

ENTREGA 5

Cálculo de cortocircuitos en los sistemas eléctricos de potencia

Elaborado por Pablo Tumero

Cortocircuito monofásico en los SEP. Su representación mediante barras ficticias.

Condiciones del sistema en el punto de falla

$$I_b = I_c = 0 \quad \text{Fases "sanas".} \quad (30)$$

$$U_a = 0 \text{ ó } U_a = Z_f \cdot I_a \quad \text{Según la impedancia de falla sea cero o desigual de cero.} \quad (31)$$

Componentes simétricas de las corrientes desbalanceadas.

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a1} \\ I_{a1} \\ I_{a1} \end{bmatrix} \quad (32)$$

Efectuando se observa que $I_{a0} = I_{a1} = I_{a2} = \frac{1}{3} I_a$. Es decir que las tres componentes de secuencia son iguales entre sí.

La mejor manera de obtener las expresiones para calcular las corrientes debidas a los cortocircuitos de cualquier tipo, es a través de la interconexión de las redes de secuencia. Como esta falla desbalancea el circuito y comprende la tierra son necesarias tres redes de secuencia (+ - y 0). La condición de que las tres corrientes de secuencia sean iguales indica que deben conectarse en serie entre el punto de falla y la referencia, como se muestra en la figura 23.

Aplicando la primera Ley de Kirchhoff, en las tres redes de la figura 23 se obtiene el valor de la corriente I_{a1} en función de elementos conocidos. Así:

$$I_{a1} = \frac{U_{pf}}{Z_{1+} + Z_2 + Z_0} \quad \text{Si } Z_F = 0 \quad (33)$$

Cálculo de la corriente de cortocircuito

Con la expresión anterior sólo se tiene una de las tres componentes de secuencia, por lo que hay que aplicar la expresión que relaciona las componentes de fase con las de secuencia, o sea:

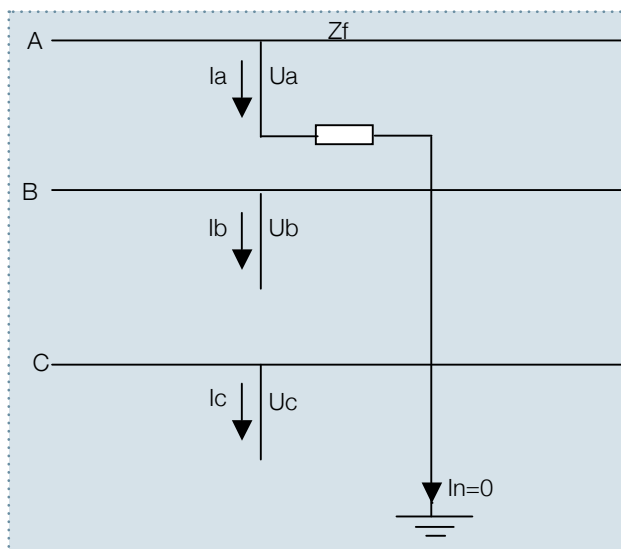


Figura 22. Representación de un cortocircuito monofásico mediante las barras ficticias

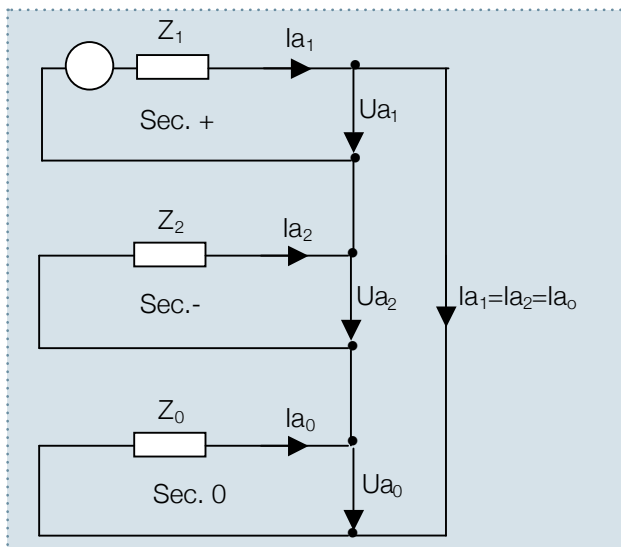


Figura 23. Redes de secuencia, reducidas mediante el teorema de Thevenin, interconectadas en serie entre el punto de falla y la referencia para representar un cortocircuito monofásico

$$(I)=(S)(I_s)$$

(34) provocar ajustes incorrectos en el relevador.

Para el caso particular de la falla monofásica:

$$\begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (35)$$

Efectuando: $I_a = 3I_{a1} = I_{cc} \text{ pu.}$ (36)

Se deja al alumno demostrar, continuando el desarrollo que $I_b=I_c=0$

Indicación: $1+a^2+a=0$

Reactancia de cortocircuito para el caso de una falla monofásica

En el epígrafe anterior se determinó que es posible calcular la reactancia que representa los MVA de falla debido a un cortocircuito trifásico mediante la expresión:

$$X_{cc_{pu}} = \left(\frac{P_b}{MVA_{cc}} \right) \left(\frac{U_{nom}}{U_b} \right)^2 \quad \text{Donde los MVA de falla son trifásicos.} \quad (37)$$

En el caso de las fallas monofásicas, aunque la expresión de los MVA de falla es idéntica, pero con la corriente monofásica, hay que tener en cuenta otras consideraciones, como se verá a continuación:

$$MVA_{cc_{1\phi}} = \sqrt{3} U_{nom} I_{cc_{1\phi}} 10^{-3} \text{ MVA} \quad (38)$$

Sustituyendo la expresión de la corriente por su fórmula en pu llevada a amperes se tiene:

$$MVA_{cc} = \sqrt{3} U_{nom} \left(3 \frac{U_{pf_{pu}}}{X_1 + X_2 + X_0} \right) \frac{MVA_B 10^3}{\sqrt{3} I_{In}} 10^{-3} \quad \text{Donde: } U_{pf_{pu}} = \frac{U_{pf_{kV}}}{U_R} \text{ pu.} \quad (39)$$

Reordenando la ecuación anterior:

$$MVA_{cc} = 3 \left(\frac{U_{nom} U_{pf_{kV}}}{U_B^2} \right) MVA_B \frac{1}{X_1 + X_2 + X_0} \quad \text{Despejado } X_0 : \quad (40)$$

$$X_0 = 3 \left(\frac{U_{nom} U_{pf_{kV}}}{U_B^2} \right) \frac{MVA_B}{MVA_{cc}} - (X_1 + X_2) \text{ Pu. (Vea problema resuelto).} \quad (41)$$

Falla a través de una impedancia Zf y/o una impedancia en el neutro Zn

Cuando los cortocircuitos son efectivos, es decir cuando $Z_f=0$, se obtienen los valores de corrientes más altas y por lo tanto son los más prudentes a utilizar cuando se determinan los efectos nocivos de las corrientes de cortocircuito. Sin embargo, hay casos, como por ejemplo cuando se ajustan los relés llamados de impedancia, en que se deben considerar las impedancias de falla, ya que no incluirlas en los cálculos puede

En este caso, si además hay una impedancia en el neutro, la corriente de secuencia cero se encuentra una impedancia $Z_0+3(Z_f+Z_n)$ por lo que la expresión de la corriente será:

$$I_{a1} = \frac{U_{pf}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f + 3Z_n} \quad \text{Que es menor que la de una falla efectiva} \quad (42)$$

En todos los casos el llamado voltaje de prefalla es el voltaje de Thevenin como ya se explicó.

Cálculo de los voltajes en el punto de falla

Para ejemplificar estos cálculos se supondrán valores numéricos de los elementos del circuito. Así:

$$I_{a1}=I_{a2}=I_{a0}=-j3,7 \text{ pu. } Z_1=Z_2=j0,1 \text{ pu. } U_{pf}=1+j0 \text{ pu. } Z_0=-j0,07 \text{ pu.} \quad (43)$$

La expresión para calcular los voltajes desbalanceados en el punto de cortocircuito es:

$$(U) = (S) (U_s). \quad (44)$$

Los voltajes de secuencia (+), (-) y (0) se obtienen aplicando la segunda Ley de Kirchhoff en las redes de secuencia reducidas por Thevenin. Las ecuaciones y los resultados son los siguientes:

$$U_{a1} = U_{pf} - jX_1 I_{a1} = 1 - j0,1(-j3,7) = 0,63 \text{ pu.} \quad (45)$$

$$U_{a2} = -jX_2 I_{a2} = -j0,1(-j3,7) = -0,37 \text{ pu.} \quad (46)$$

$$U_{a0} = -j0,07(-j3,7) = -0,26 \text{ pu.} \quad (47)$$

Sustituyendo:

$$\begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0,26 \\ 0,63 \\ -0,37 \end{bmatrix} \quad (48)$$

Efectuando, los voltajes de fase, U_a , U_b e U_c en el punto fallado serán: