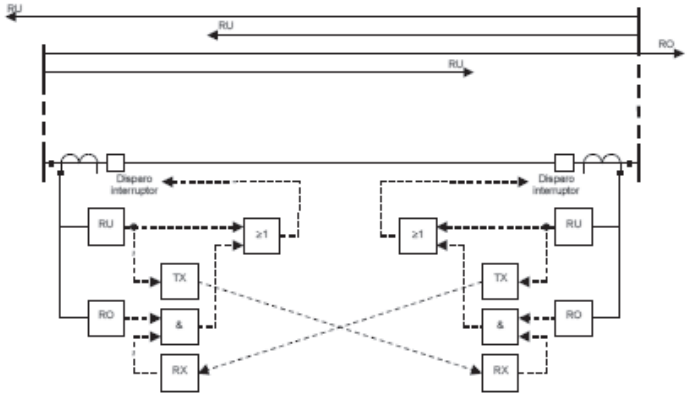


TX: Transmisor de teleprotección
RX: Receptor de teleprotección
RU: Debe ser ajustado para subalcance y se debe traslapar con el alcance del RU de la zona remota

ESQUEMAS DE COMUNICACIÓN

Esquemas PUTT

Este esquema requiere tanto de una función de subalcance (zona 1 ajustada a menos del 100% de la línea) como de sobrealcance (zona 2 ajustada a más del 100% de la línea). Este esquema es idéntico al esquema DUTT sólo que todo disparo (visto en zona 1 de uno de los extremos) es transmitido al otro extremo y es supervisado por una unidad que tiene un alcance de zona 2 del otro extremo.



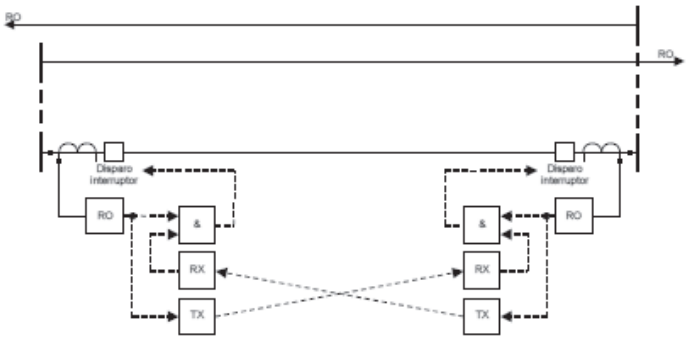
TX: Transmisor de teleprotección
RX: Receptor de teleprotección
RU: Debe ser ajustado para subalcance y se debe traslapar con el alcance del RU de la zona remota
RO: Debe ser ajustado para sobrealcance

ESQUEMAS DE COMUNICACIÓN

Esquema POTT

Este esquema requiere únicamente funciones de sobrealcance (zona 1 a más del 100% de la línea) y se usa frecuentemente con canales de comunicación en los que se envía la señal de guarda permanentemente y se conmuta hacia una señal de disparo cuando opera alguna de las unidades de sobrealcance.

El disparo se produce si se recibe una señal de disparo del otro extremo y se tiene una señal de sobrealcance en el punto de instalación del relé. Con fallas externas solamente operará una de las unidades de sobrealcance y por esto no se efectuará disparo en ninguno de los terminales.

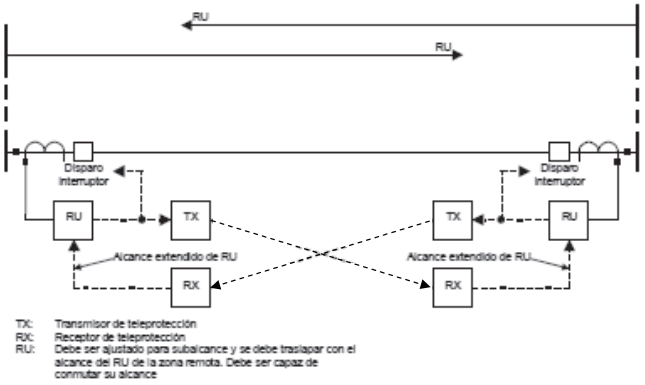


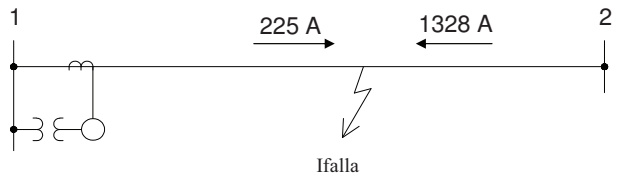
TX: Transmisor de teleprotección
RX: Receptor de teleprotección
RO: Debe ser ajustado para sobrealcance

ESQUEMAS DE COMUNICACIÓN

Esquema de aceleración de zona

Es un esquema muy parecido al PUTT, sólo que en este caso la señal permisiva se toma en bajo alcance (zona 1) y la acción ejecutada no corresponde a un disparo sino a una ampliación de la zona 1 a una zona extendida, que puede ser zona 2 o una zona denominada de aceleración cuyo alcance en todo caso deberá ser mayor del 100% de la línea.





La impedancia vista desde la barra 1:

$$Z_{\text{Vista por la barra 1}} = \frac{115.000\,V}{\sqrt{3} * 225\,A} = 295\Omega$$

En caso de ocurrir una falla en la linea, la impedancia vista desde la barra 2:

$$Z_{\text{Vista por la barra2}} = \frac{115.000\,V}{\sqrt{3} * 1328\,A} = 49{,}99\Omega$$

Comparando de nuevo los valores: 49,99 Ω < 200 Ω y 295 Ω > 200 Ω

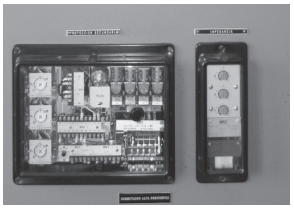
FUENTE DEBIL O WEAK INFEED

Dicho extremo experimenta un incremento de su tensión residual, una disminución de su tensión de fase y una pequeña magnitud de corriente de secuencia cero.

Es por ello que para completar la lógica Weak Infeed se requiere de los siguientes elementos:

Función de sobretensión de fase (59N)
Función de subtensión de fase (27L)
Función de sobrecorriente por neutro (50N).

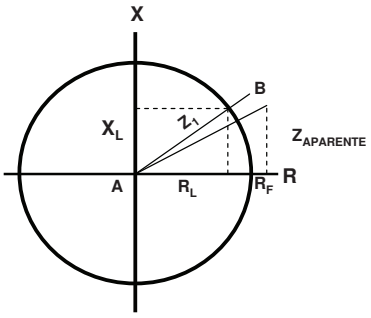
LZ 32



LI41b

D60 Line Distance Protection

EFECTO DE LA RESISTENCIA DE FALLA



ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS RELES DE DISTANCIA DURANTE FALLAS A TIERRA

BIBLIOGRAFIA

SYMMETRICAL COMPONENTS.APPLIED TO ANALYSIS OF UNBALANCED ELECTRICAL CIRCUITS. C. F. Wagner and R. D. Evans. McGraw Hill Company

PROTECTIVE RELAYS APPLICATION GUIDE. GEC Measurements. The General Electric Company, p.l.c. England

GROUND DISTANCE RELAYING: PROBLEMS AND PRINCIPLES, G. E. Alexander, J. G. Andrichak. General Electric Company. Meter and Control Business Department. Malvern, PA

ART & SCIENCE OF PROTECTIVE RELAY. C. Russel Mason.

ART & SCIENCE OF PROTECTIVE RELAY. C. Russel Mason.

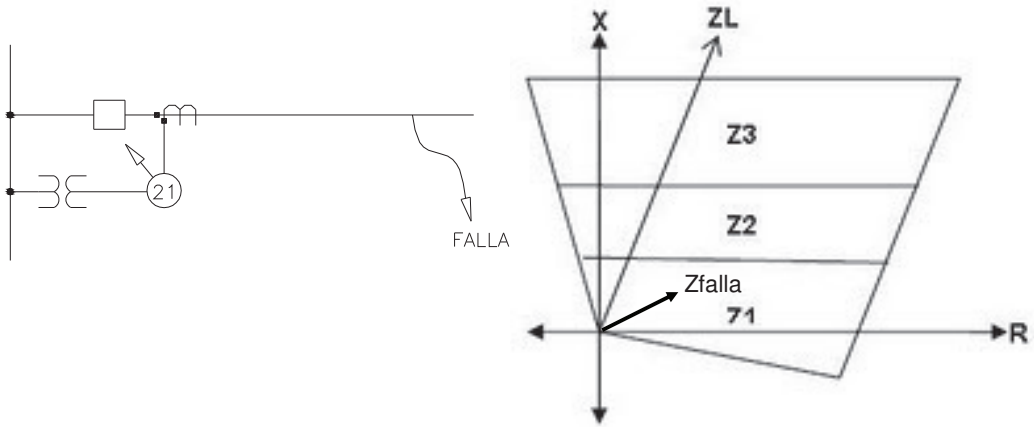
PROTECTIVE RELAYING THEORY AND APPLICATIOS. Walter A. Elmore. ABB Power T&D Company Inc. Relay Division. Coral Springs. Florida

BIBLIOGRAFIA CITADAS

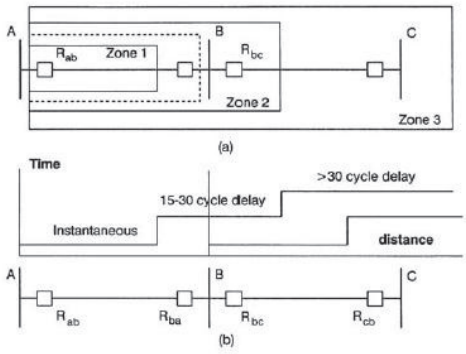
MUTUAL IMPEDANCE OF GROUNDED CIRCUITS. Bell System Tech. Jour., p.1. October, 1923

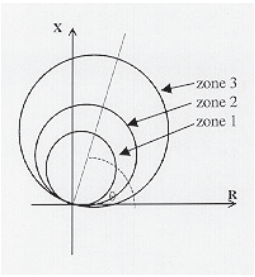
SOME FACTORS AFFECTING THE ACCURACY OF DISTANCE EQUIPMENT UNDER EARTH FAULT CONDITIONS. Davison, E. B. and Wrigth, A. Proc. IEE Vol. 110, No. 9, sept. 1963, pp.1678-1688.

Una vez que el valor de la impedancia de falla vista por un relé entra dentro del área de operación del mismo se da la orden de disparo al interruptor asociado a dicho relé.



La zona de operación del relé se selecciona según la longitud de la línea que se quiere proteger en combinación con algún esquema de comunicación para reforzar el mecanismo de protección.

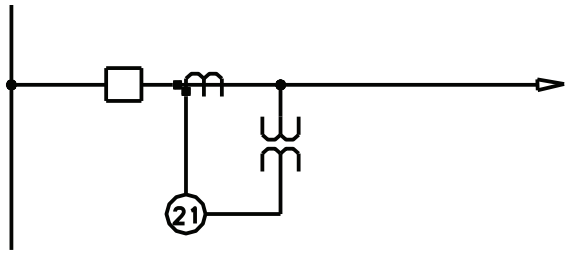




En general los valores que permiten definir las fronteras de los alcances de actuación del relé y a los cuales denominamos ajustes se obtienen a través del análisis de las impedancias de la línea protegida.

Estos valores son los requeridos por el relé para su operación y se mantienen inalterados hasta tanto un programador no realice cambios en los mismos.

Para realizar su trabajo el rele toma la tensión en su punto de ubicación y la corriente para realizar el calculo correspondiente de la impedancia.

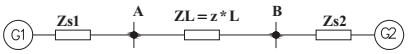


El proceso de calculo resulta muy simple en el caso de las fallas trifásicas, no así es el caso para las fallas monofásicas.

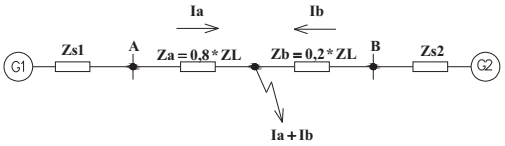
Cuando una falla se presenta, las tensiones en el punto de ubicación de la falla es cero, por lo que la caída de tensión a la falla es el producto de la corriente por la impedancia de la línea entre el relé y el punto de falla.

En el caso de la falla trifásica o balanceada, la impedancia medida depende únicamente de la impedancia de secuencia positiva de la línea.

G1 = Fuente 1
G2 = Fuente 2
Zs1= Impedancia de la fuente 1
Zs2= Impedancia de la fuente 2
ZL = Impedancia de la línea
z = Impedancia unitaria



$$Zajuste = 0,8 * z * L = 0,8 * ZL$$



$$Va = 0,8 * ZL * Ia$$

$$Zfalla = Za = \frac{Va}{Ia} = 0,8 * ZL$$

Cuando se trata de una falla monofásica, la tensión en el punto de ubicación de la falla en la fase fallada también es cero, pero en este caso, la caída de tensión entre el relé y el punto de falla no se puede considerar tan simple como en el caso anterior, porque la corriente de falla en el lazo depende del número de puntos de puesta a tierra, la resistividad del terreno, el método de la puesta a tierra, la topología de la red.

Este hecho suscita grandes inconvenientes a la hora de la medición de la impedancia de falla por parte del relé e implica que para evitar que el relé interprete erróneamente la información medida se tenga que realizar un examen particularizado de acuerdo al arreglo que tenga la línea.

Los arreglos de líneas que se pueden encontrar en el ámbito de una red de transmisión eléctrica son los siguientes:

Simple terna radial de un conductor por fase y un cable de guarda.

Simple terna radial de varios conductores por fase y un cable de guarda.

Simple terna con tap.

Doble terna sobre una misma torre con un conductor por fase y dos cables de guarda, con extremos que parten y se conectan a las mismas subestaciones, o tienen un solo extremo común.

Cuatro circuitos sobre una misma torre con dos cables de guarda

En esta presentación se analizarán solo dos casos que son:

Simple terna radial de un conductor por fase y un cable de guarda.

Doble terna sobre una misma torre con un conductor por fase y dos cables de guarda, con extremos que parten y se conectan a las mismas subestaciones.

CASO DE FALLA A TIERRA EN UNA LINEA SIMPLE TERNA

En este caso la caída de tensión vista desde el rele a la falla en el tramo fallado es la suma de las tensiones de secuencia entre el rele y la falla, es decir:

$$\mathbf{V_a^{'} = I_1^{'} Z_{L1} + I_2^{'} Z_{L2} + I_0^{'} Z_{L0}}$$

La corriente en el lazo fallado esta dado por

$$\mathbf{I_a^{'} = I_1^{'} + I_2^{'} + I_0^{'}}$$

La corriente residual en el punto del relé es

$$\mathbf{I_N^{'} = I_a^{'} + I_b^{'} + I_c^{'} = 3I_0^{'}}$$

La tensión vista por el relé será entonces

$$\mathbf{V_a^{'} = Z_{L1}(I_1^{'} + I_2^{'} + I_0^{'} \frac{Z_{L0}}{Z_{L1}})}$$

CASO DE FALLA A TIERRA EN UNA LINEA SIMPLE TERNA

Para expresar la impedancia vista por el rele en valores de fase se agrega y sustrae el valor de l'o

$$\mathbf{V_a^{'} = Z_{L1}(I_1^{'} + I_2^{'} + I_0^{'} - I_0^{'} + I_0^{'} k)}$$

$$\mathbf{V_a^{'} = Z_{L1}\{I_1^{'} + I_2^{'} + I_0^{'} + I_0^{'}(k-1)\}}$$

$$\mathbf{V_a^{'} = Z_{L1}\left\{I_a^{'} + (I_a^{'} + I_b^{'} + I_c^{'}) \frac{(k-1)}{3})\right\}}$$

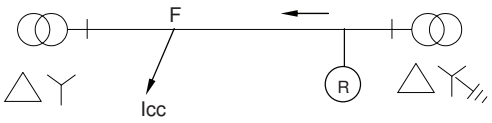
$$\mathbf{Z_a = \frac{V_a^{'}}{I_a^{'}} = Z_{L1}\left\{1 + (1 + \frac{I_b^{'} + I_c^{'}}{I_a^{'}}) \frac{(k-1)}{3})\right\}}$$

Za = Impedancia de falla vista por el relé

k = Factor de compensación de secuencia cero

Dependiendo de la ubicación del relé con respecto a los neutros de los extremos de la línea se tendrá diferentes valores para Za.

CASO DE FALLA A TIERRA EN UNA LINEA SIMPLE TERNA



$I_a=1;\ I_b=0;\ I_c=0$

$$Z=\left\{1+\frac{(k-1)}{3}\right\}*Z_{L1} \qquad k=\frac{Z_0}{Z_{L1}}$$

$I_a=2;\ I_b=-1;\ I_c=-1$

$$Z=Z_{L1}$$

$I_a=1;\ I_b=-1;\ I_c=-1$

$$Z=k*Z_{L1}$$

CASO DE FALLA A TIERRA EN UNA LINEA SIMPLE TERNA

Todos los reles tienen disponibilidad para realizar compensaciones por concepto de falla a tierra a fin de que no se produzcan sobre alcances o subalcances en el cual se debe introducir el factor de compensación homopolar k.
A continuación se dan algunos ejemplos:

La unidad selectora de fase lleva en su parte frontal dos conmutadores de rueda pulgar, marcados K_N y PS respectivamente, ver fig.9.

El conmutador K_N se utiliza para ajuste de la compensación homopolar y tiene una gama de ajuste de 0-1.5 en escalones de 0.1. La compensación homopolar se determina por la fórmula:

$$K_N = \frac{X_0 - X_1}{3X_1}$$

donde X_0 = reactancia homopolar de la línea

X_1 = reactancia de secuencia positiva de la línea

El conmutador PS se utiliza para adaptar la protección a la red con respecto al sistema de puesta a tierra, elección de fase y tipo de arranque. El conmutador tiene seis diferentes posiciones (0-5) según se muestra en el esquema secuencial de la figura 18.

Fig. 9. Unidad selectora de fase RGGB 030

CASO DE FALLA A TIERRA EN UNA LINEA SIMPLE TERNA

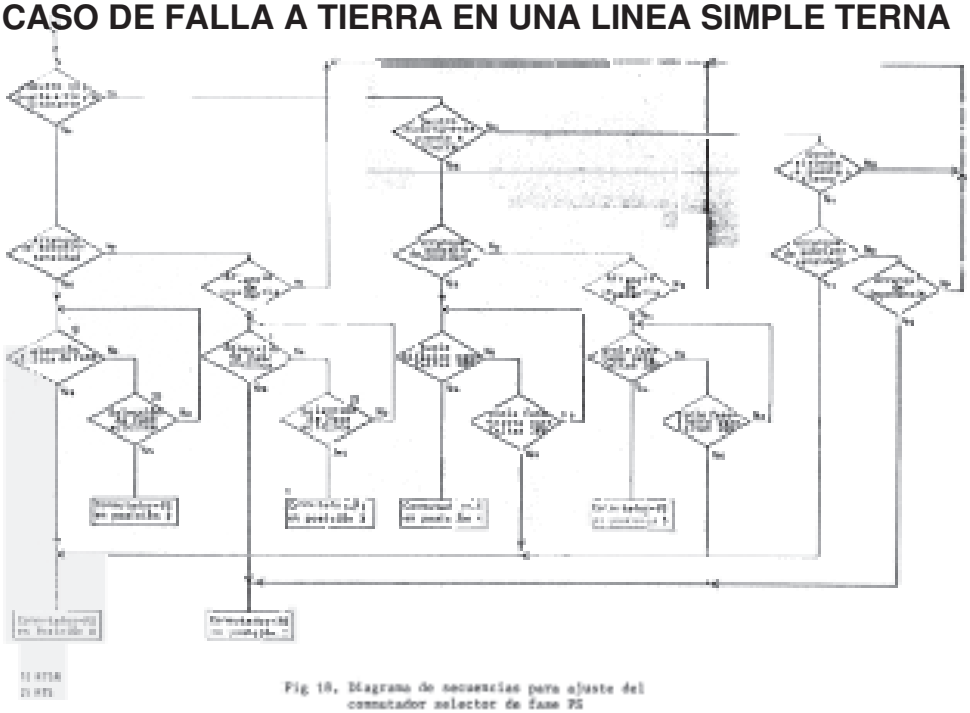
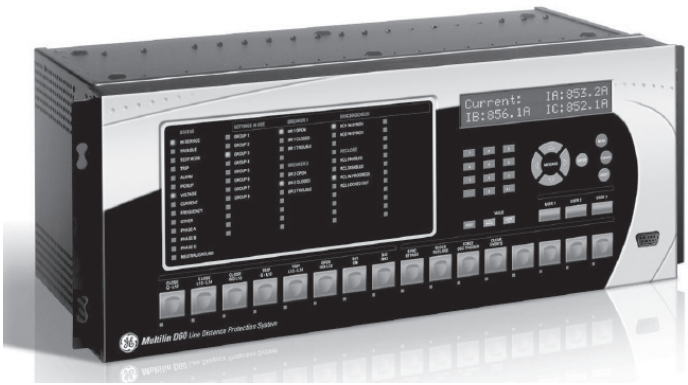


Fig 18. Diagrama de secuencias para ajuste del conmutador selector de fase PS

CASO DE FALLA A TIERRA EN UNA LINEA SIMPLE TERNA

- **GND DIST Z1 Z0/Z1 MAG:** This setting specifies the ratio between the zero-sequence and positive-sequence impedance required for zero-sequence compensation of the ground distance elements. This setting is available on a per-zone basis, enabling precise settings for tapped, non-homogeneous, and series compensated lines.
- **GND DIST Z1 Z0/Z1 ANG:** This setting specifies the angle difference between the zero-sequence and positive-sequence impedance required for zero-sequence compensation of the ground distance elements. The entered value is the zero-sequence impedance angle minus the positive-sequence impedance angle. This setting is available on a per-zone basis, enabling precise values for tapped, non-homologous, and series-compensated lines.



CASO DE FALLA A TIERRA EN UNA LINEA SIMPLE TERNA

Adaptación de la impedancia a tierra

La condición fundamental para el cálculo correcto de la distancia a la falta (protección de distancia, localización de faltas) durante cortocircuitos a tierra, es la adaptación de la relación de la impedancia a tierra de la línea. Ésta se efectúa introduciendo la relación de resistencia efectiva R_E/R_L y la relación de reactancia X_E/X_L, o sino, introduciendo el factor complejo de impedancia a tierra $\underline{K}_0$. En la dirección 237 **FORMATO Z0/Z1** se fija cuál de las posibilidades de entrada se aplica (véase sección 2.1.2.1). Dependiendo de esto, aquí aparecerán sólo las direcciones válidas.

Adaptación de impedancia a tierra con factores escalares R_E/R_L y X_E/X_L

Introduciendo la relación de resistencia efectiva R_E/R_L y la relación de reactancia X_E/X_L las direcciones 1116 a 1119 son determinantes. Las relaciones se determinan sólo de manera formal y no son idénticas con las componentes real e imaginaria $\underline{Z}_E/\underline{Z}_L$. ¡El cálculo con valores complejos no es necesario! Los valores se obtienen de los datos de línea según las fórmulas siguientes:

Relación de resistencia:	Relación de reactancia:
$\frac{R_T}{R_L} = \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{R_0}{R_1} - 1\right)$	$\frac{X_T}{X_L} = \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{X_0}{X_1} - 1\right)$

Aquí significan

- R_0 = Resistencia homopolar de la línea
- X_0 = Reactancia homopolar de la línea
- R_1 = Resistencia de secuencia positiva de la línea
- X_1 = Reactancia de secuencia positiva de la línea

Estos datos pueden ser aplicados para la línea completa o pueden servir como valores relativos de longitud, ya que los cocientes son independientes de la longitud. Para los cocientes no importa si éstos son calculados con valores primarios o secundarios.

CASO DE FALLA A TIERRA EN LINEAS PARALELAS

Uno de los problemas que mayor impacta a las líneas de transmisión en arreglo doble terna es la presencia de la inducción mutua entre ellas ya que esta condición puede ocasionar que el rele de distancia de tierra sobre alcance o subalcance.

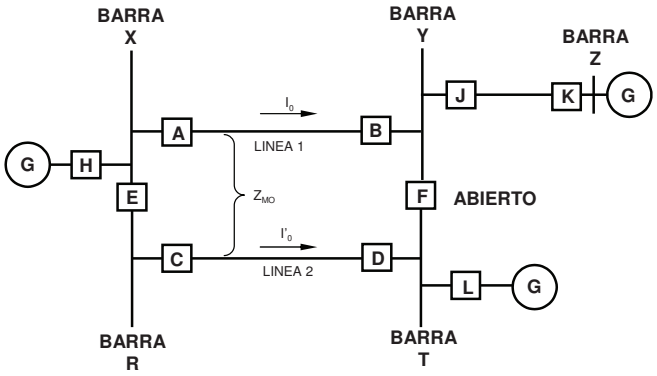
Adicionalmente las condiciones de operación de las lineas tambien pueden ocasionar diferentes situaciones con respecto a la impedancia aparente medida, condiciones de operación como los indicados a continuación dan valores de impedancia aparente muy diferente. Estos casos son:

Corriente de falla de secuencia cero en la línea paralela fluyendo en la dirección opuesta a la de la línea protegida.

Línea paralela fuera de servicio y puesta a tierra.

Corriente de falla de secuencia cero en la línea paralela fluyendo en la misma dirección que la de la línea protegida.

CASO DE FALLA A TIERRA EN LINEAS PARALELAS



$$V_A = Z_{L1} * I_1 + Z_{L2} * I_2 + Z_{L0} * I_0 - I_0^{'} * Z_{0M}$$

$$V_A = Z_{L1} * I_1 + Z_{L2} * I_2 + Z_{L1} * I_0 - Z_{L1} * I_0 + Z_{L0} * I_0 - I_0^{'} * Z_{0M}$$

$$V_A = Z_{L1} * I_A - Z_{L1} * I_0 + Z_{L0} * I_0 - I_0^{'} * Z_{0M}$$

$$V_A = Z_{L1} * I_A + (Z_{L0} - Z_{L1}) * I_0 - I_0^{'} * Z_{0M}$$

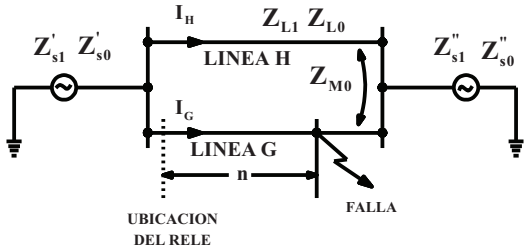
CASO DE FALLA A TIERRA EN LINEAS PARALELAS

$$V_A = Z_{L1} * I_A + (Z_{L0} - Z_{L1}) * I_0 - I_0^{'} * Z_{0M}$$

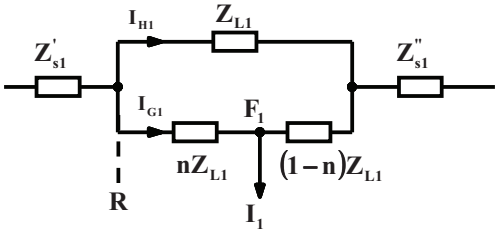
$$V_A = Z_{L1} * I_A + (Z_{L0} - Z_{L1}) * I_0 + I_0^{'} * Z_{0M}$$

CASO DE FALLA A TIERRA EN LINEAS PARALELAS

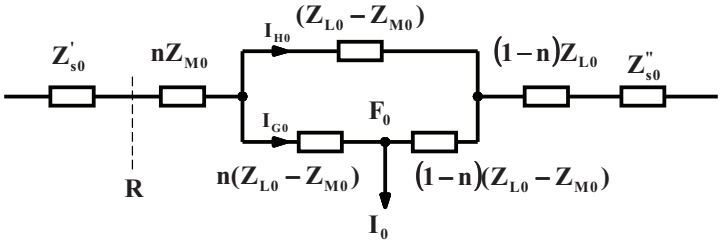
PARA CUANDO LAS FUENTES EN LOS EXTREMOS SON COMUNES



RED GENERAL



RED DE SECUENCIA POSITIVA



RED DE SECUENCIA CERO

CASO DE FALLA A TIERRA EN LINEAS PARALELAS

Valor de la Impedancia de ajuste $$Z_G = nZ_{L1} * \left\{ 1 + \frac{(I_{H0}/I_{G0}) * M}{2 * (I_{G1}/I_{G0}) + K} \right\}$$

$K = \frac{Z_0}{Z_{L1}}$ Factor de compensación homopolar $M = \frac{Z_{M0}}{Z_{L1}}$ Factor de compensación mutuo

$$I_{H0}/I_{G0} = \frac{nZ''_{S0} - (1-n) * Z'_{S0}}{(2-n)Z''_{S0} + (1-n) * (Z'_{S0} + Z_{L0} + Z_{M0})}$$

$$I_{G1} = \frac{(2-n)Z''_{S1} + (1-n) * (Z'_{S1} + Z_{L1})}{2(Z'_{S1} + Z''_{S1}) + Z_{L1}} * I_1 \qquad I_{G0} = \frac{(2-n)Z''_{S0} + (1-n) * (Z'_{S0} + Z_{L0} + Z_{M0})}{2(Z'_{S0} + Z''_{S0}) + Z_{L0} + Z_{M0}} * I_0$$

Recordar que dado que las redes de secuencia quedan en serie para fallas a tierra se tiene que $I_1 = I_0$

The underreaching effect caused by zero-sequence mutual coupling can also be corrected by adjusting the zero-sequence compensation factor used for the overreaching distance elements.

$$k_{OM} = \frac{Z_{OL} - Z_{1L} + Z_{OM}}{3 * Z_{1L}}$$

Where:

Z_{0L} = zero-sequence line impedance

Z_{1L} = positive-sequence line impedance

Z_{0M} = zero-sequence mutual coupling impedance

b) DIRECTIONAL MHO CHARACTERISTIC

The dynamic 100% memory polarized mho characteristic is achieved by checking the angle between:

AB phase element: (IA – IB) × Z – (VA – VB) **and** (VA – VB)_1M

BC phase element: (IB – IC) × Z – (VB – VC) **and** (VB – VC)_1M

CA phase element: (IC – IA) × Z – (VC – VA) **and** (VC – VA)_1M

A ground element: IA × Z + I_0 × K0 × Z + IG × K0M × Z – VA **and** VA_1M

B ground element: IB × Z + I_0 × K0 × Z + IG × K0M × Z – VB **and** VB_1M

C ground element: IC × Z + I_0 × K0 × Z + IG × K0M × Z – VC **and** VC_1M

The following definitions pertain to all of the distance functions:

IA, IB, IC phase A, B, and C current phasors

IG ground current from a parallel line

VA, VB, VC phase A to ground, phase B to ground, and phase C to ground voltage phasors

()_1 positive-sequence phasor of () derived from the phase quantities

()_2 negative-sequence phasor of () derived from the phase quantities

()_0 zero-sequence phasor of () derived from the phase quantities

()M memorized value of ()

Z reach impedance (**REACH** ∠ **RCA**)

ZREV reverse reach impedance for non-directional applications (**REV REACH** ∠ **REV REACH RCA** + 180°)

ZD directional characteristic impedance (1 ∠ **DIR RCA**)

ZR right blinder characteristic impedance: ZR = **RGT BLD** × sin (**RGT BLD RCA**) × 1∠ (**RGT BLD RCA** – 90°)

ZL left blinder characteristic impedance: ZL = **LFT BLD** × sin (**LFT BLD RCA**) × 1∠ (**LFT BLD RCA** + 90°)

K0 zero-sequence compensating factor: K0 = (**Z0/Z1 MAG** ∠ **Z0/Z1 ANG**) – 1

K0M mutual zero-sequence compensating factor: K0M = 1/3 x **Z0M/Z1 MAG** ∠ **Z0M/Z1 ANG**

IMPEDANCIAS DE SECUENCIA CERO

IMPEDANCIAS DE SECUENCIA CERO DE LOS CONDUCTORES DE UNA LINEA SIMPLE TERNA SIN CABLE DE GUARDA

$$z_0 = 3r_c + 0{,}00477 * f + j0{,}01397 * f * \log_{10} \frac{D_e}{GMR_{circuito}}$$ Ohm por fase/milla

Impedancia mutua de secuencia cero de un circuitos sin cable de guarda y retorno por tierra.

$$D_e = 2.160 * \sqrt{\frac{\rho}{f}}$$ De= 2800 pies, para ρ=100 Ωm

$GMR_{CIRCUITO}$ = Radio medio geométrico del circuito

$$GMR_{CIRCUITO} = \sqrt[3]{GMR_{CONDUCTOR} * GMD^2}$$

GMD = Distancia media geométrica entre los conductores del circuito

$$GMD = \sqrt[3]{d_{ab} * d_{bc} * d_{ca}}$$

IMPEDANCIAS DE SECUENCIA CERO DE LOS CONDUCTORES DE UNA LINEA SIMPLE TERNA SIN CABLE DE GUARDA

$GMR_{CONDUCTOR}$ = Radio medio geométrico del conductor

TABLA DE RADIOS MEDIOS GEOMETRICOS

Conductor solido	0,779 a
Full trenzado	
7	0,726 a
19	0,758 a
37	0,768 a
61	0,772 a
91	0,774 a
127	0,776 a
ACSR	
30 - 2 CAPAS	0,826 a
26 - 2 CAPAS	0,809 a
54 - 3 CAPAS	0,810 a
simple capa	0,776 a

a = Radio del conductor

IMPEDANCIAS DE SECUENCIA CERO DE LOS CONDUCTORES DE UNA LINEA DOBLE TERNA SIN CABLE DE GUARDA

$$z_0 = \frac{r_c}{2} + 0{,}00477 * f + j0{,}01397 * f * \log_{10} \frac{D_e}{\sqrt{GMR_{circuito} * GMD}}$$ Ohm por fase/milla

Impedancia mutua de secuencia cero entre dos circuitos sin cable de guarda y retorno por tierra.

$$GMR_{CIRCUITO} = \sqrt[3]{GMR_{CONDUCTOR} * GMD^2}$$

GMD = Distancia media geométrica entre los dos circuitos

$$GMD = \sqrt[9]{d_{aa'} * d_{cc'} * d_{ac'} * d_{ca'} * d_{bb'} * d_{ab'} * d_{cb'} * d_{a'b} * d_{c'a}}$$

IMPEDANCIAS MUTUA DE SECUENCIA CERO DE LOS CONDUCTORES DE UNA LINEA DOBLE TERNA SIN CABLE DE GUARDA

$$z_{0m} = 0{,}00477 * f + j0{,}01397 * f * \log_{10} \frac{D_e}{(GMD)}$$ Ohm por fase/milla

Impedancia mutua de secuencia cero entre dos circuitos sin cable de guarda y retorno por tierra.

GMD = Distancia media geométrica entre los dos circuitos

$$GMD = \sqrt[9]{d_{aa'} * d_{cc'} * d_{ac'} * d_{ca'} * d_{bb'} * d_{ab'} * d_{cb'} * d_{a'b} * d_{c'a}}$$

IMPEDANCIAS DE SECUENCIA CERO DE LOS CONDUCTORES DE UNA LINEA SIMPLE TERNA CON CABLE DE GUARDA

$$z_0 = \frac{r_c}{2} + 0{,}00477 * f + j0{,}01397 * f * \log_{10} \frac{D_e}{\sqrt{GMR_{circuito} * GMD}}$$ Ohm por fase/milla

Impedancia propia de secuencia cero de un circuito con cable de guarda y retorno por tierra.

$$GMR_{CIRCUITO} = \sqrt[9]{GMR^3_{CONDUCTOR} * (d_{ab})^2 * (d_{bc})^2 * (d_{ca})^2}$$

GMD = Distancia media geométrica entre conductores y cable de guarda

$$GMD = \sqrt[3]{d_{xa} * d_{xb} * d_{xc}}$$