

## PROTECCIÓN DIRECCIONAL

Unidades que determinan la dirección del flujo de potencia y/o corriente en una localización determinada de un sistema eléctrico de potencia; de esta forma, es posible mediante este relé conocer la dirección de la ubicación de una falla.

Esta unidad direccional generalmente no se aplica sola, más bien se emplea en combinación con otra unidad, tal que ésta última detecte la falla y dé el orden de operación o de apertura del interruptor ante la presencia de un valor de corriente superior a un valor mínimo preestablecido. La unidad de protección sensora de la magnitud de la corriente generalmente es un relé de sobrecorriente de tiempo inverso (51), o instantáneo (50) o ambos (51/50).

Con la acción de ambos relés se consigue tener orden de apertura del interruptor (52) si la magnitud de la corriente de falla es mayor que un valor preestablecido (pick-up) y la dirección del flujo es concorde con una dirección preestablecida en el relé direccional; de otra manera, no hay orden de apertura del interruptor aunque la magnitud de la corriente circulante sea superior al valor “pick-up” del relé de sobrecorriente.

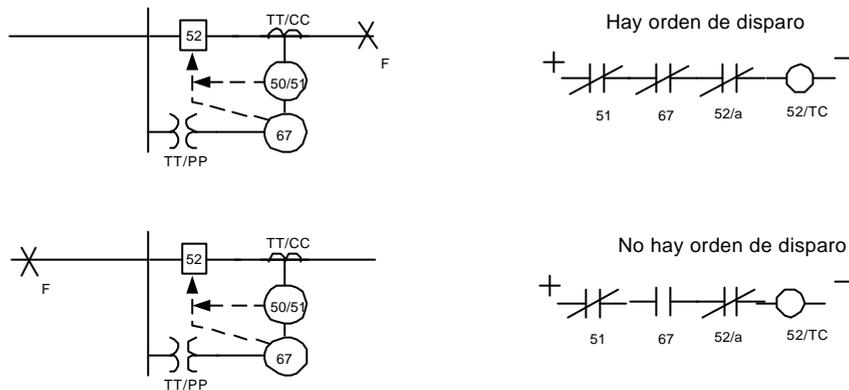
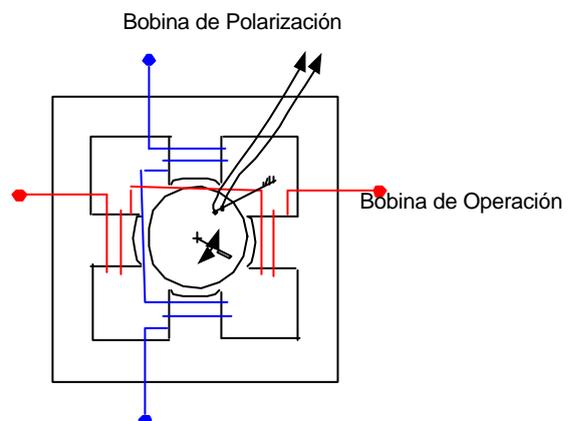


Figura N°1.- Diagrama funcional y circuito de control

La unidad direccional requiere que se le alimente con tensión y corriente o corriente y corriente, pero necesita que una de esas cantidades sea de “referencia o polarización”. Esta cantidad de referencia no debe cambiar de polaridad cualquiera sea la dirección del flujo de la corriente sensada.

De todas maneras, se debe aclarar que aunque este relé direccional es alimentado como una unidad wattmétrica, es decir, con tensión y corriente, éste no pueden responder a la potencia actual del sistema por las siguientes dos razones:

1. En condiciones de falla el factor de potencia del sistema es muy bajo, dado que la corriente de falla es inherentemente reactiva. Por lo cual el relé electromecánico desarrollará un muy bajo e insuficiente torque, o bien, un relé electrónico tendrá poca sensibilidad.
2. En cortocircuito la tensión en el punto de aplicación del relé puede verse sensiblemente reducida.



**Característica direccional**

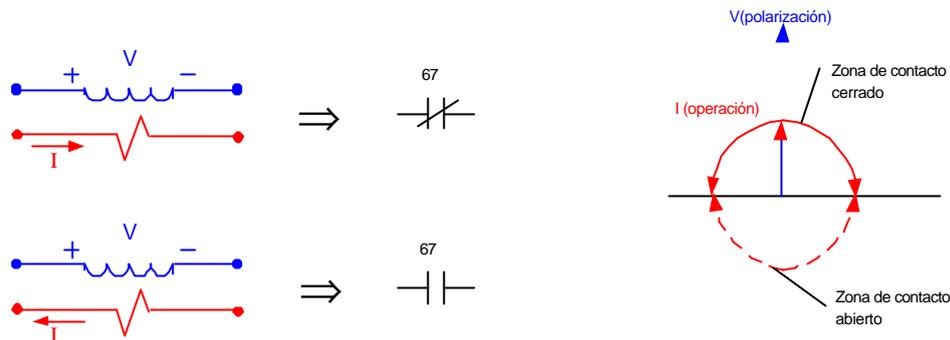


Figura Nº2 Característica direccional

La cantidad de polarización puede ser una señal de tensión o de corriente, con la condición de que ésta mantenga su polaridad cualquiera sea la dirección del flujo de corriente en el sistema de potencia.

**Diagrama de Conexión**

Los siguientes tipos de conexión son los que se han empleado por muchos años. Se clasifican como conexión 90°, 60°, 30°; esta denominación tiene que ver con la forma de conectarlos y no con el factor de potencia del sistema.

Para definir cada una de estas conexiones, se supone un diagrama fasorial de corrientes y tensiones con un factor de potencia igual a uno, y se define con la corriente de operación adelantada con respecto a la tensión aplicada en la bobina de polarización.

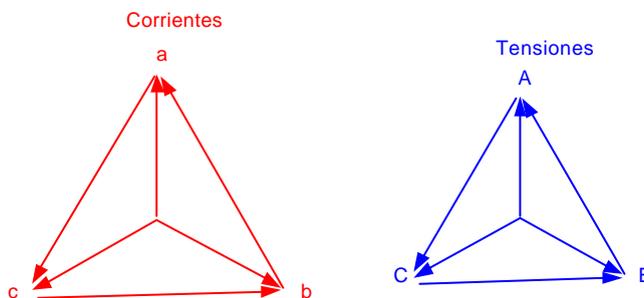


Figura Nº3.- Diagrama fasorial con factor de potencia resistivo, para la definición de la conexión de los relés direccionales

TABLA Nº1 Esquema de conexiones de relés direccionales

Conexión	Relé 1		Relé 2		Relé 3	
	I	V	I	V	I	V
30°	Ia	Vac	Ib	Vba	Ic	Vbc
60°-	Iab	Vac	Ibc	Vba	Ica	Vbc
6°-Y	Ia	-Vc	Ib	-Va	Ic	-Vb
90°-45°	Ia	Vbc	Ib	Vca	Ic	Vab

La conexión más utilizada actualmente es la de 90° y es considerada como la conexión estándar.

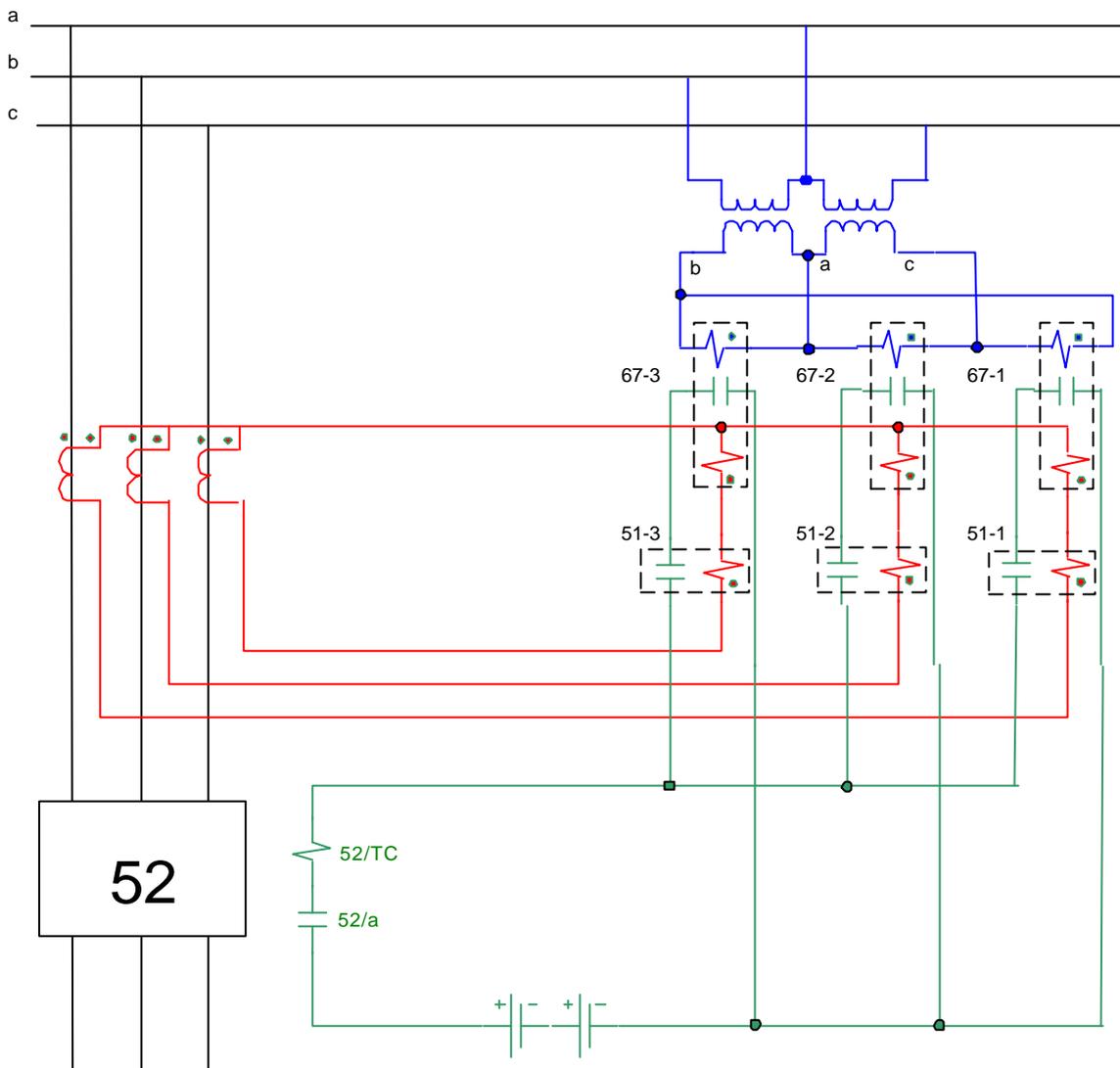


Figura N° 4 Conexión 90° de relés direccionales

Haciendo un análisis de todas estas conexiones revelan que ninguna de ellas es perfecta. Todas tienen una operación incorrecta ante una condición especial de falla que no es la misma para cada conexión. Afortunadamente, la posibilidad de que ocurran estas condiciones especiales en la gran mayoría de los sistemas es muy remota.

Como ya fue mencionado, el ángulo de conexión se define como el ángulo por el cual la corriente de operación aplicada al relé adelanta la tensión de polarización, de manera de producir una sensibilidad o el torque máximo. Para un relé estático, en cuyo caso el torque máximo no es estrictamente relevante, la importancia del ángulo de conexión en este tipo de relé es aquel en que alcanza su máxima sensibilidad.

### Protección direccional en línea paralelas

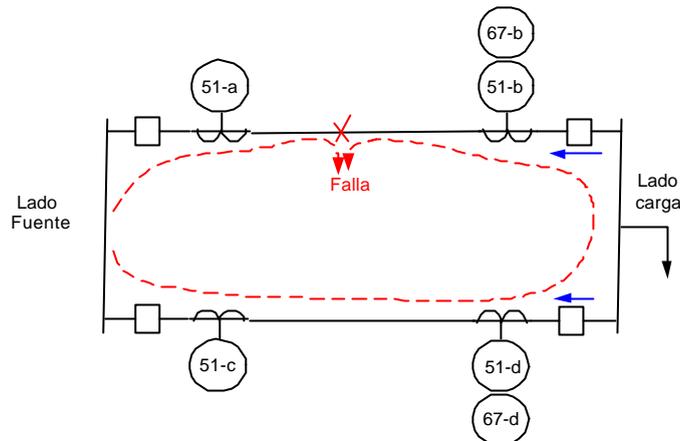


Figura N°5.- Líneas en paralelo con barra de carga

En este caso si no se aplican relés direccionales (67's) en los extremos receptores de las líneas, cualquier falla que ocurra en una de ellas, sin importar la calibración de los relés de corriente, despejarán la falla sacando de servicio ambas líneas.

Los 67's se deben instalar en los respectivos terminales receptores de las líneas, calibrados de tal manera que operen o cierren sus contactos cuando el flujo vaya en dirección de la barra de carga hacia la línea, es decir, que ambos relés en condiciones normales tendrán sus contactos abiertos. Sin embargo, esta sola medida no es suficiente en ciertos casos; como por ejemplo, cuando la falla ocurre cercana a la barra de carga, en esta situación ambos relés 51-b y 51-d, comenzaron a integrar el tiempo y operarán casi simultáneamente, de manera que es probable que al despejarse la falla totalmente, es muy posible que el 67-d cierre sus contactos y como el 51-d tenía ya sus contactos cerrados, habrá una orden de operación falsa del interruptor 52.d. Para evitar este problema es aconsejable conectar los contactos de los 67's con la bobina de operación de los respectivos relés de sobrecorriente (51 - 50) (ver figura N°6)

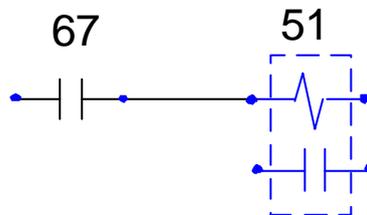


Figura N°6.- Solución para evitar falsas ordenes de apertura

### Alimentador en anillo

En este caso, de tener un alimentador en anillo con solo un punto de alimentación, es prácticamente imposible conseguir una buena selectividad de los esquemas de protección de sobrecorriente, sin emplear direccionales.

Se debe destacar que cuando el número de subestaciones o barras en el anillo, es un número par, los relés que tienen igual tiempo de operación o calibración están en la misma subestación y por consiguiente se les deberá direccionar; por otra parte, cuando el número de subestaciones es impar, los dos esquemas que tienen idéntico tiempo de operación resultan estar en subestaciones distintas y no requieren direccionamiento.

La forma de estudiar la calibración de los esquemas de sobrecorriente en un sistema de distribución en anillo, consiste en dividir el problema en dos, coordinando los esquemas en un sentido a favor de los

punteros del reloj y luego en sentido antireloj. Es decir, tomado como ejemplo el esquema mostrado en la figura N°7, la primera calibración consiste en coordinar independientemente los siguientes elementos: relés 1,2,3,4,5 y 6 y luego en sentido contrario, es decir, 1',2',3',4',5' y 6'

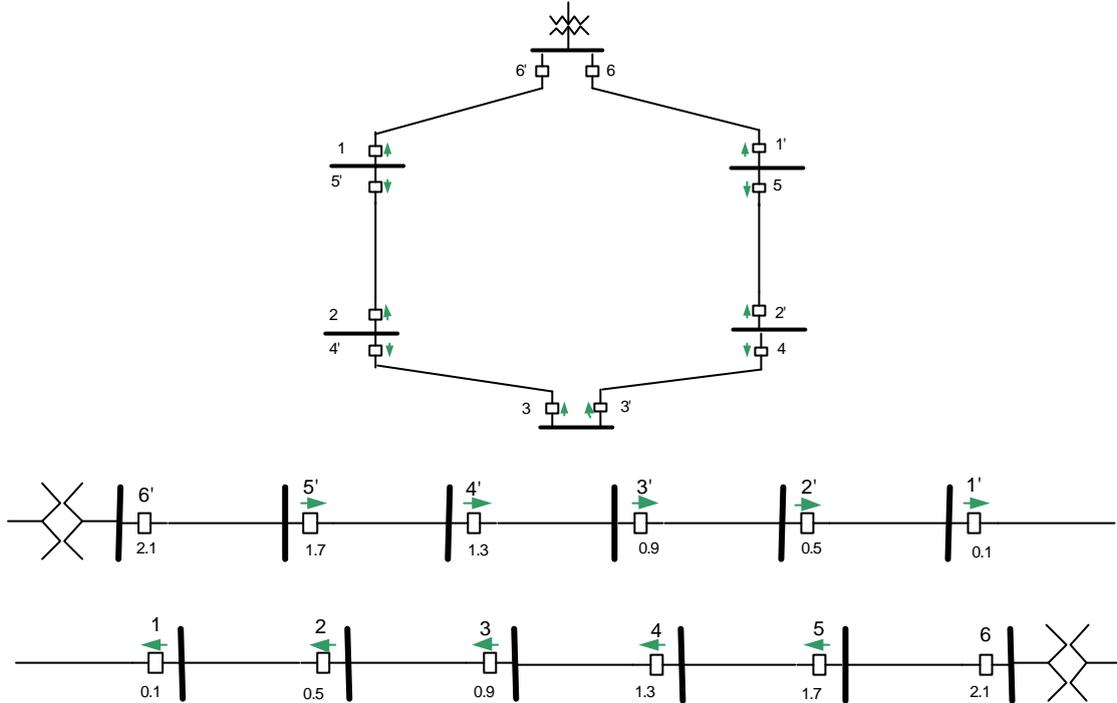


Figura N°7.- Alimentador en anillo

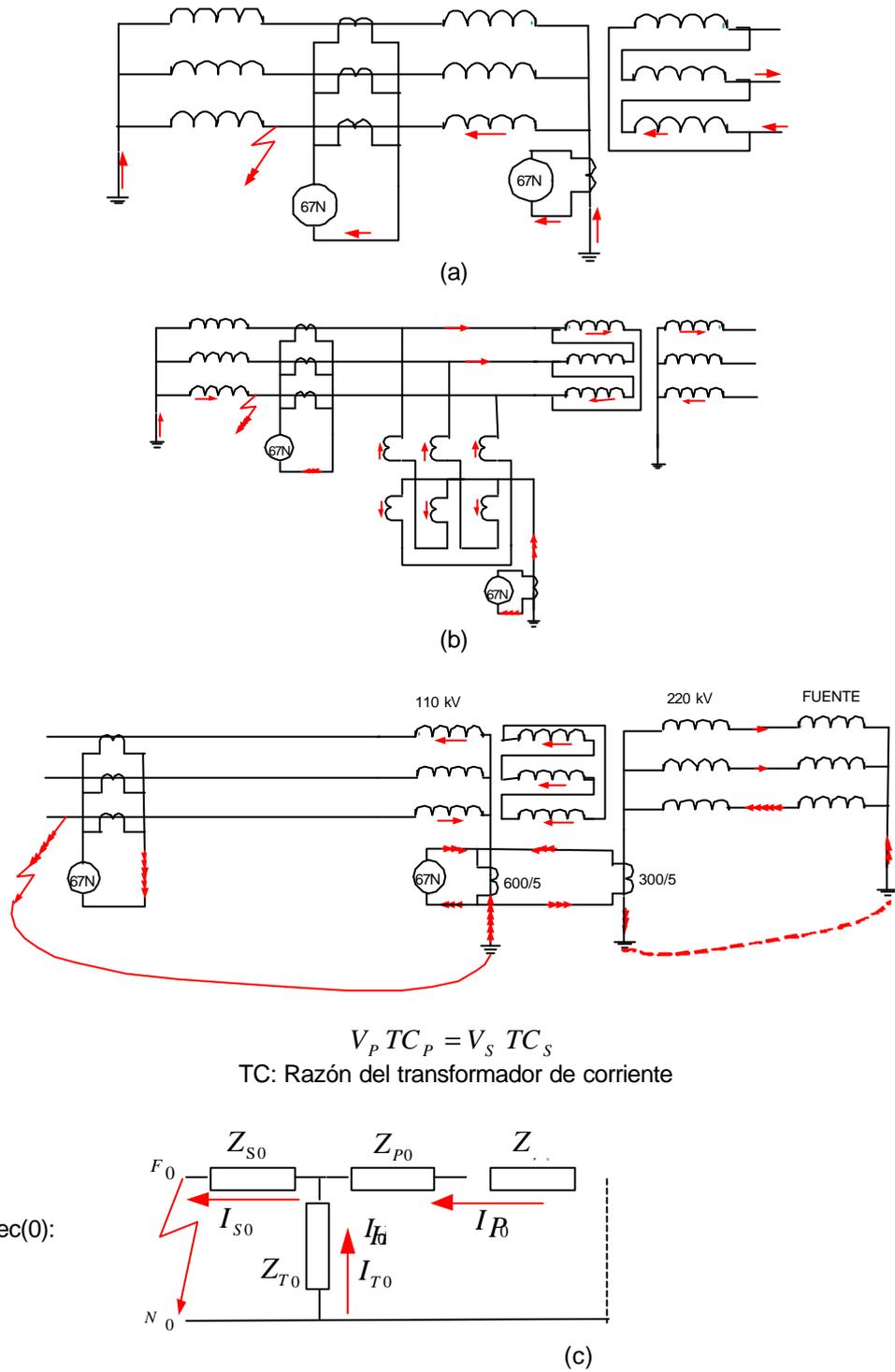
### Protección de sobrecorriente direccional de fallas a tierra

El esquema de protección de sobrecorriente residual, es aquella que tiene como finalidad proteger exclusivamente de cortocircuitos a tierra, sensando la corriente en los neutros de transformadores y máquinas solidamente aterrizadas.

Toda corriente que circula por el neutro o por la conexión a tierra se le denomina *corriente residual*. Esta corriente, por lo tanto, es igual a tres veces la corriente de secuencia a cero que circula por cada fase y que resulta como consecuencia de una falla a tierra.

Como en el caso anterior, los relés direccionales necesitan de una *cantidad de polarización*, es decir, de una variable de referencia que no cambie de polaridad cualquiera sea la dirección del flujo de corriente.

Las siguientes figuras muestran algunas conexiones adecuadas para ser utilizadas como cantidad de polarización.



$$V_p TC_p = V_s TC_s$$

TC: Razón del transformador de corriente

Malla de Sec(0):

Figura N°8.- Esquemas adecuados de polarización

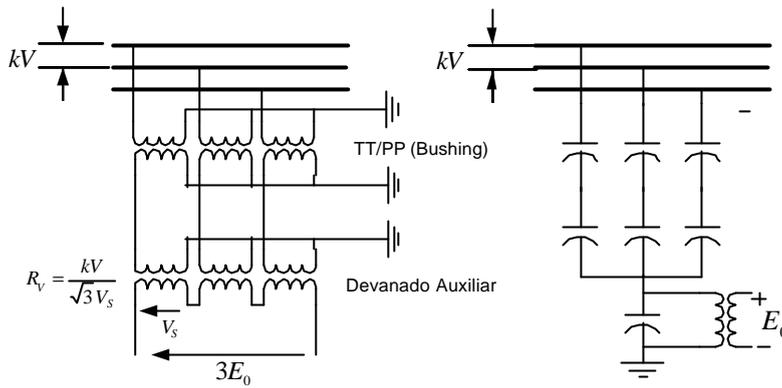


Figura N°9 Conexiones comunes para obtener tensiones de polarización

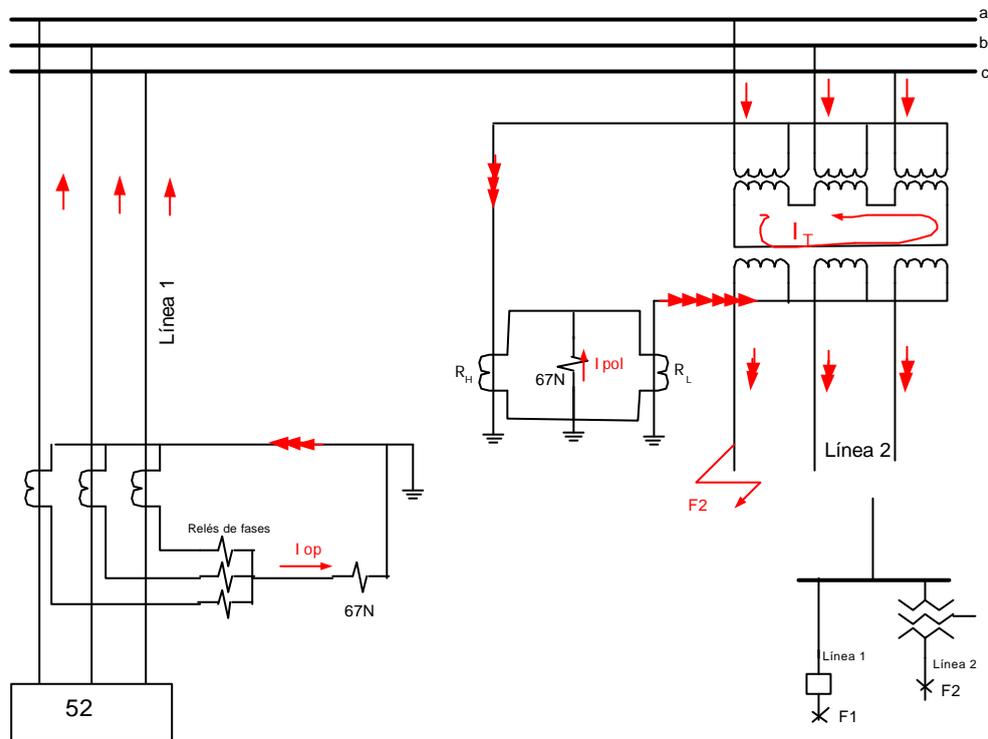
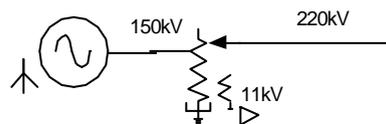


Figura N°10 Corriente de polarización para un esquema de protección residual direccional para fallas a tierra en la línea #1

Ejemplos de calculo de cantidades de polarización:

Ejemplo #1

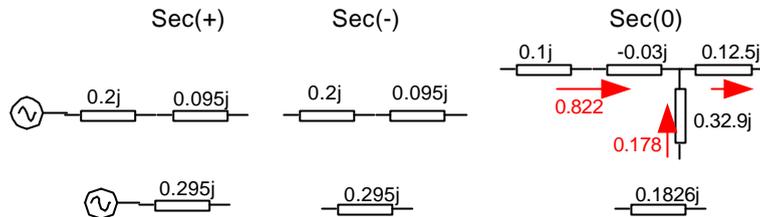


Sistema equivalente: 150kV  $X_1=X_2=20\%$   $X_0=10\%$

Autotransformador: 37.5 MVA, 220/150/11kV,  $X_H=12.5\%$   $X_L=-3\%$   $X_T=32.9\%$

Todos los valores están dados en base común de 37.5 MVA.

Mallas de secuencias:



a) Cálculo de la corriente de polarización.

$$Z_{FF-T} = 2 \cdot 0.295 + 0.1826 = 0.7726 \text{ pu}$$

$$I_{F+} = I_{F-} = I_{F0} = \frac{1}{Z_{FF-T}} = \frac{1}{0.7726} = 1.29 \text{ pu}$$

$$I_{H0} = 1.29 \frac{37.5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 220} = 127 \text{ amp en 220 kV}$$

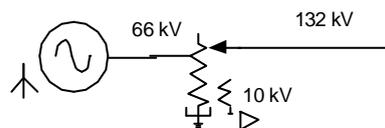
$$I_{L0} = 1.29 \cdot 0.822 \frac{37.5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 150} = 153 \text{ amp en 150 kV}$$

$$I_N = I_{pol} = 3(-127 + 153) = 78 \text{ amp por el neutro}$$

Corriente por terciario

$$\frac{0.178}{\sqrt{3}} \cdot 1.29 \frac{37.5}{\sqrt{3} \cdot 11} = \frac{45.2}{\sqrt{3}} = 261 \text{ amp en 11 kV b}$$

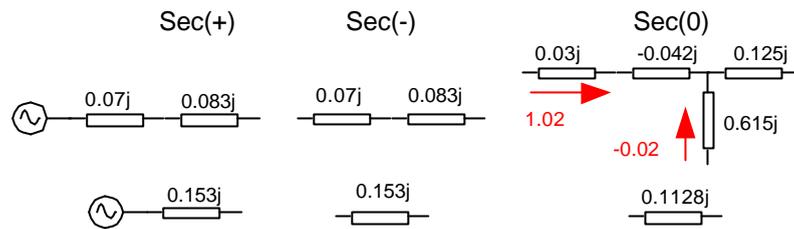
Ejemplo #2 en que la corriente del Terciario invierte su sentido de giro:



Sistema equivalente: 132kV  $X_1=X_2=7\%$   $X_0=3\%$

Autotransformador: 100 MVA, 132/66/10kV,  $X_H=12.5\%$   $X_L=-4.2\%$   $X_T=61.5\%$

Todos los valores dados en base común 100 MVA



$$Z_{FF-T} = 2 \cdot 0.153 + 0.1129 = 0.4188 \text{ pu}$$

$$I_{F+} = I_{F-} = I_{F0} = \frac{1}{Z_{FIF-T}} = \frac{1}{0.4188} = 2.388 \text{ pu}$$

$$I_{H0} = 2.388 \cdot \frac{100 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 132} = 1044 \text{ amp en } 132 \text{ kV}$$

$$I_{L0} = 2.388 \cdot 1.02 \cdot \frac{100 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 66} = 2131 \text{ amp en } 66 \text{ kV}$$

Corriente de polarización

$$I_N = I_{pol} = 3(2131 - 1044) = 3261 \text{ amp por el neutro}$$

Corriente en el Terciario

$$\frac{2.388}{\sqrt{3}} \cdot (-0.02) \cdot \frac{100 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10} = 159.2 \text{ amp}$$