



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE OAXACA

INGENIERÍA ELÉCTRICA

***MATERIA: PROTECCIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS DE
POTENCIA***

UNIDAD 2. PROTECCIÓN DE DISTANCIA

EVIDENCIAS DE APRENDIZAJE

NOMBRE: CRUZ PACHECO JOSE ALBERTO

NUMERO DE LISTA: 4

OCTAVO SEMESTRE

GRUPO: "8EA"

HORA: 8:00-9:00

PROFESOR: ING. OCAMPO GRANADOS JUAN DANIEL

OAXACA, OAXACA A 10 DE FEBRERO DEL 2023

Índice

Resumen -

Principios de operación de la protección de distancia.....	3
Cuadro comparativo de la impedancia calculada según sea el tipo de falla a considerar	8
Características de los relevadores de distancia y su ajuste respectivo.....	11
Referencias.....	20

Principios de operación de la protección de distancia

Un sistema eléctrico de potencia convencional está compuesto básicamente por tres subsistemas: generación, transmisión y distribución; cuyo objetivo es suministrar energía eléctrica a usuarios comerciales y no comerciales, con niveles admisibles de calidad, confiabilidad y seguridad.

El sistema de transmisión tiene un alto índice de fallas, debido a que se encuentra a la intemperie; por lo tanto, se instala relés de distancia en los extremos de las líneas de transmisión, con el objetivo de detectar, despejar y aislar las fallas en las zonas afectadas.

El funcionamiento de los relés de distancia se basa en la impedancia de las líneas de transmisión, mediante la relación entre el voltaje y la corriente; medidos por los transformadores de potencial o TP's y los transformadores de corriente o TC's. El relé de distancia opera en caso que el valor de impedancia medido sea menor al valor de impedancia preestablecido en el relé. La protección de distancia, es una protección direccional por naturaleza, con selectividad relativa que tiene como órgano de medición un relé de impedancia, que opera contra los cortocircuitos en la línea que protege. Dicha protección determina la razón entre la tensión y la corriente (impedancia) de la línea en donde se encuentra conectada, que en condiciones de falla trifásica metálica no es más que la distancia entre el punto de conexión y el fallo.



SEL-321 Relé de distancia de fase y tierra

Las protecciones de distancia no siempre aseguran una aceptable selectividad para cortocircuitos internos para su primer y segundo escalón en la mayoría de las configuraciones actuales. Para la protección de líneas se emplean fundamentalmente tres escalones de la protección de distancia. El primer escalón se ajusta con una impedancia alrededor de 80% de la impedancia de línea que se está protegiendo. El segundo escalón se ajusta de tal forma que asegure la protección total de la línea y el tercer escalón, se ajusta para que detecte fallas en la línea o el elemento que esté conectado abajo.

Estas condiciones de pre-falla están relacionadas con:

- La resistencia involucrada en la falla.
- La cantidad y dirección de la transferencia de potencias por la línea antes de la falla o en condiciones de pre-falla.
- Las potencias de cortocircuitos de las fuentes en ambos extremos de la línea

La protección de distancia se puede realizar con varias formas o zonas de protección, teniendo en cuenta la longitud de la línea, la tensión de alimentación, la característica en el plano complejo del relé, la tendencia a producirse cortocircuitos con resistencias de arco y las oscilaciones de potencia del sistema. Entre estas formas se pueden encontrar relés tipo impedancia, relés tipo MHO, relés con característica cuadrilateral, y otros. En ocasiones no se toman en cuenta las condiciones de pre-falla a la hora de realizar los ajustes de los escalones de las protecciones de distancia, además de utilizarla en configuraciones donde es poco confiable.

Una correcta coordinación de protecciones garantiza que las fallas del sistema eléctrico sean despejadas en el menor tiempo posible, con el fin de salvaguardar los elementos que conforman el SEP. Las protecciones de distancia cuentan generalmente con tres zonas de protección, una zona principal y dos zonas de respaldo a líneas de transmisión adyacentes, cada zona tiene un tiempo de operación diferente, las zonas de cobertura y tiempos de operación, se detallan a continuación.

Los relevadores de distancia pueden interpretar de manera incorrecta una oscilación de potencia y pueden considerarla como una falla debido a que la impedancia medida por el relevador entra en la zona de operación de éste y por lo tanto esto puede llevar a una mala apertura de interruptores.

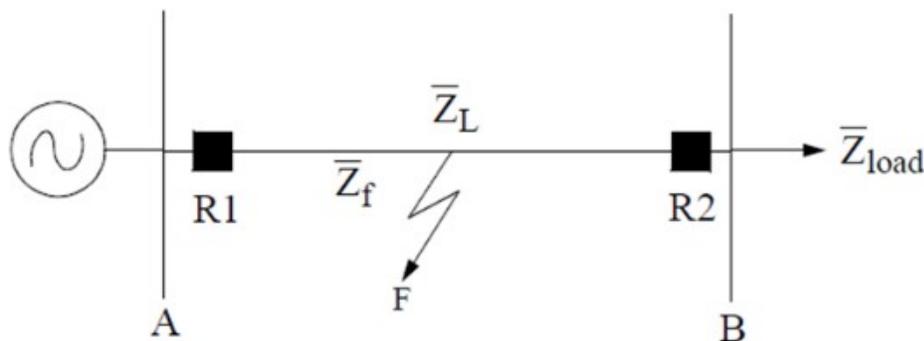
Los relevadores de distancia cuentan con funciones de bloqueo por oscilaciones de potencia, las cuales son capaces de detectar las oscilaciones y mantener el bloqueo del relevador. Se puede presentar una falla mientras ocurre una oscilación de potencia y la función de bloqueo debe ser capaz de diferenciar entre estas y así desbloquear el relevador para poder realizar la apertura adecuada de los interruptores indicados.

El principio fundamental de los relevadores de distancia se basa en la medición de la impedancia aparente, donde el relevador mediante mediciones de voltaje y corriente responde a la impedancia entre la terminal del relevador y la ubicación de falla, esto es debido a que es proporcional la distancia que hay entre la ubicación del relevador y la ubicación de la falla. Los relevadores calculan la impedancia aparente desde los voltajes y corrientes medidos en la ubicación del relevador: el cálculo se hace de la manera siguiente:

$$Z = \frac{V}{I}$$

Durante la operación normal de un sistema de potencia, la impedancia aparente medida por el relevador es grande, mientras que durante una condición de falla la impedancia aparente es pequeña. Para discriminar entre el estado normal y una condición de falla son utilizadas las zonas de protección. Si la impedancia aparente vista por el relevador se encuentra fuera de la zona de operación del relevador no operará; mientras que cuando la impedancia se encuentre dentro de la zona de operación del relevador este deberá actuar para aislar la falla.

En la figura siguiente, se muestra un sistema el cual está conformado por un generador y una carga \bar{Z}_{load} que está conectada a través de una línea de transmisión, la línea se encuentra protegida por los relevadores R1 y R2.

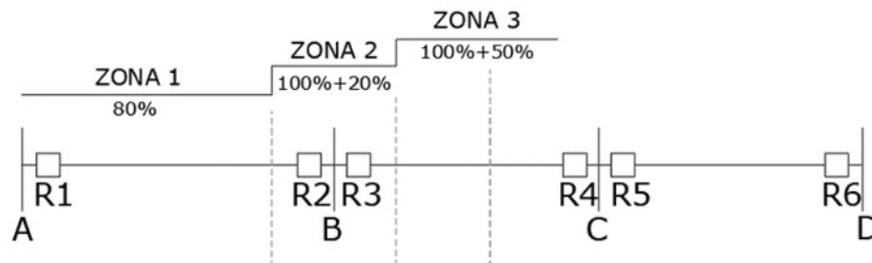


Protección de línea con relevadores de distancia R1 y R2. \bar{Z}_L es la impedancia total de la línea, \bar{Z}_{load} es la impedancia de la carga y \bar{Z}_F es la impedancia entre el relevador y el punto donde se presenta una falla.

Durante la operación normal del sistema, la impedancia vista por R1 es aproximadamente la impedancia de la carga \bar{Z}_{load} , por lo que la impedancia aparente se encuentra fuera de la zona de operación del relevador. Cuando se presenta una falla en el

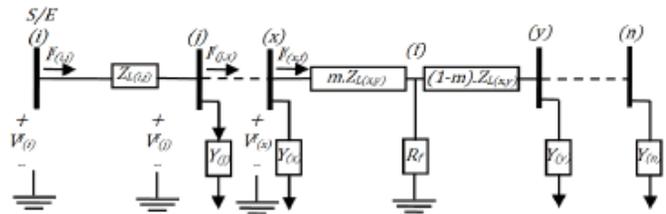
sistema, la impedancia medida por el relevador es menor y si esta se encuentra dentro de la zona de operación el relevador opera para liberar la falla.

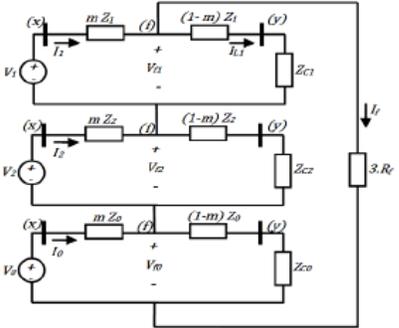
Generalmente la primera zona de protección cubre el 80% de la línea de transmisión, para asegurar la eliminación de fallas a lo largo de toda la línea se establecen ciertas zonas adicionales.

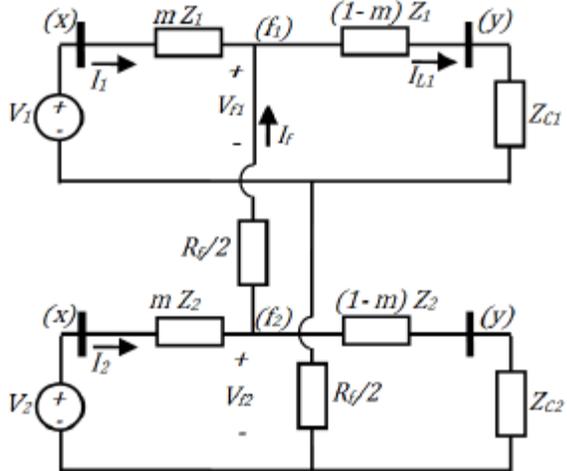


Zonas de operación de la protección de distancia

Cuadro comparativo de la impedancia calculada según sea el tipo de falla a considerar

Tipo de falla	Descripción	Figura
Fallas monofásicas a tierra	<p>En caso de una falla monofásica a tierra, en la sección de línea entre los nodos (x) y (y) del alimentador mostrado en la figura 1, los circuitos equivalentes en redes de secuencia se conectan en serie, como se presenta en la figura 2. Se conocen las tensiones de secuencia positiva (V_1), negativa (V_2) y cero (V_0) en el nodo (x), las corrientes de secuencia positiva (I_1), negativa (I_2) y cero (I_0) que fluyen desde el nodo (x) al punto de falla (f) y las impedancias de secuencia positiva (Z_1), negativa (Z_2) y cero (Z_0) de la sección de línea entre los nodos (x) y (y). La figura 2, muestra tres impedancias (Z_{c1}, Z_{c2} y Z_{c0}) que permiten considerar la carga que alimenta el circuito en condición falla, las cuales por ahora se asumen conocidas.</p>	 <p style="text-align: center;">Figura 1. Diagrama unifilar de un sistema con falla entre los nodos (x) y (y).</p>

		 <p data-bbox="1371 597 1860 649">Figura 2. Circuito equivalente en redes de secuencia en caso de falla monofásica a tierra.</p>
<p data-bbox="199 699 317 805">Fallas bifásicas</p>	<p data-bbox="388 699 1220 951">Para una falla bifásica, en la sección de línea entre los nodos (x) y (y), del circuito presentado en la figura 1, las redes de secuencia se conectan en paralelo, y se obtiene el circuito de la figura 3.</p> <p data-bbox="388 992 1209 1097">Del circuito de la figura 3, se obtienen las ecuaciones (10), (11), (12) y (13).</p>	

	$V_{f1} = V_1 - mZ_1 I_1 \quad (10)$ $V_{f2} = V_2 - mZ_2 I_2 \quad (11)$ $V_{f2} - V_{f1} = R_f I_f \quad (12)$ $V_{f1} = (I_f + I_1)((1 - m)Z_1 + Z_{C1}) \quad (13)$ <p>Igualando las ecuaciones (10) y (13) se obtiene la ecuación (14) y de las ecuaciones (11) y (12) se obtiene (15).</p> $V_1 - mZ_1 I_1 = (I_f + I_1)((1 - m)Z_1 + Z_{C1}) \quad (14)$ $I_f = \frac{(V_2 - mZ_2 I_2) - (V_1 - mZ_1 I_1)}{R_f} \quad (15)$	 <p>Figura 3. Circuito equivalente en redes de secuencia, en caso de una falla bifásica.</p>
<p>Fallas trifásicas</p>	<p>Para la falla trifásica, las redes de secuencia se consideran de forma independiente. Por lo tanto, se realiza el análisis únicamente con el circuito de secuencia positiva, que se presenta en la figura 4. Del circuito de la figura 4, se obtiene (18).</p> $\frac{V_1}{I_1} = mZ_1 + \frac{R_f((1 - m)Z_1 + Z_{C1})}{R_f + (1 - m)Z_1 + Z_{C1}} \quad (18)$ <p>Realizando las operaciones indicadas en (18), es posible llegar a</p>	

la ecuación (19).

$$KJ m^2 + KK m + KL = R_f KI \quad (19)$$

Dónde:

$$\begin{aligned} KI &= Z_1 I_1 + Z_{c1} I_1 - V_1 \\ KJ &= Z_1^2 I_1 \\ KK &= -Z_1 V_1 - Z_1^2 I_1 - Z_1 I_1 Z_{c1} \\ KL &= Z_1 V_1 + Z_{c1} V_1 \end{aligned} \quad (20)$$

La ecuación (19) es a una ecuación cuadrática compleja, que se resuelve separando su parte real e imaginaria y obteniendo dos ecuaciones muy similares a las presentadas en (8), con dos incógnitas (R_f y m).

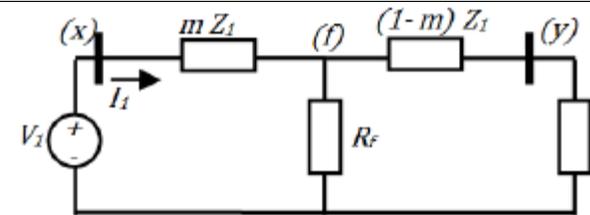


Figura 4. Circuito equivalente en redes de secuencia en caso de falla trifásica.

Características de los relevadores de distancia y su ajuste respectivo

La evaluación del desempeño de un relevador de distancia está en función de su capacidad de detectar fallas dentro de su zona de protección. El relevador de distancia opera cuando la impedancia medida es menor a su ajuste, en esta condición, la impedancia del sistema penetra en la característica de operación, la decisión de disparo debe ser considerada, debido a que en el sistema están presentes fenómenos que pueden provocar penetración de la característica sin ser una condición de falla, tal como las oscilaciones de potencia. El algoritmo del relevador debe recibir los fasores de voltaje y corriente para determinar la condición de operación, estas señales de entrada deben ser acondicionadas.



Acondicionamiento de señales eléctricas de entrada

Las señales eléctricas de entrada al relevador de protección provenientes del secundario de los transformadores de corriente y potencial están compuestas de señales, que si bien son representativas del fenómeno eléctrico, no son requeridas para determinar el criterio de operación del relevador, debido a que presentan un carácter aleatorio que imposibilita la determinación de ubicación de la falla; el procesamiento digital debe eliminar las cantidades no deseadas y retener las cantidades de interés. Tanto en relevadores de distancia como de sobre corriente, el filtrado de la señal debe eliminar las componentes de corriente directa, los transitorios de transformadores de instrumentos, reflexiones de onda viajera y otras interferencias. La operación del relevador debe establecerse

únicamente con la componente fundamental a la frecuencia nominal, debido a que esta componente de la señal es afectada proporcionalmente por la ubicación de la falla.

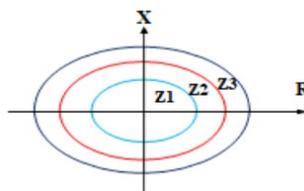
El filtrado de la señal de entrada impacta directamente el desempeño del algoritmo del relevador, afectando la exactitud en la operación dependiendo del rechazo de componentes no deseadas e incrementando la carga de procesamiento. El tiempo total de operación del relevador depende del proceso de filtrado analógico y/o digital seleccionado.

Tipos de relevadores de distancia

En líneas de transmisión, los relés de distancia tienen propiedades de mayor rapidez y selectividad, incluso son mayormente inmunes a cambios de generación en el sistema; en comparación a las protecciones de sobre corriente. Adicionalmente, las protecciones de distancia cuentan con la ventaja de ubicar el sitio donde ocurrió la falla, puesto que la impedancia de la línea es directamente proporcional a su longitud. Los relés de distancia proporcionan protección a líneas de transmisión, en una zona principal y en zonas de respaldo a líneas adyacentes.

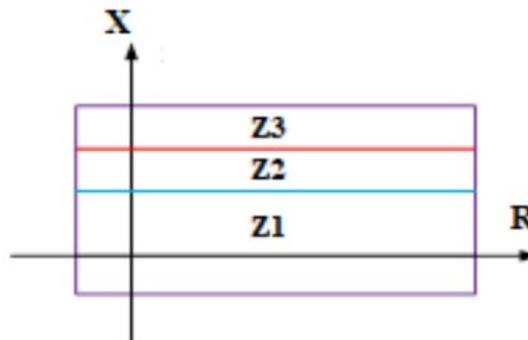
Relés de impedancia

Son relés utilizados comúnmente para protección de fallas entre fases en líneas de transmisión de longitud media, esta protección no cuenta con la propiedad de direccionalidad; es decir, solo es capaz de detectar fallas en una sola dirección; las zonas de protección del relé de impedancia se muestran en la figura siguiente.



Relés de reactancia

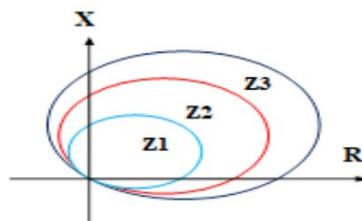
Las protecciones de distancia tipo reactancia, no dependen de la resistencia de la línea de transmisión, utilizados normalmente para protección de líneas de corta longitud debido a su alta velocidad de operación, ideales para protección de fallas fase-tierra; las zonas de protección del relé de reactancia se muestran en la figura siguiente.



Zonas de protección relé de reactancia.

Relés de admitancia

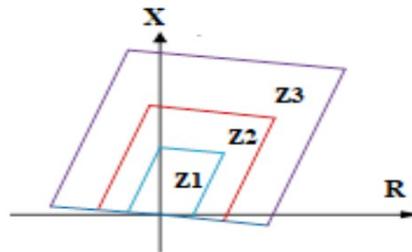
Conocidos como relés de distancia de tipo Mho, es el relé de distancia más idóneo para protección de fallas entre fases y oscilaciones de potencia en líneas de transmisión de larga distancia, su alcance de protección es directamente proporcional al diámetro de la circunferencia preestablecida para la zona de operación; las zonas de protección del relé de admitancia se muestran en la figura siguiente.



Zonas de protección relé de admitancia.

Relé de protección poligonal

En la actualidad los relés de distancia poligonales son los más utilizados, debido a las ventajas que ofrece su modo de operación. Su principal ventaja es que se puede configurar los valores de resistencia e impedancia de forma independiente, lo que permite cubrir las zonas de protección del relé con mayor exactitud. Las zonas de protección del relé de impedancia se muestran en la figura siguiente.



Zonas de protección relé poligonal.

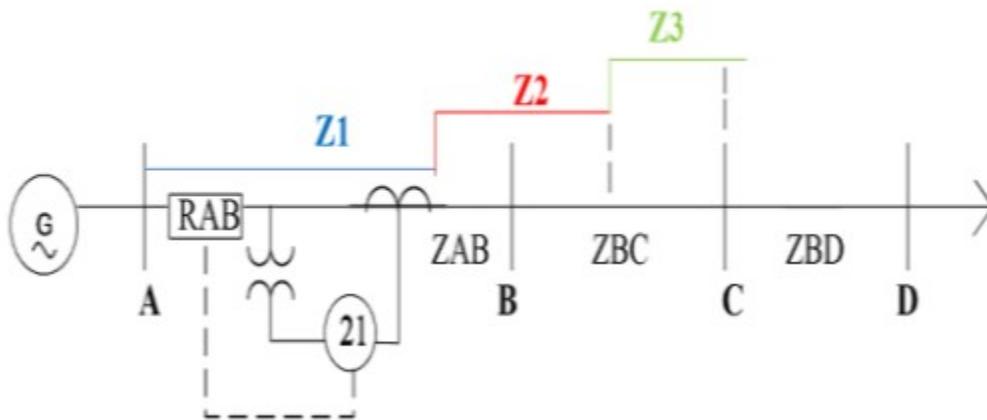
Impedancia aparente vista por el relé.

Los relés de distancia están diseñados para proteger al sistema de potencia de fallas: 3 \emptyset , 3 \emptyset -GND, 2 \emptyset , 2 \emptyset -GND y 1 \emptyset -GND. Cada relé de distancia está compuesto por 3 unidades de fase y 3 unidades fase-tierra. Las unidades de fase de las protecciones de distancia se encargan de detectar fallas 3 \emptyset y 2 \emptyset , mediante la medición de la impedancia aparente entre las fases A-B, B-C y CA; mientras que las unidades fase-tierra de los relés de distancia detectan fallas 3 \emptyset -GND, 2 \emptyset -GND y 1 \emptyset -GND; mediante la medición de la impedancia aparente entre la fase A-GND, B-GND y C-GND.

Zonas de protección

La zona 1 comúnmente protege entre el 80% y 95% de la línea de transmisión, donde está instalado el relé de distancia. La zona 2 protege el 100% de la línea donde se

encuentra instalado el relé y mínimo el 20% de la línea adyacente más corta, se debe tomar en cuenta que el alcance de la zona 2, no debe sobrepasar el alcance de la zona 1 del relé de distancia de la línea adyacente. La zona 3 de protección comúnmente protege el 100% de la línea de transmisión donde está instalado el relé de distancia y el 100% de todas las líneas adyacentes. Las 3 zonas de protección del relé RAB, actúan en tiempos diferentes; la zona 1 brinda una protección principal, mientras que las zonas 2 y 3 brindan protección de respaldo.



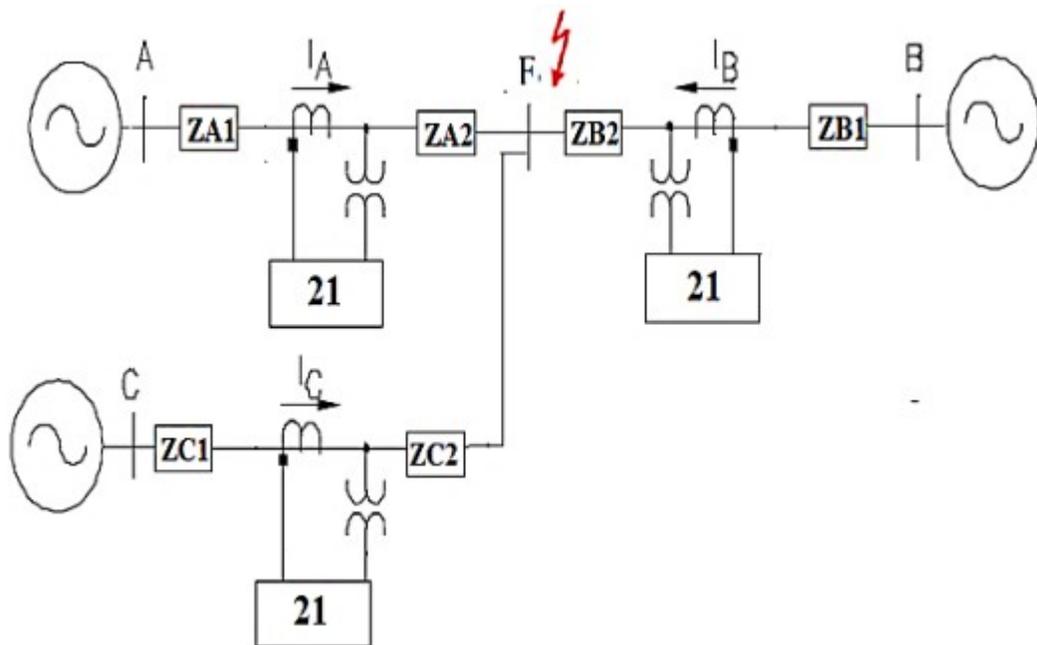
Zonas de protección relé de distancia.

Tiempos de operación

La zona 1 de las protecciones de distancia actúa instantáneamente, la zona 2 opera con un retardo de tiempo aproximado entre 0.25 y 0.4 segundos, la zona 3 opera con un retardo de tiempo entre 0.5 y 1 segundo; las zonas 2 y 3 actúan en caso de que la zona 1 del relé de distancia no opere, o a su vez otro tipo de protecciones como relés de sobrecorriente o direccionales, tampoco actúen.

Efecto infeed

El efecto infeed o también conocido como efecto de fuentes intermedias, ocasiona problemas de sub-alcance o sobre-alcance en las zonas de protección, de los relés de distancia, debido a la contribución de corriente de fuentes intermedias al sitio donde ocurre la falla, como se muestra en la figura. Al contrario de las zonas 2 y 3, la zona 1 no presenta problemas de ajuste frente al efecto infeed. Para contrarrestar dicho efecto, se puede utilizar medidores sincronizados en ambos extremos de las líneas de transmisión, que permiten proteger al sistema en caso de existir una falla; sin embargo, este sistema de protección, representa una gran inversión económica en equipos de comunicación; debido a ello existen metodologías que permiten calcular los ajustes en las zonas 2 y 3 de los relés de distancia tomando en cuenta el efecto infeed. Las metodologías proponen el cálculo de las zonas de ajuste 2 y 3 de los relés de distancia, mediante el cálculo de corrientes de falla de las líneas de transmisión, adyacentes al sitio donde se encuentra instalado el relé.



Efecto infeed.

Ajustes relés de distancia

Ajuste zona 1

Por lo general la zona 1 de protección no presenta problemas de sobre-alcance o sub-alcance, ante la presencia de fuentes intermedias o fuentes remotas adyacentes.

$$Z_1(R_{AB}) = k_1 \times Z_{AB}$$

Dónde:

$Z_1(R_{AB})$: Ajuste de la zona 1, relé RAB.

k_1 : Constante zona 1.

Z_{AB} : Impedancia de secuencia positiva de la línea de transmisión A-B.

En caso de existir una falla en esta zona el tiempo de actuación del relé de distancia es instantáneo. Para el cálculo de esta zona se utiliza una metodología basada en la impedancia de secuencia positiva de la línea de transmisión Z_{AB} , donde se encuentra instalado el relé, multiplicado por un factor k_1 igual a 0.9 (90% de la línea), tal como se muestra en la ecuación.

Ajuste zona 2

El ajuste de la zona 2 de las protecciones de distancia para los presentes casos de estudio, se calculó mediante la ecuación, se utilizó una metodología de cálculo basado en la impedancia de secuencia positiva de la línea de transmisión Z_{AB} , donde está instalado el relé; un factor constante k_2 que se determina mediante la ecuación, y la impedancia aparente vista por el relé de distancia $Z_a(R,C)$ al simular una falla en el nodo remoto de la

línea adyacente más corta, por ejemplo para el ajuste de la zona 2 del relé RAB de la figura , se determina la impedancia aparente vista por el relé, mediante la simulación de una falla en el nodo C, por ser la línea adyacente más corta. El análisis del efecto infeed se encuentra incluido en la impedancia aparente vista por el relé.

$$k_2 = 0.9 \times k_1$$

$$Z_2(R_{AB}) = Z_{AB} + k_2 \times [Z_A(R, C) - Z_{AB}]$$

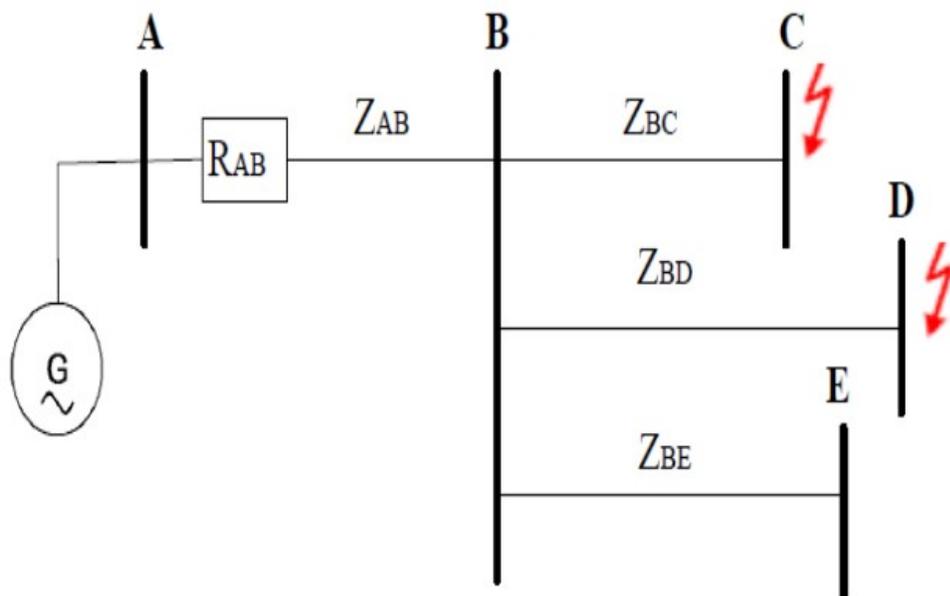
Dónde:

k_2 : Constante zona 2.

$Z_2(R_{AB})$: Ajuste de la zona 2, relé RAB.

Z_{AB} : Impedancia de secuencia positiva de la línea de transmisión A-B.

$Z_A(R, C)$: Impedancia aparente vista por el relé, cuando se simula una falla en el nodo C.



Ajuste zona 3

El ajuste de la tercera zona de protección de los relés de distancia, se calculó mediante la ecuación, se utilizó una metodología de cálculo basada en la impedancia aparente vista por el relé $Z_a(R,D)$, al simular una falla en el nodo remoto de la línea adyacente más larga, a la línea donde está instalado el relé de distancia, y un factor constante k_3 igual a 1.05, por ejemplo para el ajuste de la zona 3 del relé RAB de la figura, se determina la impedancia aparente vista por el relé, mediante la simulación de una falla en el nodo D, por ser la línea adyacente más larga. El análisis del efecto infeed se encuentra incluido en la impedancia aparente vista por el relé.

$$Z_3(R_{AB}) = k_3 \times [Z_a(R, D)]$$

Dónde:

$Z_3(R_{AB})$: Ajuste de la zona 3, relé RAB.

k_3 : Constante zona 3.

$Z_a(R, D)$: Impedancia aparente vista por el relé, cuando se simula una falla en el nodo D.

Referencias

- Búsqueda de artículos en redalyc.org. (s. f.). Redalyc.org.
<https://www.redalyc.org/busquedaArticuloFiltros.oa?q=Relevadores+de+distancia>
- Trujillo-Guajardo, L. A. (2012). Herramienta educativa para la formación de ingenieros en protecciones eléctricas: relevador de distancia. Redalyc.org.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40423274008>
- Desarrollo de un algoritmo para la detección de oscilaciones de potencia en relevadores de distancia basado en análisis modal. (2021). Tesis Digital. Recuperado 10 de marzo de 2023, de <http://132.248.9.195/ptd2021/octubre/0816034/Index.html>
- COORDINACIÓN AUTOMÁTICA DE PROTECCIONES DE DISTANCIA EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN FRENTE A UNA CONTINGENCIA EXTREMA. (2019). UPS. Recuperado 10 de marzo de 2023, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16920/1/UPS-ST003934.pdf>
- Conceptos básicos Protección de Distancia. (2020, 21 septiembre). Issuu.
https://issuu.com/memorias_conferencias_aciem/docs/memorias_conf_16_sep_2020_am?e=0