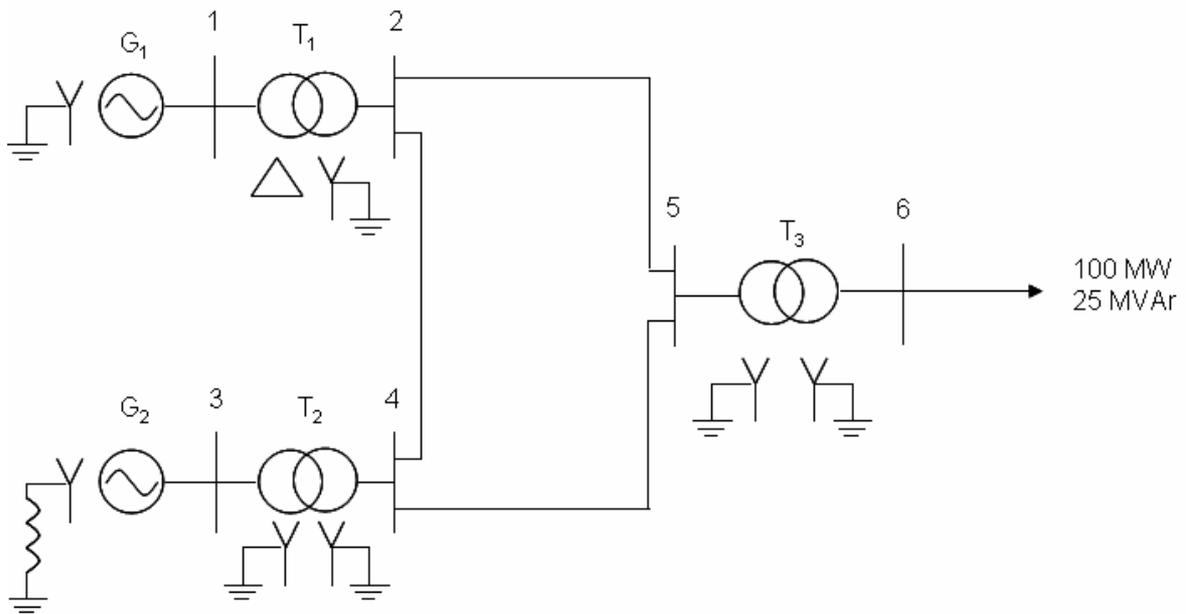




**CLASE AUXILIAR DE CORTOCIRCUITO – EL57A**

Prof.: Pablo Medina C.

Se quiere estudiar el comportamiento del siguiente SEP cuando ocurre una falla bifásica a tierra:



Elementos	Valores
G <sub>1</sub> y G <sub>2</sub>	X <sub>0</sub> = 0,09 X <sub>1</sub> = X <sub>2</sub> = 0,35
T <sub>1</sub> y T <sub>2</sub>	X <sub>0</sub> = X <sub>1</sub> = X <sub>2</sub> = 0,1
T <sub>3</sub>	X <sub>0</sub> = X <sub>1</sub> = X <sub>2</sub> = 0,05
Líneas 2-5 y 4-5	X <sub>0</sub> = 1,15 X <sub>1</sub> = X <sub>2</sub> = 0,35
Línea 2-4	X <sub>0</sub> = 1,8 X <sub>1</sub> = X <sub>2</sub> = 0,45
Reactancia G <sub>2</sub>	X <sub>R</sub> = 0,03

T<sub>1</sub> es Yd<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> son Yy<sub>0</sub>

Dicha falla se produce en la barra 6. Se pide determinar:

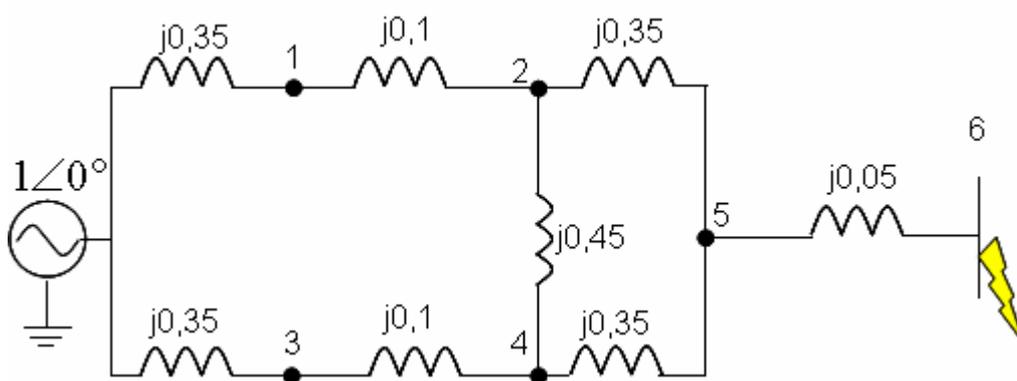
- a) Tensiones y corrientes en la barra 6
- b) Tensiones en la barras 5 y 1
- c) Corriente por el neutro del transformador 1
- d) ¿Cómo cambian los resultados para la barra 6 si se consideran los desfases producidos por T<sub>1</sub>?

Solución

- a) El primer paso en la resolución de un problema de fallas es construir las redes de secuencia y obtener el equivalente del sistema visto desde el punto de falla:

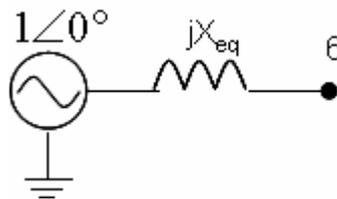
*Para la secuencia positiva:*

Se asume que todos los generadores tienen una tensión interna de  $1\angle 0^\circ$ , razón por la cual es posible representar el sistema de la siguiente manera:



**Ilustración 1: Malla de secuencia positiva**

Recordemos que queremos llegar a la siguiente representación:



**Ilustración 2: Equivalente del sistema visto desde barra 6**

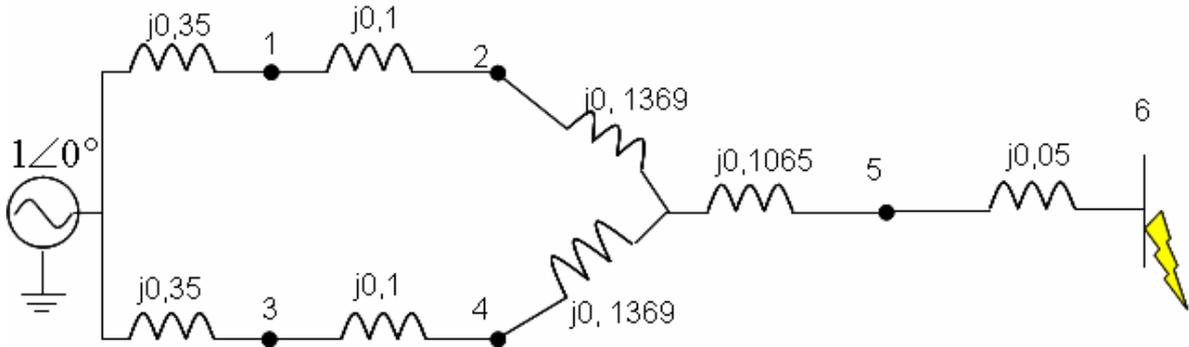
Para llegar a eso, primero es necesario encontrar una impedancia equivalente entre el nodo 5 y la fuente. Es por esto que es necesario realizar una transformación delta-estrella para las líneas (nodos 2,4 y 5):

$$Z_{2n} = \frac{Z_{25} \cdot Z_{24}}{Z_{25} + Z_{24} + Z_{45}} = j0,1369$$

$$Z_{4n} = \frac{Z_{45} \cdot Z_{24}}{Z_{25} + Z_{24} + Z_{45}} = j0,1369$$

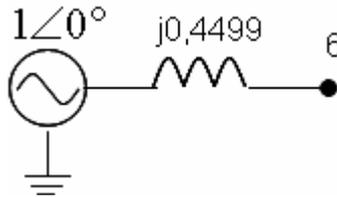
$$Z_{5n} = \frac{Z_{45} \cdot Z_{25}}{Z_{25} + Z_{24} + Z_{45}} = j0,1065$$

Ahora la malla queda de la siguiente manera:



**Ilustración 3: Malla de secuencia positiva con transformación delta-estrella**

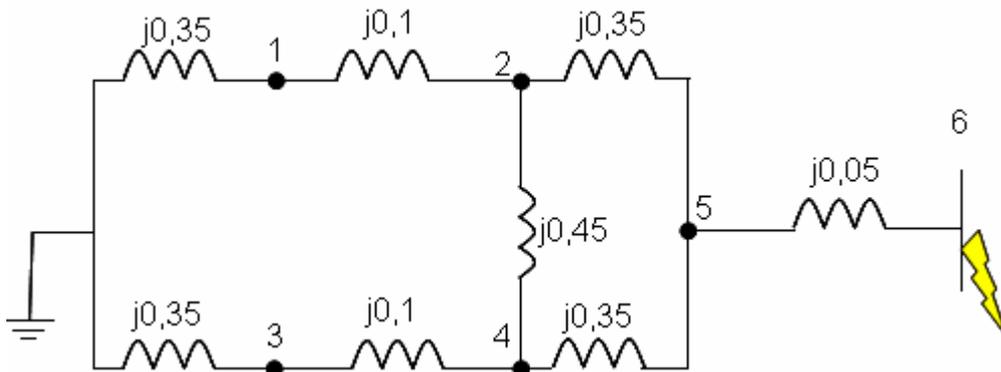
Ahora se puede obtener fácilmente la reactancia entre la fuente y el punto 6. (queda propuesto calcularla). Finalmente, la malla de secuencia positiva es:



**Ilustración 4: Equivalente de secuencia positiva visto desde barra 6**

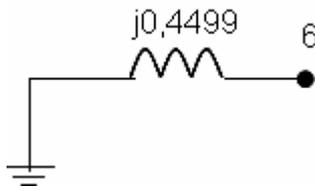
Para la secuencia negativa:

Dado los valores de nuestro ejemplo, las reactancias son las mismas que en secuencia positiva (esto no es así en la práctica). Dado que no hay fuentes de secuencia negativa, la malla queda entonces:



**Ilustración 5: Malla de secuencia negativa**

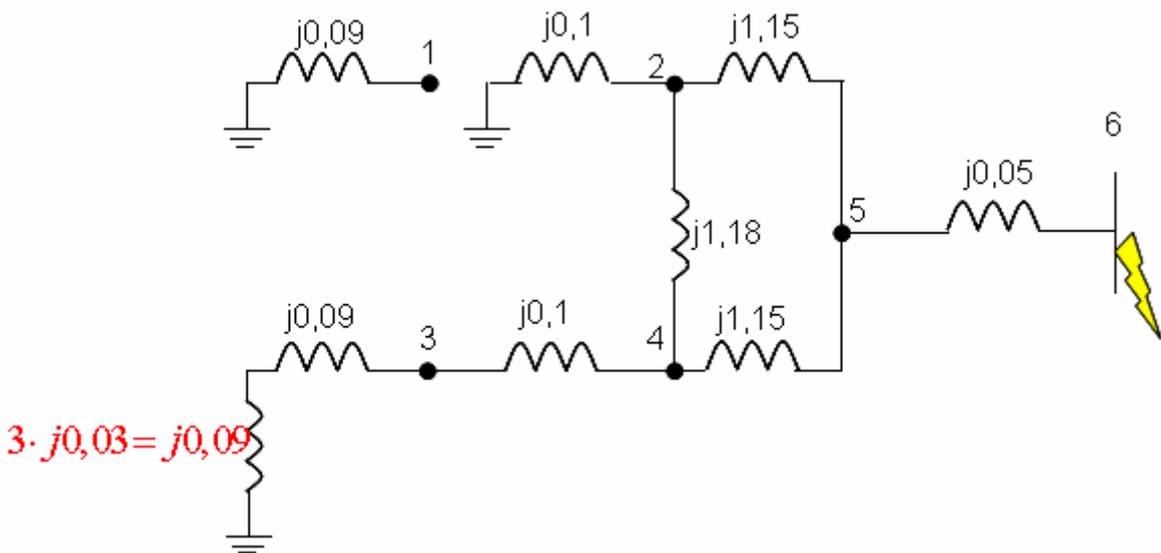
Realizando el mismo trabajo que se hizo para la malla de secuencia positiva, el equivalente de secuencia negativa del sistema es:



**Ilustración 6: Equivalente de secuencia negativa visto desde barra 6**

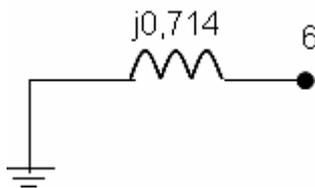
Para secuencia cero:

En esta malla se debe tener cuidado en cómo están conectados los transformadores y generadores a tierra. Para este ejemplo, la malla de secuencia cero es la siguiente:



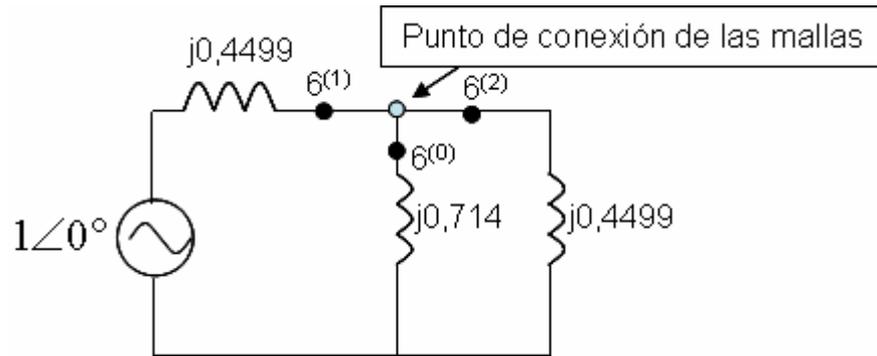
**Ilustración 7: Malla de secuencia cero**

Para una falla en la barra 6, según la malla de secuencia cero, no nos interesa el generador 1. Realizando la transformación delta estrella y considerando que el neutro del transformador está conectado al mismo punto que la reactancia del generador (unir las tierras), se llega al equivalente de secuencia cero es el siguiente:



**Ilustración 8: Equivalente de secuencia cero visto desde la barra 6**

Para encontrar voltajes y corrientes en la barra 6, considerando que la falla es bifásica a tierra, la conexión de estas mallas es la siguiente:



**Ilustración 9: Conexión de las mallas de secuencia**

Para este tipo de falla, en este caso ha coincidido que los extremos de las distintas mallas estén conectados en el mismo punto, ya que cuando existe impedancia de falla, sólo las mallas de secuencia positiva y negativa estarán conectados al mismo punto (en ese caso, entre  $6^{(0)}$  y el punto de conexión va una impedancia igual a  $3Z_f$ ). Luego, los voltajes de secuencia son medidos desde los puntos  $6^{(i)}$  y no desde el punto de conexión de las mallas

Dado que no existe impedancia de falla, en este caso los voltajes en la barra 6 de las tres secuencias será el mismo. Se deja propuesto calcular que dicho voltaje es:

$$V_a^{(1)} = V_a^{(2)} = V_a^{(0)} = 0,3801$$

Las corrientes de secuencia son las siguientes:

$$I_a^{(1)} = \frac{1 - 0,3801}{j0,4499} = -j1,3778$$

$$I_a^{(2)} = \frac{-0,3801}{j0,4499} = j0,8448$$

$$I_a^{(0)} = \frac{-0,3801}{j0,714} = j0,5323$$

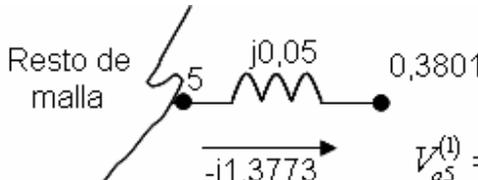
Utilizando la transformada de Fortescue, se tiene que:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a^{(0)} \\ V_a^{(1)} \\ V_a^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,3801 \\ 0,3801 \\ 0,3801 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,1403 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

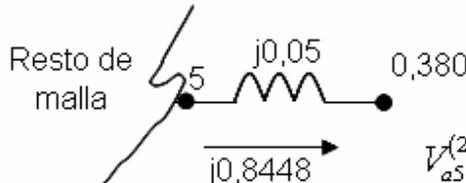
$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a^{(0)} \\ I_a^{(1)} \\ I_a^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} j0,5323 \\ -j1,3778 \\ j0,8448 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 2,0839 \angle 157,4616^\circ \\ 2,0839 \angle 22,5383^\circ \end{bmatrix}$$

- b) Para calcular cualquier cosa en otro punto del sistema, debemos devolvemos por las mallas de secuencia. Analicemos a la barra 5.

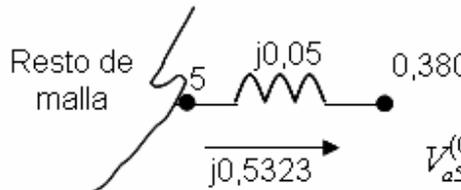
Para cada malla, se tiene lo siguiente:



$$V_{a5}^{(1)} = -j1,3773 \cdot j0,05 + 0,3801 = 0,4489$$



$$V_{a5}^{(2)} = j0,8448 \cdot j0,05 + 0,3801 = 0,3378$$

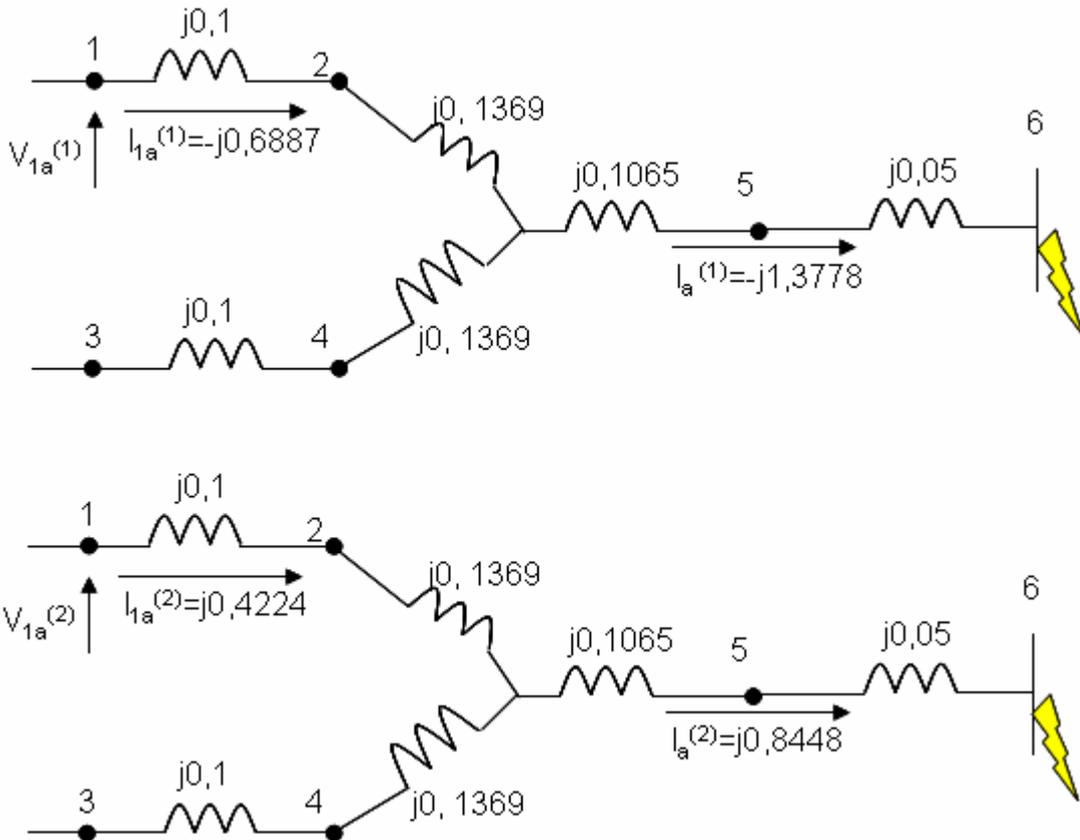


$$V_{a5}^{(0)} = j0,5323 \cdot j0,05 + 0,3801 = 0,3534$$

Utilizando la transformada de Fortescue, se tiene que:

$$\begin{bmatrix} V_{a5} \\ V_{b5} \\ V_{c5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a5}^{(0)} \\ V_{a5}^{(1)} \\ V_{a5}^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,3534 \\ 0,4489 \\ 0,3378 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,1401 \\ 0,1041 \angle -112,5489^\circ \\ 0,1041 \angle 112,5489^\circ \end{bmatrix}$$

Para la barra 1, se procede de manera similar, claro que ahora tenemos que devolvemos más atrás.



**Ilustración 10: Distribución de corrientes en las mallas de secuencia positiva y negativa**

Notar que para la barra 1 no existe tensión de secuencia cero, ya que no hay fems de esta secuencia y tampoco hay circulación de corrientes dada la conexión del trafo.

A partir de la Ilustración 10 y de los voltajes de secuencia en el punto de falla, se obtienen los voltajes de secuencia de la barra 1:

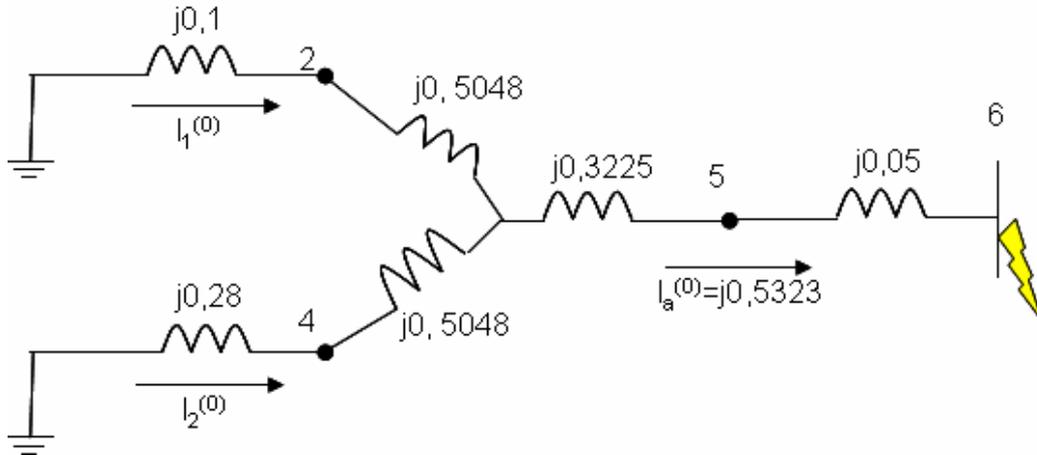
$$V_{1a}^{(1)} = (j0,1 + j0,1369) \cdot -j0,6887 - j1,3778 \cdot j0,1565 + 0,3801 = 0,7589$$

$$V_{1a}^{(2)} = (j0,1 + j0,1369) \cdot j0,4224 + j0,8448 \cdot j0,1565 + 0,3801 = 0,2479$$

Utilizando la transformada de Fortescue, se tiene que:

$$\begin{bmatrix} V_{a5} \\ V_{b5} \\ V_{c5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a5}^{(0)} \\ V_{a5}^{(1)} \\ V_{a5}^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0,7589 \\ 0,2479 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,0068 \\ 0,6703 \angle -138,6813^\circ \\ 0,6703 \angle 138,6813^\circ \end{bmatrix}$$

- c) Para calcular la corriente que pasa por el neutro de  $T_1$ , también nos devolvemos a través de mallas de secuencia. En este caso, sólo debemos utilizar la malla de secuencia cero, ya que es la única corriente que circula por el neutro:



**Ilustración 11: Malla de secuencia cero con equivalente estrella-delta**

Para calcular la corriente  $I_1^{(0)}$  podemos utilizar el divisor de corriente:

$$I_1^{(0)} = \frac{j0,28 + j0,5048}{j0,1 + j0,5048 + j0,28 + j0,5048} j0,5323 = j0,3006$$

La corriente que circula por los neutros es 3 veces la corriente de línea de secuencia cero. Luego

$$I_{n_{T1}} = j0,9018$$

- d) En los cálculos anteriores, no se consideraron los desfases provocados por  $T_1$ . Veamos ahora que pasa.

En estricto rigor, las corrientes y voltajes de secuencia calculados a través de la interconexión de mallas de secuencia (o a través de otro método), se deben desfasar antes de que se combinen para formar los voltajes reales, en aquellas partes donde se introduzcan desfases (Stevenson).

En este caso, en secuencia positiva (cuando todo está normal) el lado de la alta está  $30^\circ$  adelante del lado de baja (conexión Yd1) y la corriente se retrasa en  $30^\circ$ . Se tiene el caso contrario cuando se trabaja en secuencia negativa

En estos casos, se deben usar transformadores ideales para relacionar un lado con el otro.