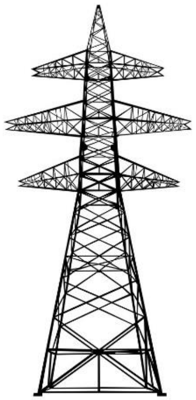


EIE

Escuela de
Ingeniería Eléctrica

IE-0365 Transmisión de Potencia

Presentación #9

Dr. Gustavo Valverde Mora
Profesor Catedrático

gustavo.valverde@ucr.ac.cr

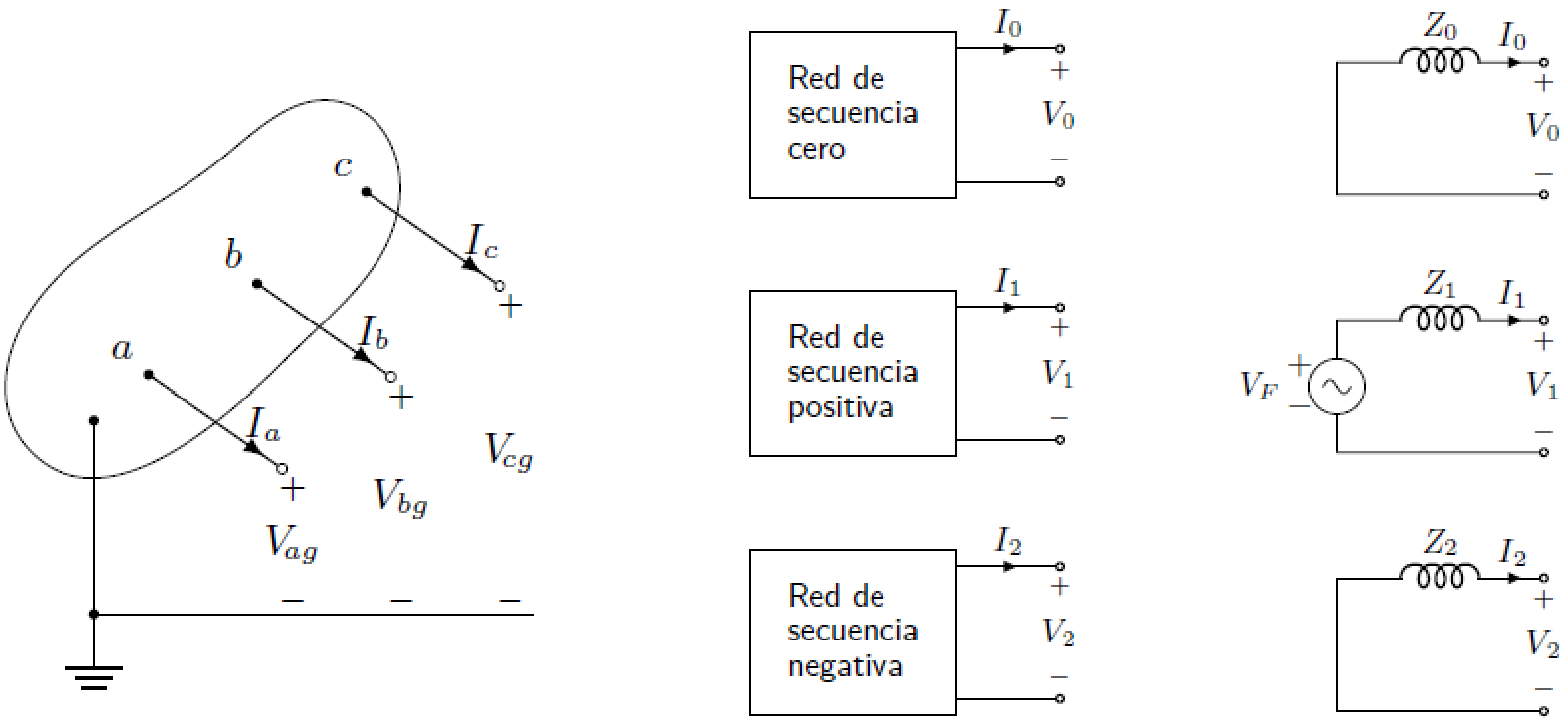
Análisis de fallas desbalanceadas

Usualmente se hacen las siguientes suposiciones:

- Antes de la falla el sistema operaba en condiciones balanceadas, y las redes de sec. (+), (-) y (0) están desacopladas. En el caso de falla desbalanceada, estas redes se conectarán únicamente en el lugar de la falla.
- La corriente prefalla se desprecia. De modo que las tensiones de todas las fuentes de sec. (+) son iguales a $\bar{V}_F$.
- La contribución de los motores de inducción pequeños (menores a 50 hp) se ignoran, los demás se tratan igual que las máquinas síncronas.

Cuando se ignoran las resistencias de transformadores, líneas y máquinas rotativas, las corrientes de cortocircuito serán ligeramente mayores al caso en que sí se toman en cuenta estas resistencias.

Análisis de fallas desbalanceadas



En análisis de fallas por componentes simétricas se deben conocer los equivalentes de Thévenin para cada red se secuencia vistos desde el punto donde ocurre la falla.

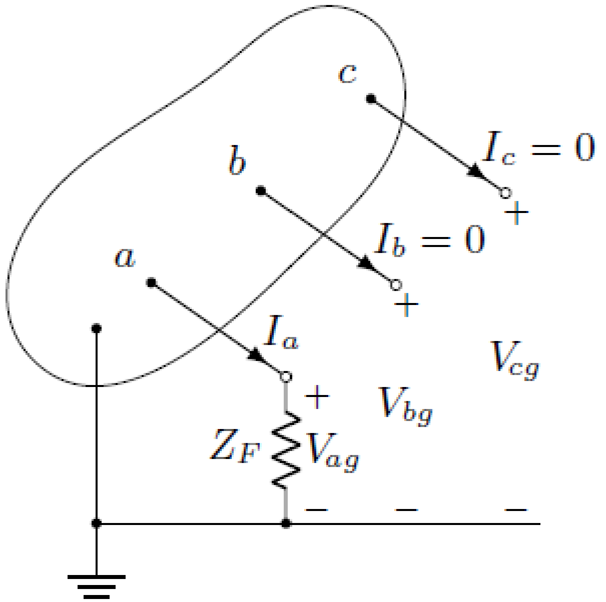
Falla monofásica a tierra

Considere una falla monofásica a tierra en una barra del sistema de potencia a través de una impedancia de falla Z_F. Si la falla fuera sólida a tierra Z_F=0.

Para este sistema sin carga:

$$\bar{V}_{ag} = Z_F \bar{I}_a$$

$$\bar{I}_b = \bar{I}_c = 0$$



En componentes simétricas:

$$\begin{bmatrix}\bar{I}_0\\ \bar{I}_1\\ \bar{I}_2\end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & a & a^2\\ 1 & a^2 & a\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\bar{I}_\mathrm{a}\\ 0\\ 0\end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix}\bar{I}_\mathrm{a}\\ \bar{I}_a\\ \bar{I}_a\end{bmatrix}$$

Falla monofásica a tierra

De la relación:

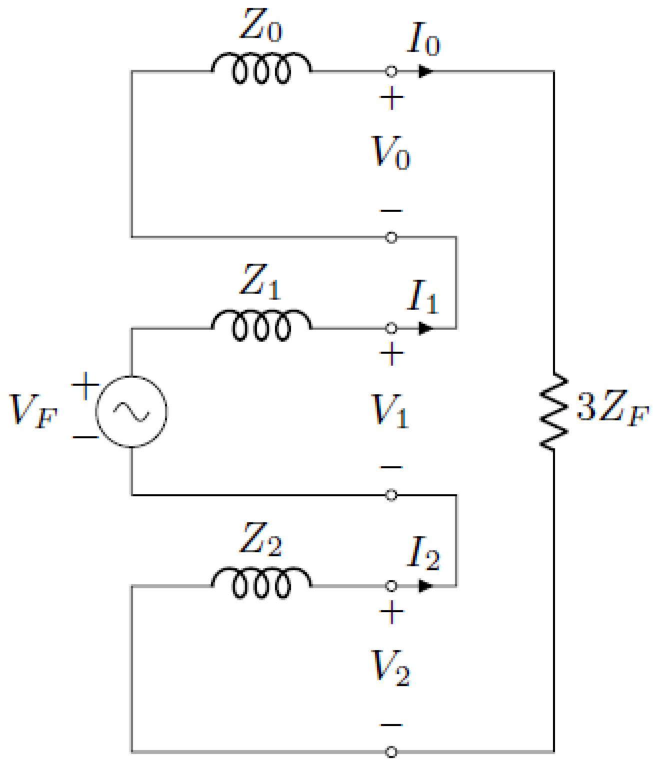
$$\bar{V}_{ag} = Z_F \bar{I}_a$$

En componentes simétricas:

$$(\bar{V}_0 + \bar{V}_1 + \bar{V}_2) = Z_F(\bar{I}_0 + \bar{I}_1 + \bar{I}_2)$$

Y sabiendo que $\bar{I}_0 = \bar{I}_1 = \bar{I}_2 = \frac{1}{3}\bar{I}_a$ para este caso:

$$(\bar{V}_0 + \bar{V}_1 + \bar{V}_2) = 3Z_F \bar{I}_0$$



Estas relaciones se cumplen cuando las redes de secuencia se conectan en serie en el punto de la falla.

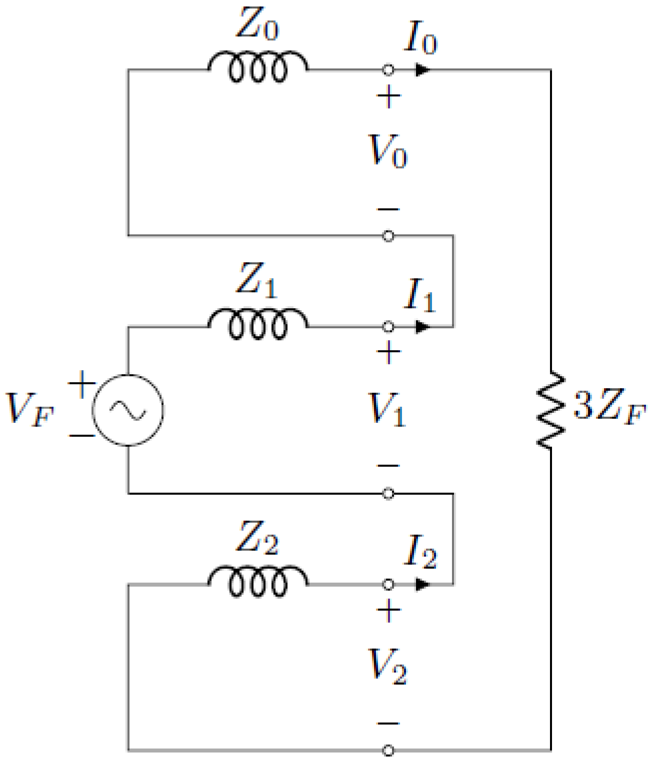
$$\bar{I}_0 = \bar{I}_1 = \bar{I}_2 = \frac{\bar{V}_F}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_F}$$

$$\bar{I}_a = 3\bar{I}_0 = \frac{3\bar{V}_F}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_F}$$

Falla monofásica a tierra

Note que:

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_0 \\ \bar{V}_1 \\ \bar{V}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \bar{V}_F \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_0 \\ \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \end{bmatrix}$$



Entonces:

$$\bar{V}_0 = -Z_0 \frac{\bar{V}_F}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_F}$$

$$\bar{V}_1 = \bar{V}_F \left(1 - \frac{Z_1}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_F}\right)$$

$$\bar{V}_2 = -Z_2 \frac{\bar{V}_F}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_F}$$

Análisis de falla monofásica

Las tensiones **abc** en el lugar de la falla son:

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_a \\ \bar{V}_b \\ \bar{V}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{V}_0 \\ \bar{V}_1 \\ \bar{V}_2 \end{bmatrix}$$

Desarrollando:

$$\bar{V}_a = \bar{V}_0 + \bar{V}_1 + \bar{V}_2 = \bar{V}_{Fa} \frac{3Z_F}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_F}$$

$$\bar{V}_b = \bar{V}_0 + a^2\bar{V}_1 + a\bar{V}_2 = \bar{V}_{Fb} - \bar{V}_{Fa} \frac{Z_0 - Z_1}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_F}$$

$$\bar{V}_c = \bar{V}_0 + a\bar{V}_1 + a^2\bar{V}_2 = \bar{V}_{Fc} - \bar{V}_{Fa} \frac{Z_0 - Z_1}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_F}$$

Análisis de falla monofásica

Las tensiones **abc** para una falla sólida a tierra ($Z_F = 0$):

$$\bar{V}_a = \bar{V}_{Fa} \frac{\cancelto{0}{3Z_F}}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + \cancelto{0}{3Z_F}} \qquad \bar{V}_b = \bar{V}_{Fb} - \bar{V}_{Fa} \frac{Z_0 - Z_1}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + \cancelto{0}{3Z_F}}$$

$$\bar{V}_c = \bar{V}_{Fc} - \bar{V}_{Fa} \frac{Z_0 - Z_1}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + \cancelto{0}{3Z_F}}$$

Neutro aterrizado y $Z_0 \approx Z_1$

$$\bar{V}_a = 0$$

$$\bar{V}_b = \bar{V}_{Fb}$$

$$\bar{V}_c = \bar{V}_{Fc}$$

En líneas cortas ocurre que $Z_0 \approx Z_1$ por lo que las tensiones en las fases sanas se mantiene igual a su valor prefalla. En líneas más largas las tensiones de las fases no falladas caen ligeramente.

Neutro no aterrizado $Z_0 \to \infty$

$$\bar{V}_a = 0$$

$$\bar{V}_b = \bar{V}_{Fb} - \bar{V}_{Fa}$$

$$\bar{V}_c = \bar{V}_{Fc} - \bar{V}_{Fa}$$

En sistemas con neutro no aterrizado las tensiones en las fases sanas aumentan a un valor cercano a $\sqrt{3}$ la tensión prefalla.

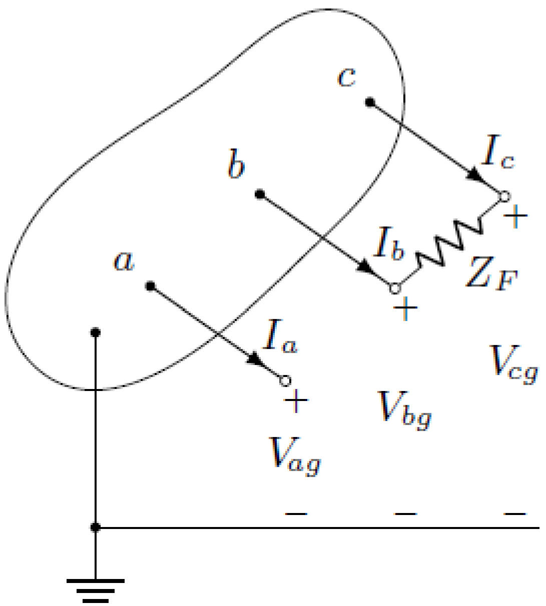
Análisis de falla bifásica

De la figura sabemos que:

$$\bar{I}_a = 0$$

$$\bar{I}_b = -\bar{I}_c$$

$$\bar{V}_{bg} - \bar{V}_{cg} = Z_F \bar{I}_b$$



Si pasamos a componentes simétricas:

$$\bar{I}_a = \bar{I}_0 + \bar{I}_1 + \bar{I}_2 = 0$$

$$\bar{I}_0 + a^2\bar{I}_1 + a\bar{I}_2 = -(\bar{I}_0 + a\bar{I}_1 + a^2\bar{I}_2)$$

$$\bar{V}_0 + a^2\bar{V}_1 + a\bar{V}_2 - (\bar{V}_0 + a\bar{V}_1 + a^2\bar{V}_2) = Z_F(\bar{I}_0 + a^2\bar{I}_1 + a\bar{I}_2)$$

$$\bar{I}_0 = 0 \qquad \bar{I}_1 = -\bar{I}_2 \qquad \bar{V}_1 - \bar{V}_2 = Z_F\bar{I}_1$$

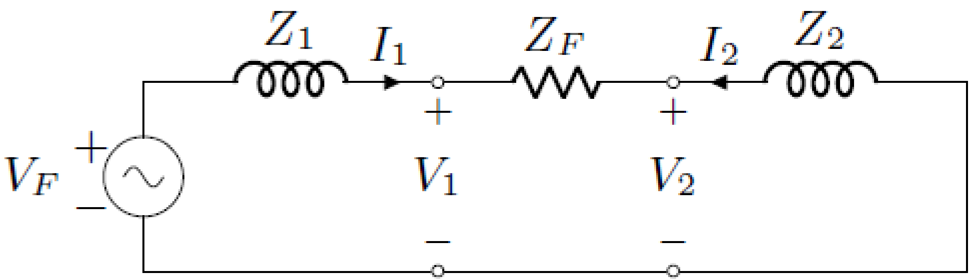
Análisis de falla bifásica

Con las ecuaciones anteriores:

$$\bar{I}_0 = 0$$

$$\bar{I}_1 = -\bar{I}_2$$

$$\bar{V}_1 - \bar{V}_2 = Z_F \bar{I}_1$$



$$\bar{I}_1 = -\bar{I}_2 = \frac{\bar{V}_F}{Z_1 + Z_2 + Z_F}$$

$$\bar{I}_b = \cancelto{0}{\bar{I}_0} + a^2 \bar{I}_1 + a \bar{I}_2$$

$$\bar{I}_b = (a^2 - a)\bar{I}_1 = -j\sqrt{3}\bar{I}_1$$

$$\bar{I}_b = \frac{-j\sqrt{3}\bar{V}_F}{Z_1 + Z_2 + Z_F}$$

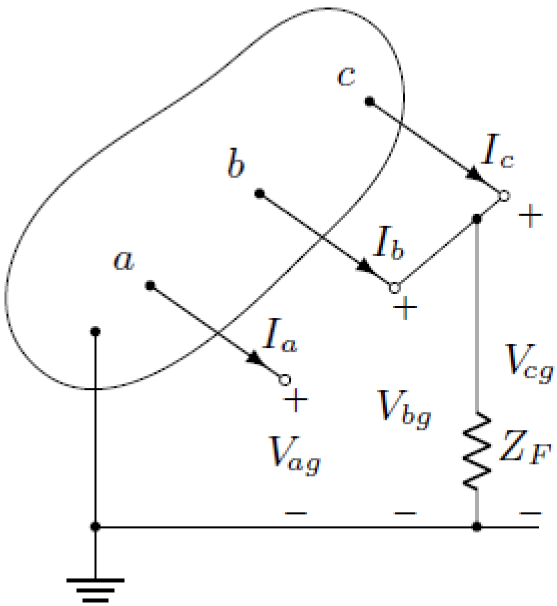
Las ecuaciones en componentes simétricas se cumplen cuando se conectan las redes de sec. (+) y (-) en paralelo en el punto de falla mientras que la sec. (0) se deja en circuito abierto.

Análisis de falla bifásica a tierra

De la figura sabemos que:

$$\bar{I}_a = 0$$

$$\bar{V}_{bg} = \bar{V}_{cg} = Z_F(\bar{I}_b + \bar{I}_c)$$



Al calcular la $\bar{I}_0$ con $\bar{I}_a = 0$:

$$\bar{I}_0 = \frac{1}{3}(\bar{I}_b + \bar{I}_c) \longrightarrow \bar{V}_{bg} = \bar{V}_{cg} = 3Z_F\bar{I}_0$$

Para las tensiones:

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_0 \\ \bar{V}_1 \\ \bar{V}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \bar{V}_{ag} \\ \bar{V}_{bg} \\ \bar{V}_{bg} \end{bmatrix} ⚠ \Rightarrow$$

$$3\bar{V}_0 = \bar{V}_{ag} + 2\bar{V}_{bg}$$

$$3\bar{V}_0 = (\bar{V}_0 + \bar{V}_1 + \bar{V}_2) + 2(3Z_F\bar{I}_0)$$

Note de 2da y 3er fila que $\bar{V}_1 = \bar{V}_2$.

Análisis de falla bifásica a tierra

Retomamos la ecuación:

$$3\bar{V}_0 = (\bar{V}_0 + \bar{V}_1 + \bar{V}_2) + 2(3Z_F\bar{I}_0)$$

$$2\bar{V}_0 = (\bar{V}_1 + \bar{V}_1) + 2(3Z_F\bar{I}_0)$$

$$\bar{V}_0 = \bar{V}_1 + (3Z_F\bar{I}_0)$$

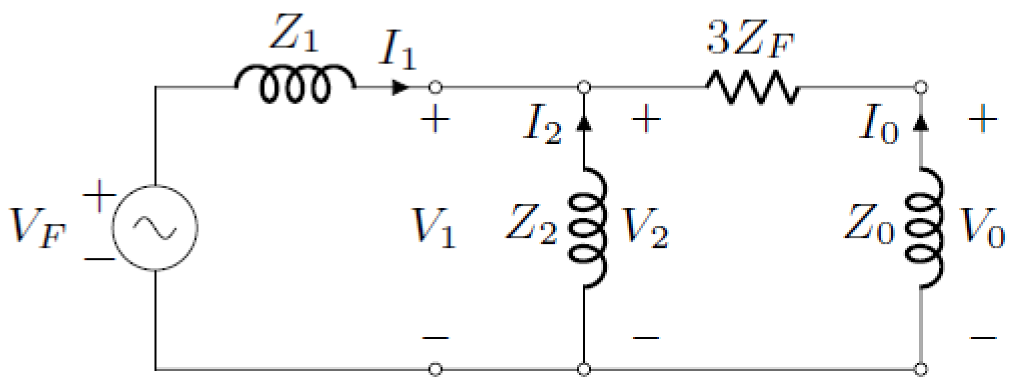
Entonces:

$$\bar{V}_1 = \bar{V}_0 - 3Z_F\bar{I}_0$$

$$\bar{V}_2 = \bar{V}_1$$

$$\bar{I}_a = \bar{I}_0 + \bar{I}_1 + \bar{I}_2 = 0$$

Las ecuaciones anteriores se cumplen cuando las redes de sec. (+), (-) y (0) se conectan en paralelo en el punto de falla.



$$\bar{I}_1 = \frac{\bar{V}_F}{Z_1 + \left(\frac{Z_2(Z_0 + 3Z_F)}{Z_2 + Z_0 + 3Z_F}\right)}$$

Por división de corrientes:

$$\bar{I}_2 = -\bar{I}_1 \frac{Z_0 + 3Z_F}{Z_2 + Z_0 + 3Z_F}$$

$$\bar{I}_0 = -\bar{I}_1 \frac{Z_2}{Z_2 + Z_0 + 3Z_F}$$

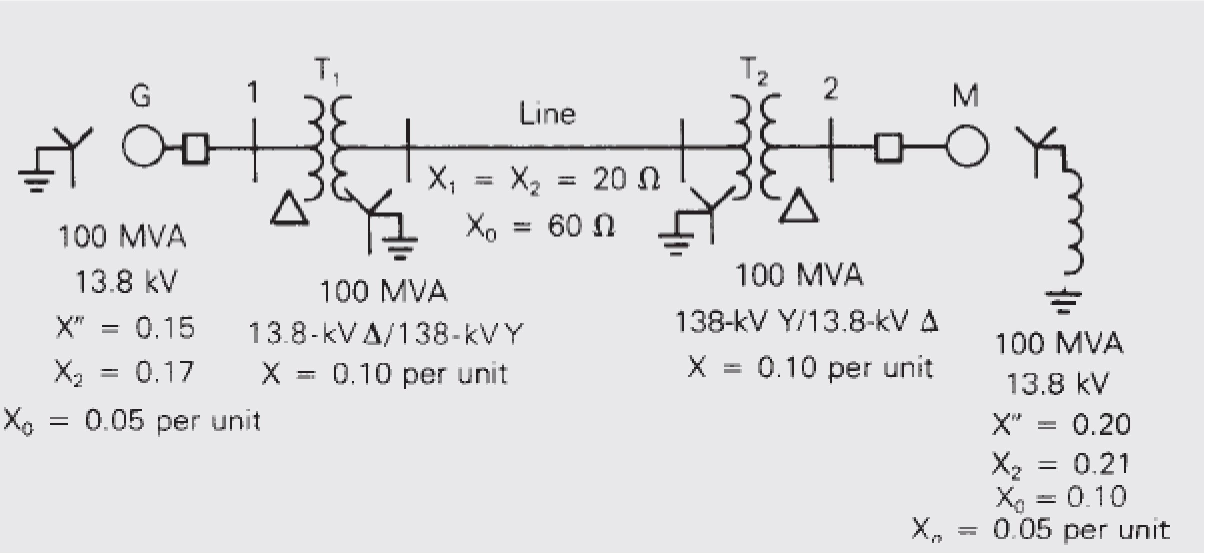
Cálculo de fallas desbalanceadas

Pasos:

1. Determine las redes de sec. (+), (-) y (0) en p.u en base común. Tenga particular cuidado con la conexión a tierra de generadores, motores y transformadores para la red de sec. cero.
2. Determine los equivalentes de Thévenin de cada red de secuencia vistas desde el punto de falla.
3. Conecte los equivalentes de Thévenin según el tipo de falla.
4. Calcule las corrientes de falla en componentes simétricas.
5. Calcule las tensiones en el punto de falla en componentes simétricas.
6. Calcule las corrientes y tensiones en variables **abc** con la transformación de Fortescue.

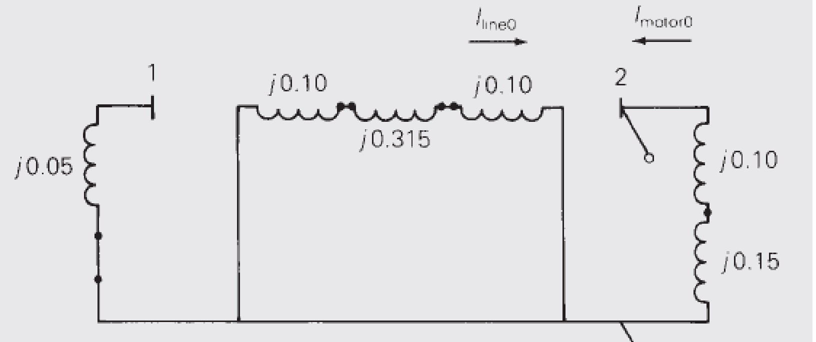
Ejemplo 1

Calcule la corriente de cortocircuito si ocurre una falla monofásica a tierra en la barra 2. La tensión prefalla es $\bar{V}_F = 1.05\, p.u.$ y $Z_F = 0$:

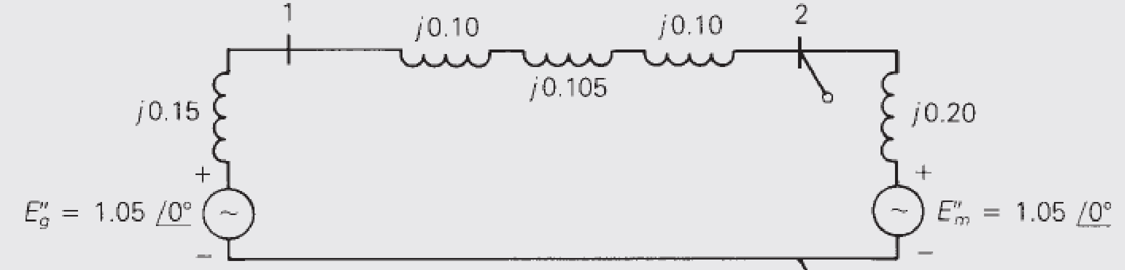


Primero debemos pasar los parámetros a una base común de 100 MVA y 13.8 kV en la zona de generación y luego calculamos las redes de secuencia correspondientes.

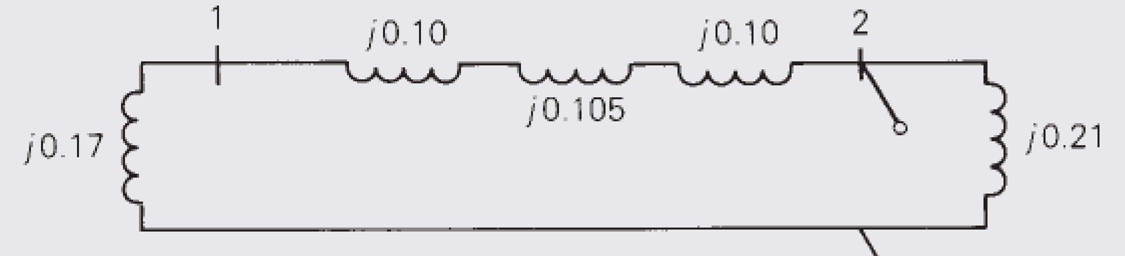
Ejemplo 1



(a) Zero-sequence network



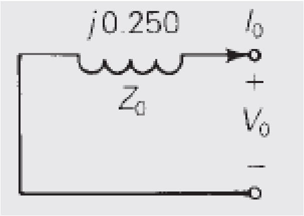
(b) Positive-sequence network

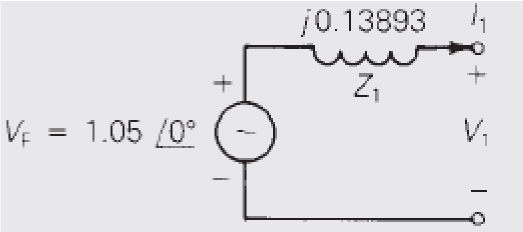


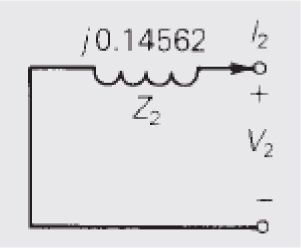
(c) Negative-sequence network

Ejemplo 1

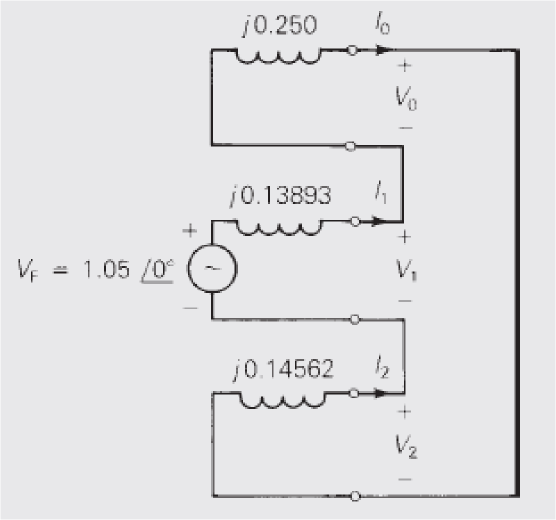
Se calculan los equivalentes de Thévenin vistos desde la barra 2:







Se conectan en serie las redes de secuencia por ser falla monofásica:



Ejemplo 1

Se calculan las corrientes de secuencia por falla en barra 2:

$$I_0 = I_1 = I_2 = \frac{1.05\underline{/0^\circ}}{j(0.25 + 0.13893 + 0.14562)} = \frac{1.05}{j0.53455} = -j1.96427 \quad \text{per unit}$$

$$I_a'' = 3(-j1.96427) = -j5.8928 \quad \text{per unit}$$

Y las tensiones en el punto de falla en componentes simétricas:

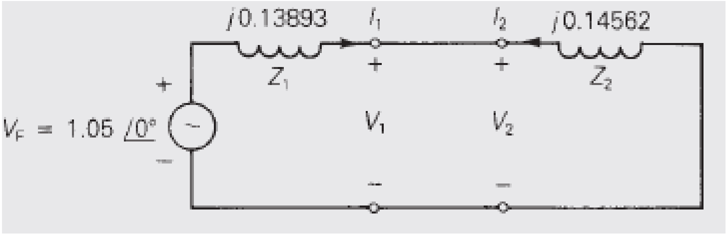
$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1.05\underline{/0^\circ} \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} j0.25 & 0 & 0 \\ 0 & j0.13893 & 0 \\ 0 & 0 & j0.14562 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -j1.96427 \\ -j1.96427 \\ -j1.96427 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.49107 \\ 0.77710 \\ -0.28604 \end{bmatrix} \quad \text{per unit}$$

Finalmente en variables **abc**:

$$\begin{bmatrix} V_{ag} \\ V_{bg} \\ V_{cg} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.49107 \\ 0.77710 \\ -0.28604 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1.179\underline{/231.3^\circ} \\ 1.179\underline{/128.7^\circ} \end{bmatrix} \quad \text{per unit}$$

Ejemplo 2

Calcula la corriente de cortocircuito en el sistema del ejemplo 1 si ocurre una falla bifásica en la barra 2. Además $\bar{V}_F = 1.05\,p.u.$ y $Z_F = 0$:



Resolviendo el circuito anterior:

$$I_1 = -I_2 = \frac{1.05\underline{/0^\circ}}{j(0.13893 + 0.14562)} = 3.690\underline{/-90^\circ}$$

$$I_b'' = (-j\sqrt{3})(3.690\underline{/-90^\circ}) = -6.391 = 6.391\underline{/180^\circ} \quad \text{per unit}$$

$\longrightarrow$

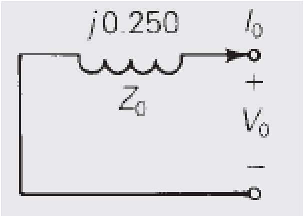
$$I_b'' = (6.391\underline{/180^\circ})(4.1837) = 26.74\underline{/180^\circ} \quad \text{kA}$$

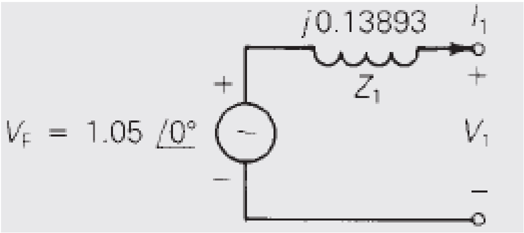
$$I_a'' = 0 \qquad I_c'' = 26.74\underline{/0^\circ} \quad \text{kA}$$

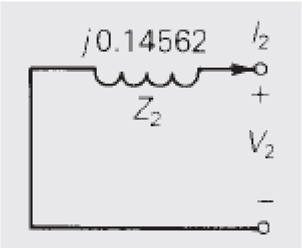
Ejemplo 3

Calcula la corriente de cortocircuito (p.u.) en el sistema del ejemplo 1 si ocurre una falla bifásica a tierra en la barra 2. Además $\bar{V}_F = 1.05\, p.u.$:

Ya habíamos calculado los equivalentes vistos desde la barra 2.







Respuestas:

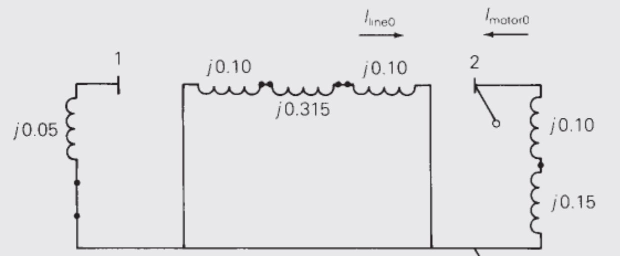
$\bar{I}_1 = -j4.5464\, pu$ $\quad$ $\bar{I}_0 = j1.6734\, pu$ $\quad$ $\bar{I}_2 = j2.8730\, pu$

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_a'' \\ \bar{I}_b'' \\ \bar{I}_c'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 6.8983\angle 158.66° \\ 6.8983\angle 21.34° \end{bmatrix} \text{ en } pu.$$

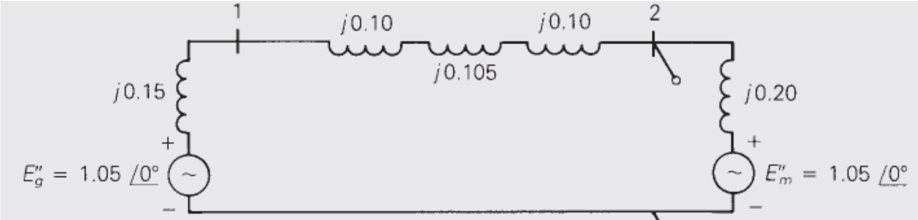
Ejemplo 4

Calcule la corriente de cortocircuito (p.u.) en el sistema del ejemplo 1 si ocurre una falla monofásica sólida a tierra en la barra 1, $\bar{V}_F = 1.05\,p.u.$:

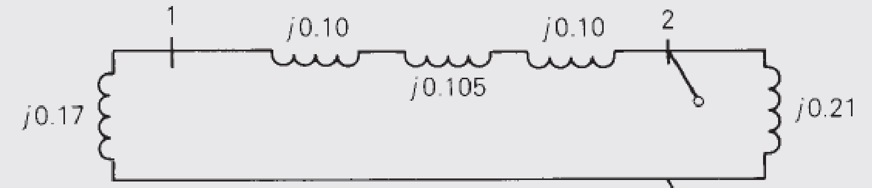
Recuerde que:



(a) Zero-sequence network



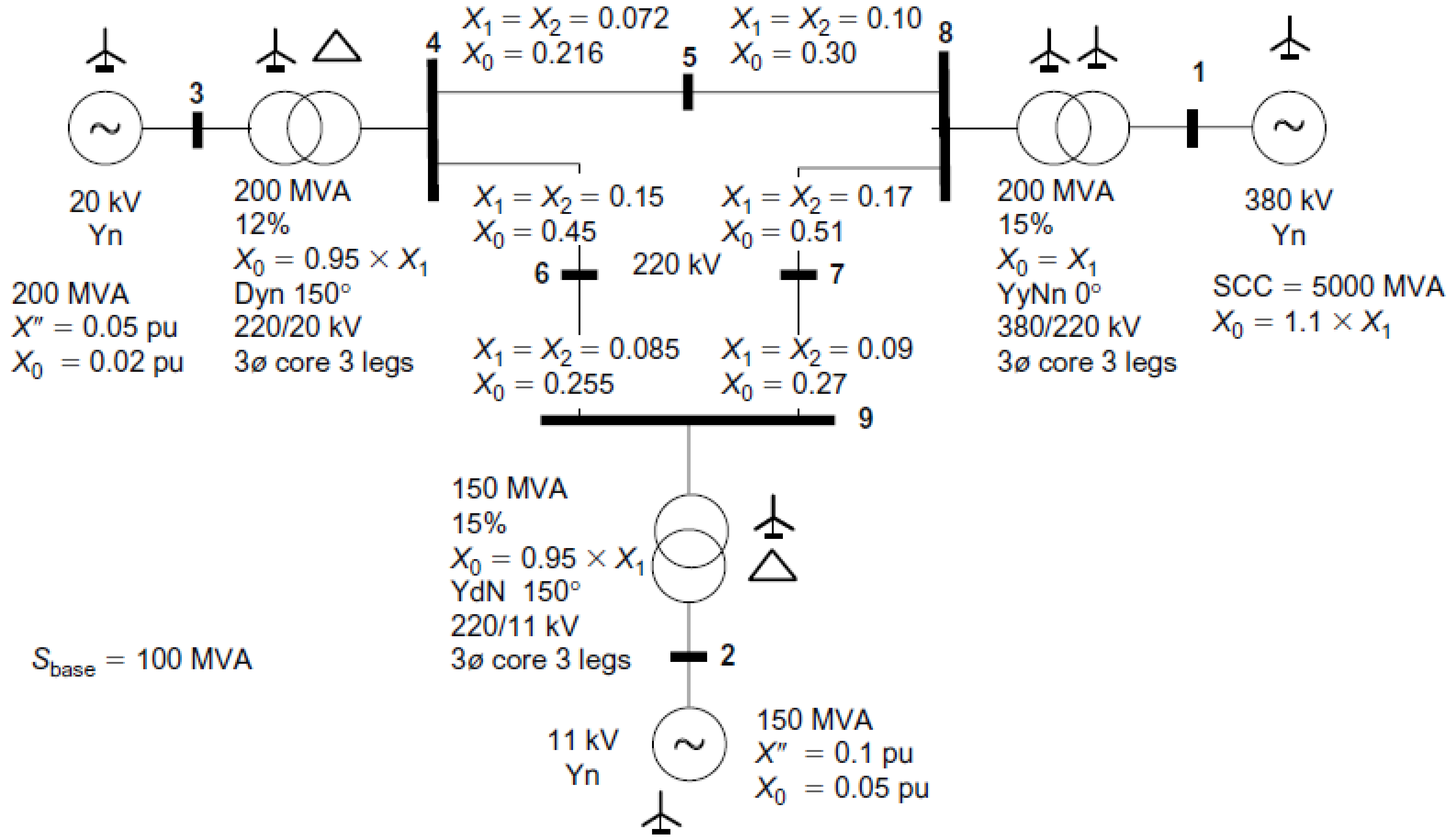
(b) Positive-sequence network



(c) Negative-sequence network

Ejemplo 5

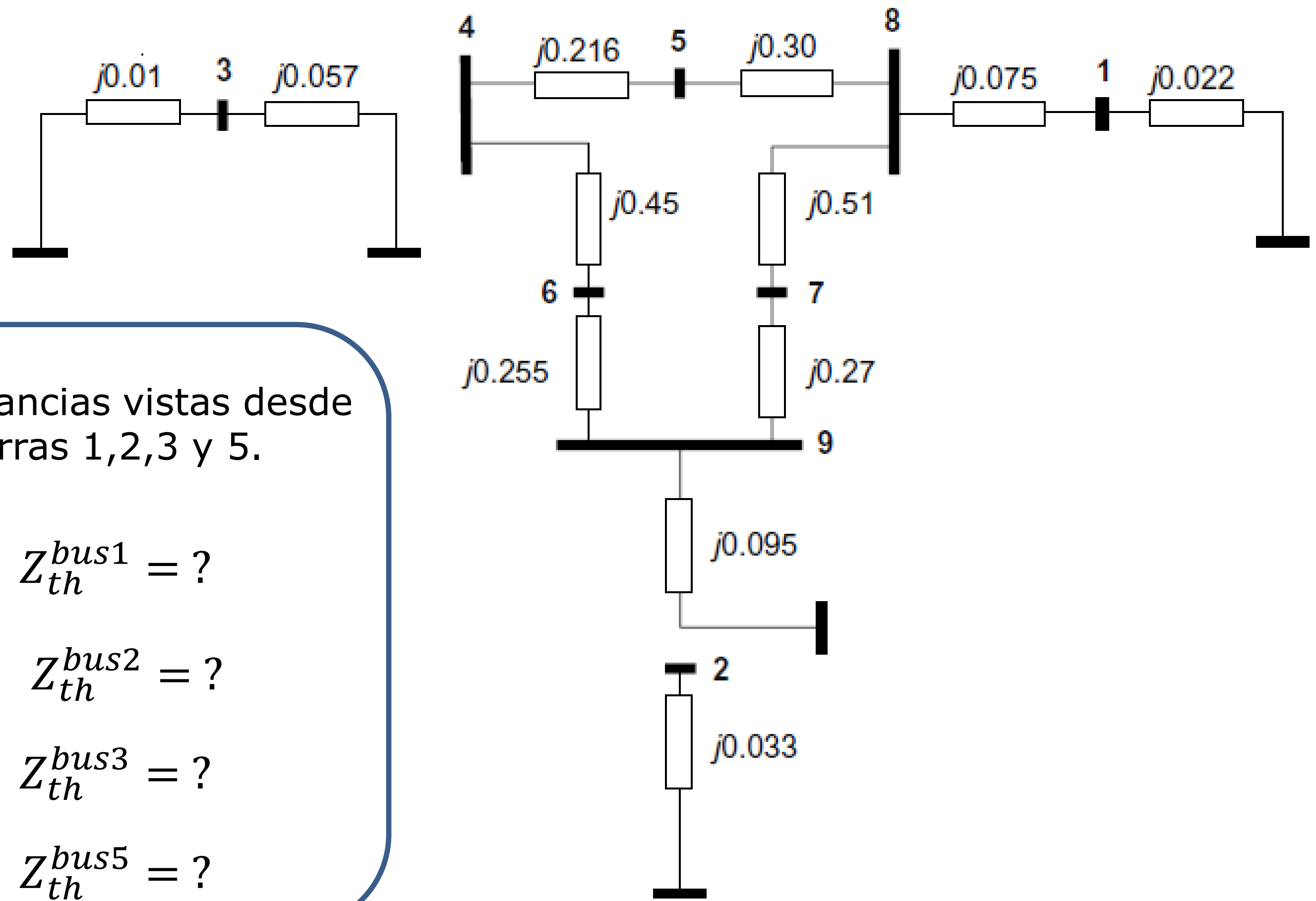
Considere el siguiente sistema con las redes de sec. conocidas:



$S_{base} = 100$ MVA

Ejemplo 5

Red de secuencia cero:



Impedancias vistas desde las barras 1,2,3 y 5.

$$Z_{th}^{bus1} = ?$$

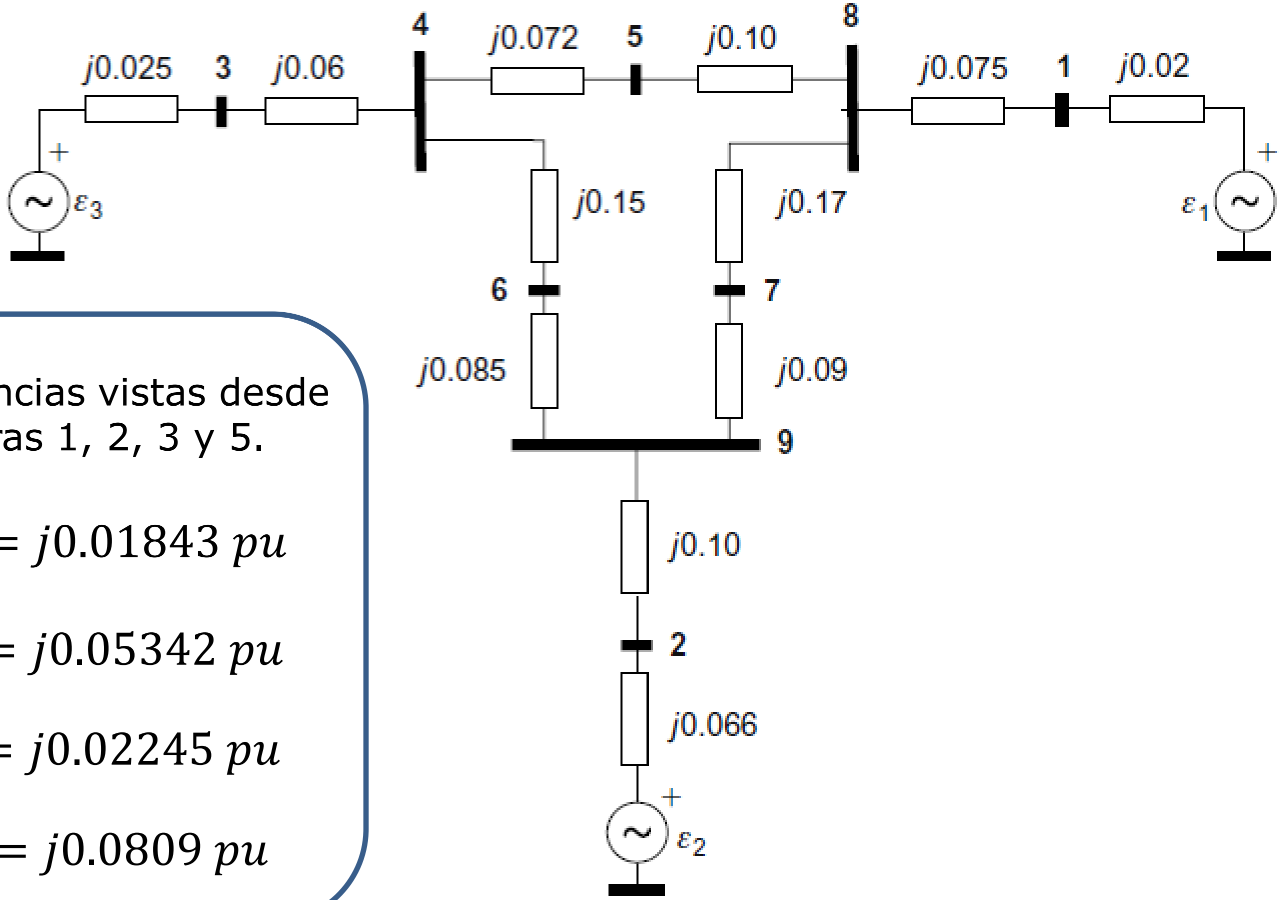
$$Z_{th}^{bus2} = ?$$

$$Z_{th}^{bus3} = ?$$

$$Z_{th}^{bus5} = ?$$

Ejemplo 5

Red de secuencia positiva:



Impedancias vistas desde las barras 1, 2, 3 y 5.

$$Z_{th}^{bus1} = j0.01843\; pu$$

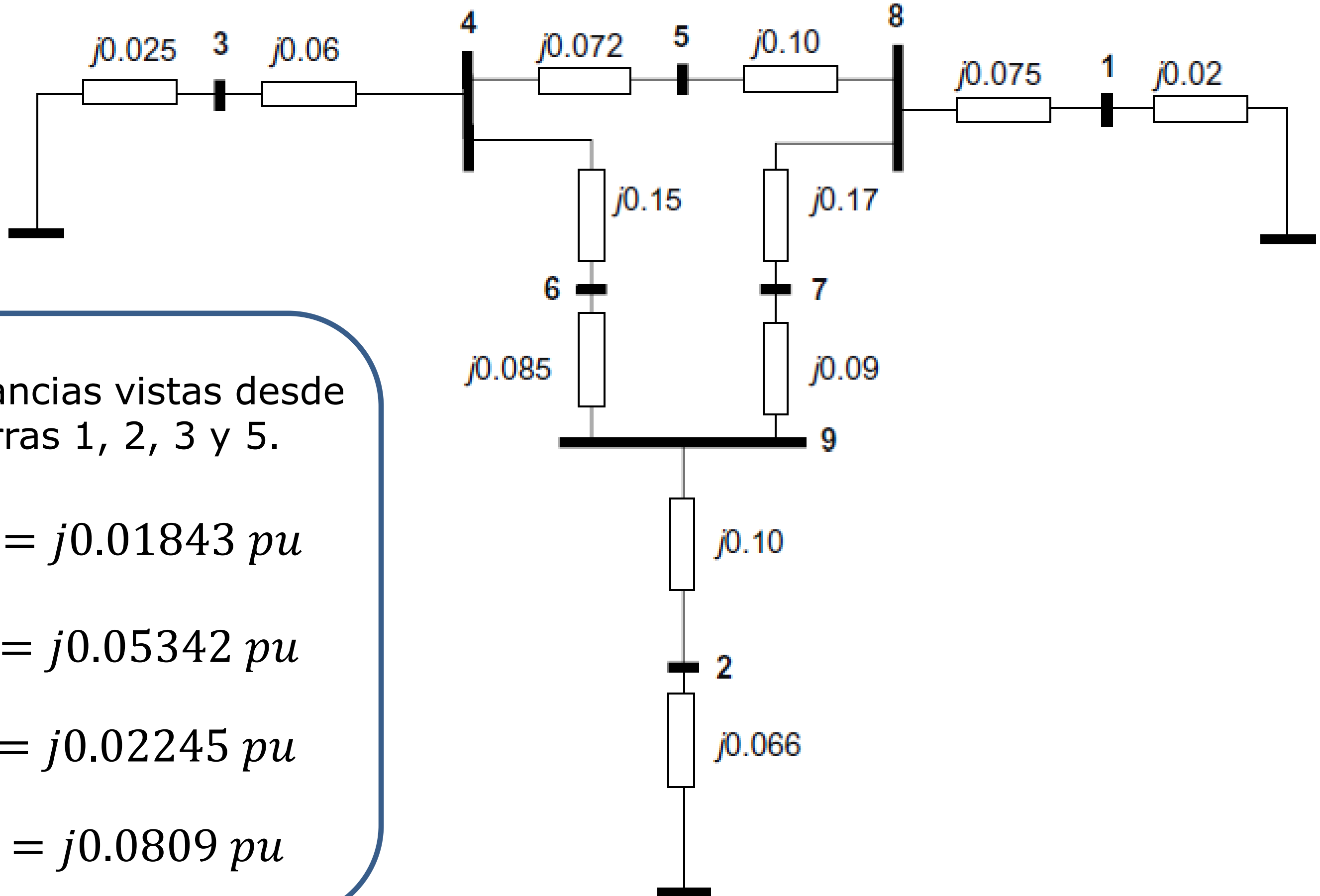
$$Z_{th}^{bus2} = j0.05342\; pu$$

$$Z_{th}^{bus3} = j0.02245\; pu$$

$$Z_{th}^{bus5} = j0.0809\; pu$$

Ejemplo 5

Red de secuencia negativa:



Impedancias vistas desde las barras 1, 2, 3 y 5.

$$Z_{th}^{bus1} = j0.01843\ pu$$

$$Z_{th}^{bus2} = j0.05342\ pu$$

$$Z_{th}^{bus3} = j0.02245\ pu$$

$$Z_{th}^{bus5} = j0.0809\ pu$$

Ejemplo 5

Sabiendo que $\bar{V}_F = 1.0\,\angle 0°$, determine:

a) La corriente de falla en *fase a* si ocurre una falla monofásica a tierra en la barra 3 y sabe que $Z_F = 0.0053\,p.u.$ en base común.

b) La corriente de falla en *fases b* y *c* si ocurre una falla bifásica en la barra 3 y sabe que $Z_F = 0.0053\,p.u.$ en base común.

c) La corriente de falla en *fases b* y *c* si ocurre una falla bifásica en la barra 2 y sabe que $Z_F = 0.0053\,p.u.$ en base común.

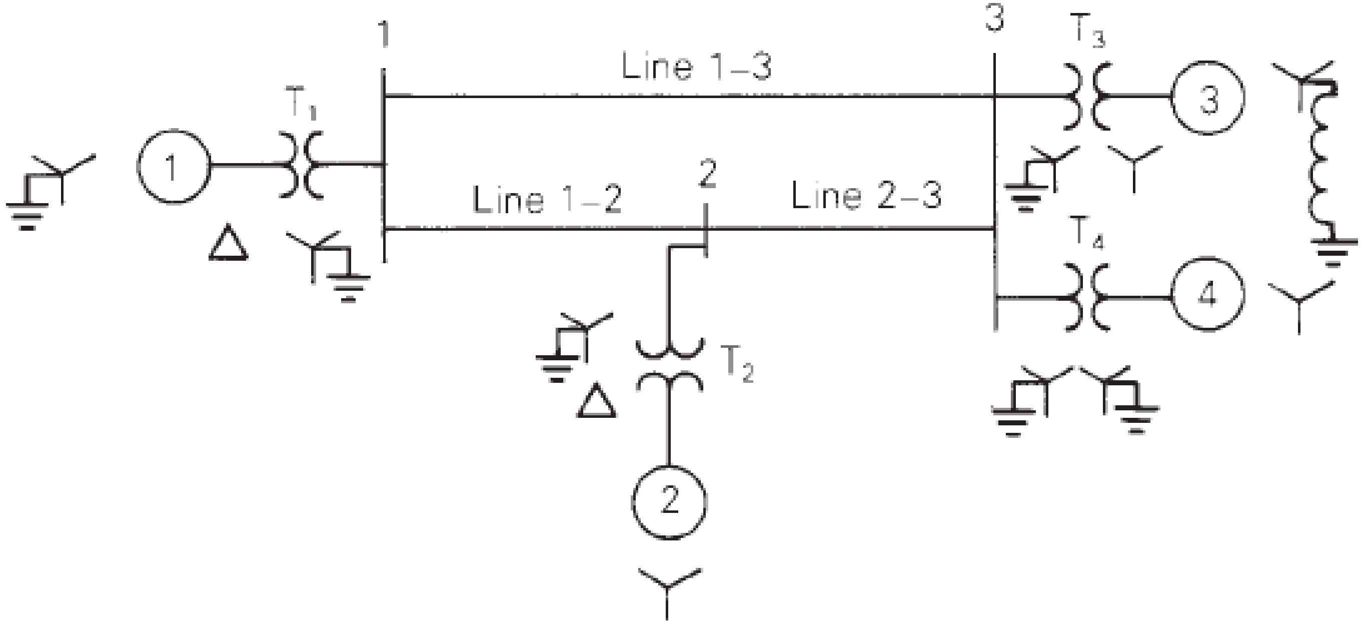
d) La corriente de falla en *fases b* y *c* si ocurre falla bifásica sólida a tierra en barra 5.

e) La corriente de falla en *fase a* si ocurre falla monofásica sólida a tierra en barra 5.

Ejemplo 6

El generador 3 tiene una reactancia a tierra de 0.05 pu en base la base del generador (base propia.)

1. Dibuje las redes de secuencia del siguiente sistema para una base de **1000** MVA y 765 kV en zona de transmisión.
2. Calcule una falla bifásica sólida a tierra en barra 3, en kA.



Ejemplo 6

Synchronous generators:

G1	1000 MVA	15 kV	$X''_d = X_2 = 0.18, X_0 = 0.07$ per unit
G2	1000 MVA	15 kV	$X''_d = X_2 = 0.20, X_0 = 0.10$ per unit
G3	500 MVA	13.8 kV	$X''_d = X_2 = 0.15, X_0 = 0.05$ per unit
G4	750 MVA	13.8 kV	$X''_d = 0.30, X_2 = 0.40, X_0 = 0.10$ per unit

Transformers:

T1	1000 MVA	15 kV Δ/765 kV Y	$X = 0.10$ per unit
T2	1000 MVA	15 kV Δ/765 kV Y	$X = 0.10$ per unit
T3	500 MVA	15 kV Y/765 kV Y	$X = 0.12$ per unit
T4	750 MVA	15 kV Y/765 kV Y	$X = 0.11$ per unit

Valores en base propia.

Transmission lines:

1–2	765 kV	$X_1 = 50\ \Omega,\ X_0 = 150\ \Omega$
1–3	765 kV	$X_1 = 40\ \Omega,\ X_0 = 100\ \Omega$
2–3	765 kV	$X_1 = 40\ \Omega,\ X_0 = 100\ \Omega$

Cálculo de fallas en sistemas grandes

Hasta el momento hemos visto que para cálculos de fallas:

- Se require un equivalente de Thevenin visto desde falla
  - V_{TH} = tensión prefalla donde ocurre el cortocircuito
  - Z_{TH} = Impedancia de la red vista desde punto de falla

Similar al caso de fallas trifásicas, se utiliza la matriz $\boldsymbol{Z}$, pero ahora se utiliza una matriz para la red de sec. (+), (-) y (0).

- Las matrices $\boldsymbol{Z}^{(0)}$, $\boldsymbol{Z}^{(1)}$ y $\boldsymbol{Z}^{(2)}$ se obtienen de invertir las matrices $\boldsymbol{Y}^{(0)}$, $\boldsymbol{Y}^{(1)}$ y $\boldsymbol{Y}^{(2)}$.
- Recuerde que la posición $\boldsymbol{Y}_{ij} = \boldsymbol{Y}(i,j)$ es igual a cero si no hay conexion entre las barras i y j. Esto es de particular atención cuando se calcula la matriz $\boldsymbol{Y}^{(0)}$ con generadores, motores y transformadores no aterrizados.

Cálculo de fallas en sistemas grandes

Suponga que nos interesa calcular fallas en la barra k:

$$\bar{I}_0 = \bar{I}_1 = \bar{I}_2 = \frac{\bar{V}_F}{\boldsymbol{Z}_{k,k}^{(0)} + \boldsymbol{Z}_{k,k}^{(1)} + \boldsymbol{Z}_{k,k}^{(2)} + 3Z_F}$$

Falla monofásica a tierra

$$\bar{I}_1 = -\bar{I}_2 = \frac{\bar{V}_F}{\boldsymbol{Z}_{k,k}^{(1)} + \boldsymbol{Z}_{k,k}^{(2)} + Z_F}, \qquad \bar{I}_0 = 0$$

Falla bifásica

$$\bar{I}_1 = \frac{\bar{V}_F}{\boldsymbol{Z}_{k,k}^{(1)} + \left(\frac{\boldsymbol{Z}_{k,k}^{(2)} \left(\boldsymbol{Z}_{k,k}^{(0)} + 3Z_F \right)}{\boldsymbol{Z}_{k,k}^{(2)} + \boldsymbol{Z}_{k,k}^{(0)} + 3Z_F} \right)}$$

Falla bifásica a tierra

$$\bar{I}_2 = -\bar{I}_1 \frac{\boldsymbol{Z}_{k,k}^{(0)} + 3Z_F}{\boldsymbol{Z}_{k,k}^{(2)} + \boldsymbol{Z}_{k,k}^{(0)} + 3Z_F} \qquad \bar{I}_0 = -\bar{I}_1 \frac{\boldsymbol{Z}_{k,k}^{(2)}}{\boldsymbol{Z}_{k,k}^{(2)} + \boldsymbol{Z}_{k,k}^{(0)} + 3Z_F}$$

Cálculo de fallas en sistemas grandes

Con los datos anteriores se pueden calcular las corrientes **abc** de falla en la barra k:

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_a'' \\ \bar{I}_b'' \\ \bar{I}_c'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_0 \\ \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \end{bmatrix}$$

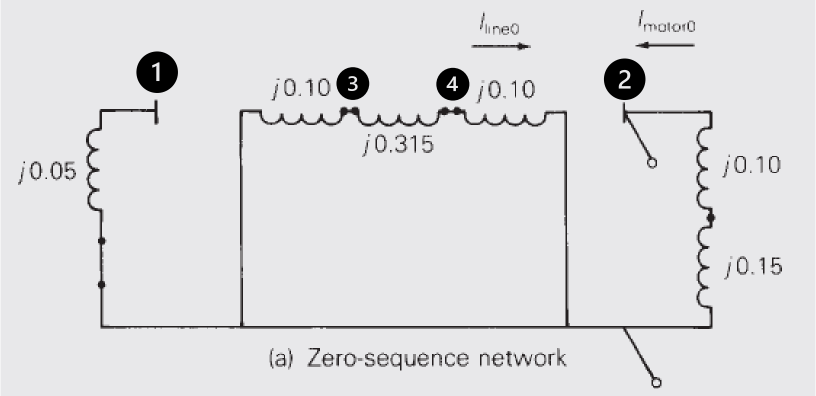
Las tensiones de secuencia en la barra n por la falla en barra k son:

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_0 \\ \bar{V}_1 \\ \bar{V}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \bar{V}_F \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \boldsymbol{Z}_{n,k}^{(0)} & 0 & 0 \\ 0 & \boldsymbol{Z}_{n,k}^{(1)} & 0 \\ 0 & 0 & \boldsymbol{Z}_{n,k}^{(2)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_0 \\ \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \end{bmatrix}$$

Y las tensiones en variables **abc** se determinan con la transformación de Fortescue.

Ejemplo 7

Determine las matrices $\boldsymbol{Y}^{(0)}$ y $\boldsymbol{Z}^{(0)}$ del sistema de 4 barras cuya red de sec. (0) se muestra a continuación:



Respuestas (valores en p.u. con 4 decimales):

$$\boldsymbol{Y}^{(0)} = j\begin{bmatrix} -20 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -13.1746 & 3.1746 \\ 0 & 0 & 3.1746 & -13.1746 \end{bmatrix} \qquad \boldsymbol{Z}^{(0)} = j\begin{bmatrix} 0.05 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.25 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.0806 & 0.0194 \\ 0 & 0 & 0.0194 & 0.0806 \end{bmatrix}$$

Nota: Los elementos de la diagonal de $\boldsymbol{Z}^{(0)}$ son también los equivalentes de Thévenin vistos desde las barras respectivas. ¡Comprobemos!

Ejemplo 8

Para el sistema del **ejemplo 5**, determine:

a) Las matrices $\boldsymbol{Y}^{(0)}$, $\boldsymbol{Y}^{(1)}$ y $\boldsymbol{Y}^{(2)}$
b) Las matrices $\boldsymbol{Z}^{(0)}$, $\boldsymbol{Z}^{(1)}$ y $\boldsymbol{Z}^{(2)}$
c) La corriente de falla (sólida a tierra) si ocurre falla bifásica a tierra en barra 5. Utilice las matrices anteriores.

d) La corriente de falla (sólida a tierra) si ocurre falla monofásica en barra 5. Utilice las matrices anteriores.

e) Las tensiones **abc** en las barras 2, 4, 6 y 8 por la falla monofásica a tierra en barra 5.

¡Muchas gracias y los mejores éxitos como profesionales en ingeniería eléctrica!

Profesor: Gustavo Valverde Mora.