

ELC-30514
Sistemas de Potencia I

Anexo 5.6
Calculo de Corriente de
Cortocircuito: Thevenin

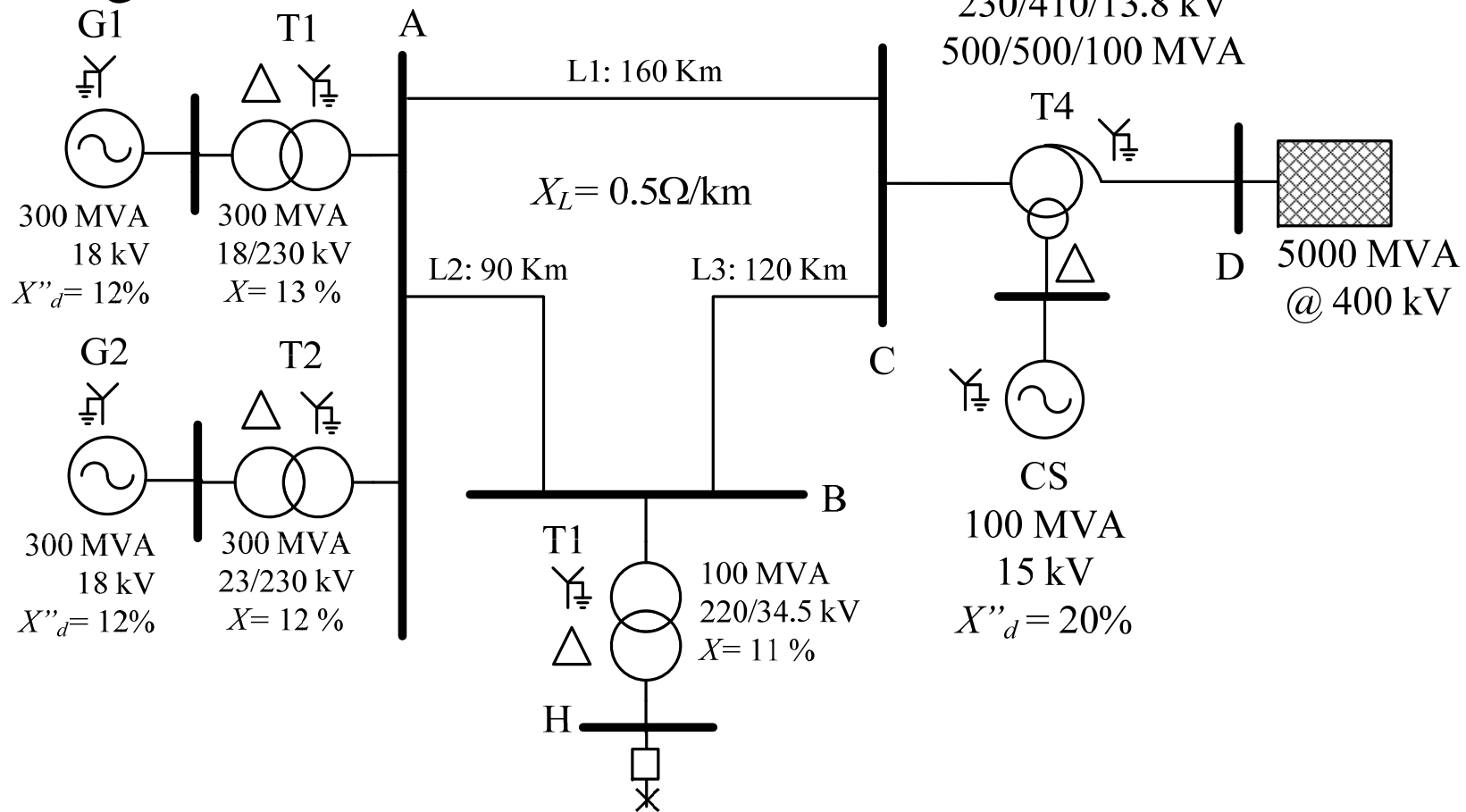
Prof. Francisco M. González-Longatt

fglongatt@ieee.org

<http://www.giaelec.org/fglongatt/SP.htm>

Ejemplo

- Considere el sistema de potencia de la Figura siguiente:

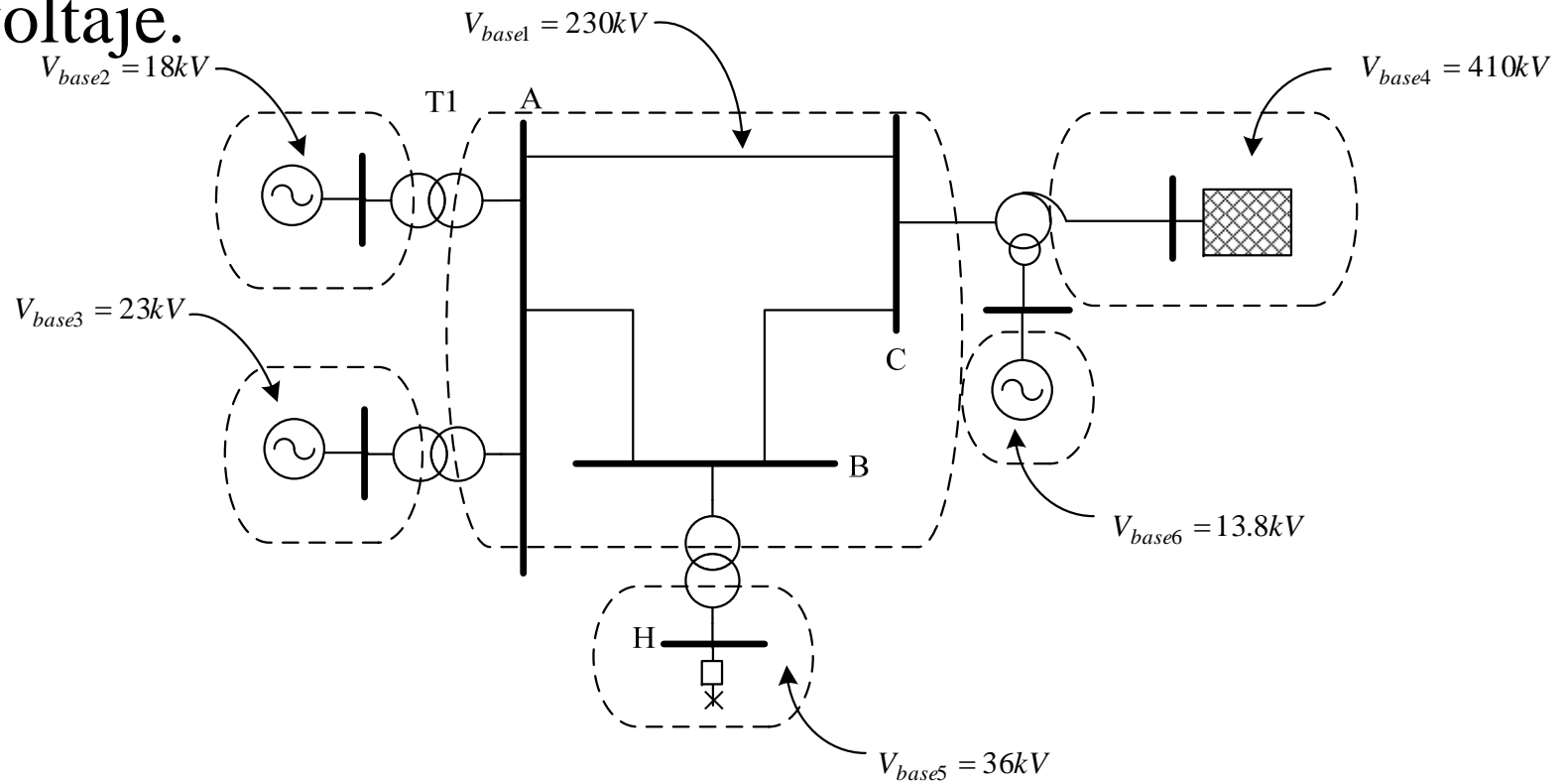


Ejemplo

- Se requiere determinar las condiciones subtransitorias al ocurrir una falla por cortocircuito trifásico en el punto “F”.
- Se asume el sistema en vacío (sin carga) cuando ocurre la falla, y el voltaje en estas condiciones en la Barra H era de 1.1 veces la normal (34.5 kV).
 - Corriente de cortocircuito en kAmp
 - Voltaje en la barra A durante la falla en kV.

Resolución

- Se toma como potencia base, $S_{base} = 100 \text{ MVA}$ y como voltaje base, 230 kV en el sistema de transmisión. Se procede a determinar las demás bases de voltaje.



Resolución

- Se procede a efectuar los correspondientes cambios de base, empleando la relación adecuada para expresar una impedancia en por unidad de una base a por unidad de otra.

$$X''_{G1} = 0.12 p.u \left(\frac{100 MVA}{300 MVA} \right) \times \left(\frac{18 kV}{18 kV} \right)^2$$

$$X''_{G1} = 0.40 p.u$$

Resolución

$$X''_{G2} = 0.12 p.u \left(\frac{100 MVA}{300 MVA} \right) \times \left(\frac{18 kV}{23 kV} \right)^2$$

$$X''_{G2} = 0.02450 p.u$$

$$X''_{CS1} = 0.20 p.u \left(\frac{100 MVA}{100 MVA} \right) \times \left(\frac{15 kV}{13.8 kV} \right)^2$$

$$X''_{CS1} = 0.2363 p.u$$

$$X_{T1} = 0.13 p.u \left(\frac{100 MVA}{300 MVA} \right) \times \left(\frac{18 kV}{18 kV} \right)^2$$

$$X_{T1} = 0.04333 p.u$$

Resolución

$$X_{T2} = 0.12 p.u \left(\frac{100 MVA}{300 MVA} \right) \times \left(\frac{230 kV}{230 kV} \right)^2$$

$$X_{T2} = 0.040 p.u$$

$$X_{T3} = 0.11 p.u \left(\frac{100 MVA}{100 MVA} \right) \times \left(\frac{220 kV}{230 kV} \right)^2$$

$$X_{T3} = 0.1006 p.u$$

Resolución

- En el caso del transformador de tres arrollados, las reactancias de cortocircuito del lado de alta, media y terciaria, se calculan fácilmente como:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_a = 0.022 p.u \\ X_b = 0.038 p.u \\ X_m = -0.008 p.u \end{array} \right.$$

- La impedancia base correspondiente al nivel de voltaje de las líneas de transmisión es:

$$Z_{base1} = \frac{(230kV)^2}{100MVA} \qquad Z_{base1} = 529\Omega$$

Resolución

- Las impedancias de las líneas de transmisión, resulta:

$$X_{L1} = \left(0.5 \frac{\Omega}{km} \times 150km \right) \times \frac{100MVA}{(230kV)^2}$$

$$X_{L1} = 0.15123 p.u$$

$$X_{L2} = \left(0.5 \frac{\Omega}{km} \times 90km \right) \times \frac{100MVA}{(230kV)^2}$$

$$X_{L2} = 0.08507 p.u$$

$$X_{L3} = \left(0.5 \frac{\Omega}{km} \times 120km \right) \times \frac{100MVA}{(230kV)^2}$$

$$X_{L3} = 0.1134 p.u$$

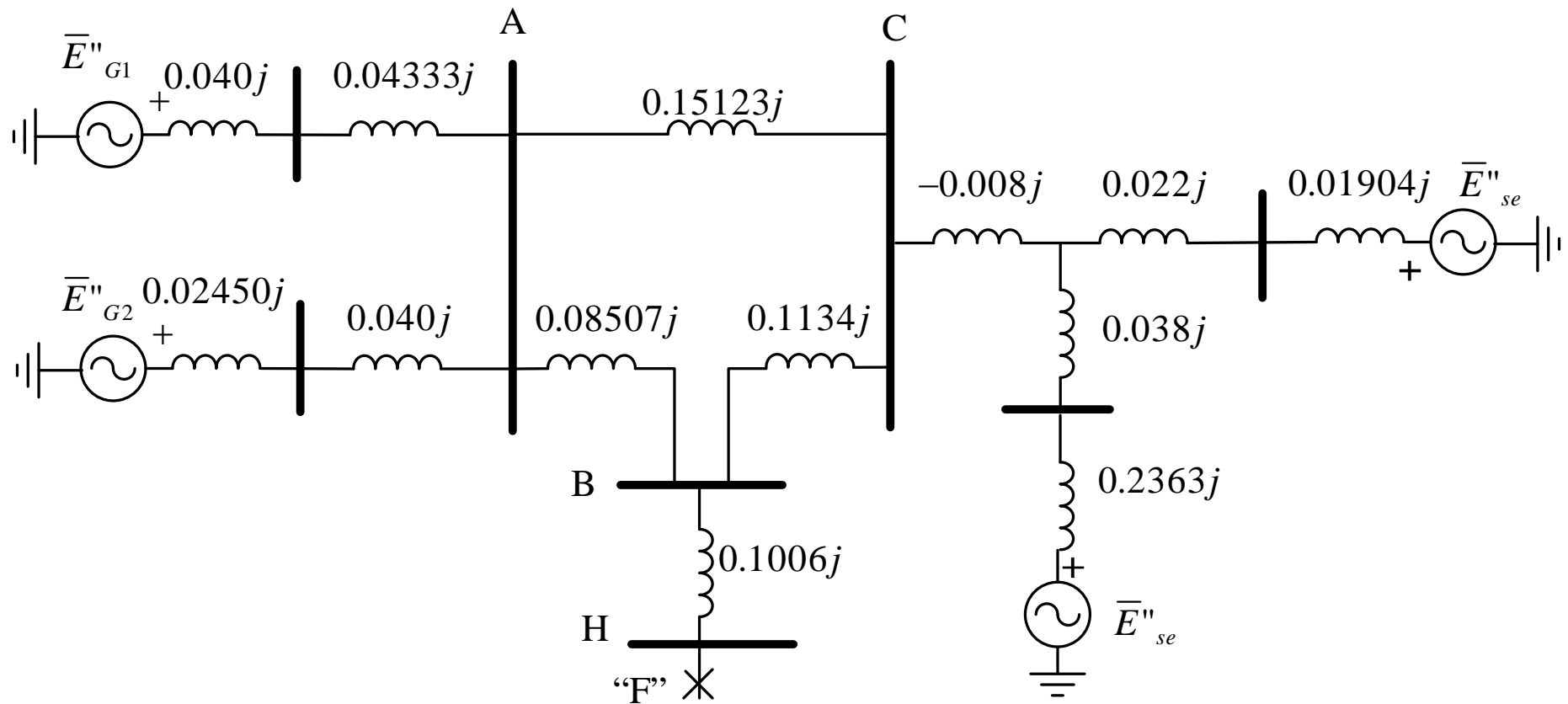
Resolución

- El sistema equivalente o exterior, que se encuentra conectado a la Barra D, puede ser modelado por su representación del circuito de Thevenin.
- Si se considera que la reactancia del sistema es de $X_e = 1.0$ pu, tomando como bases $S_{base} = 5000$ MVA y $V_{base} = V_{circuitoabierto} = 400$ kV, se tiene:

$$X_e = 1.0 \text{ pu} \left(\frac{100 \text{ MVA}}{5000 \text{ MVA}} \right) \left(\frac{400 \text{ kV}}{410 \text{ kV}} \right)^2$$

$$X_e = 0.01904 \text{ pu}$$

Resolución



Resolución

- Se procede a determinar las **condiciones iniciales subtransitorias de la falla**.
- Se supone que el *sistema esta operando en vacío antes de la falla*, y las bases de voltaje se seleccionaron de acuerdo a las relaciones de transformación en vacío, el voltaje en por unidad será igual a lo largo del sistema:

$$\left| \overline{V}_{pfpf} \right| = \frac{1.1 \times 34.5kV}{V_{base6}} = \frac{1.1 \times 34.5kV}{36kV}$$

$$\left| \overline{V}_{pfpf} \right| = 1.05 p.u$$

Resolución

- Esta será también el voltaje de las fuentes internas en el circuito equivalente de los generadores:

$$\left| \bar{E}_{G1} \right| = \left| \bar{E}_{G2} \right| = \left| \bar{E}_{CS1} \right| = \left| \bar{E}_e \right| = 1.05 \angle 0^\circ \text{ p.u}$$

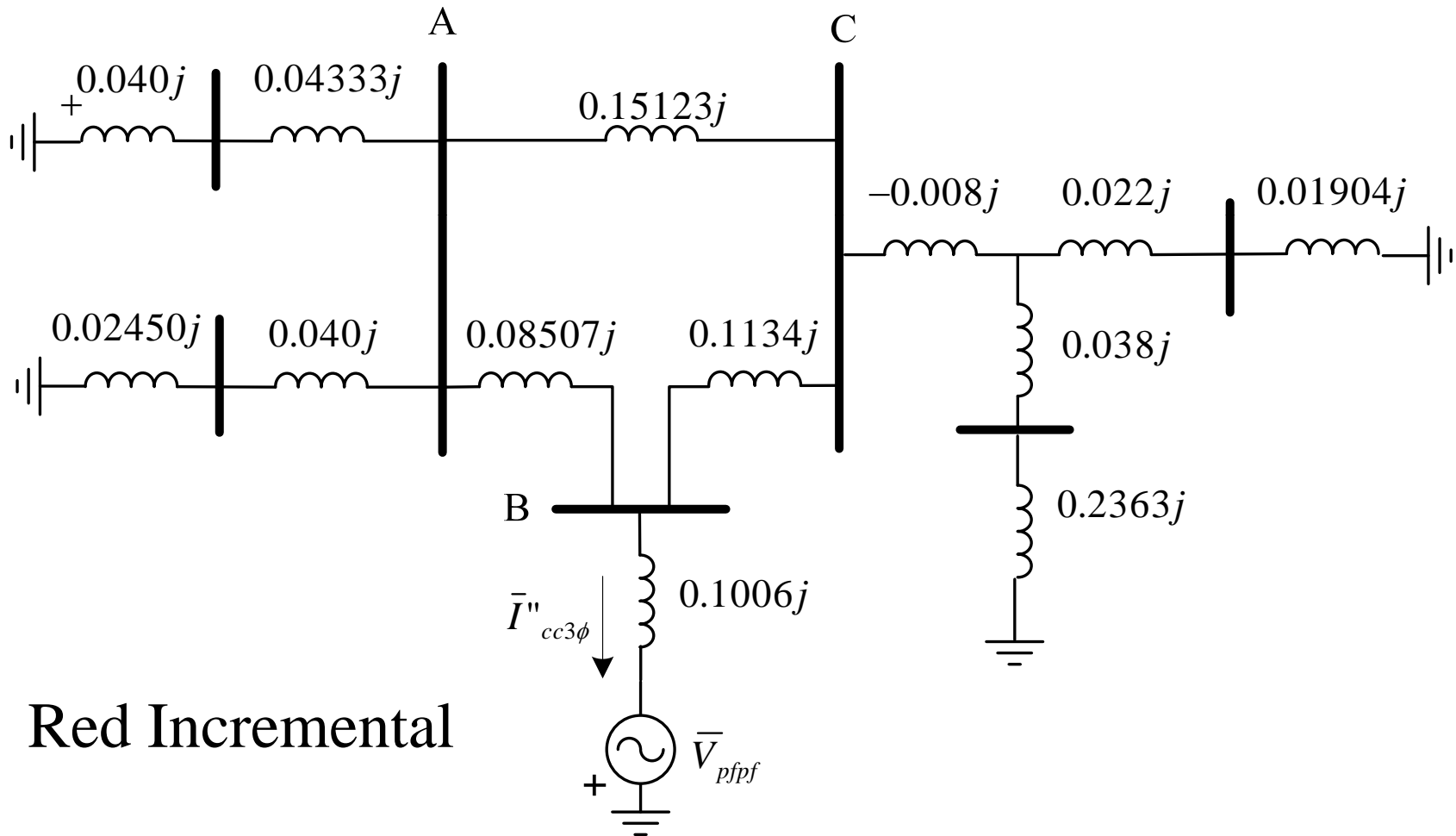
- En este caso, como es natural, se ha tomado el ángulo de estos voltajes como referencia.

Resolución

- Se procede a *construir el circuito de Thevenin para las condiciones incrementales*.
- Se construye el diagrama de reactancias del sistema, donde las fuentes ideales de voltaje de los modelos detrás de las reactancias de los generadores se encuentran inoperadas; y se coloca en el punto de falla una fuente de voltaje igual al voltaje previo a la falla en el punto de falla (V_{pfpf}), con sentido tal que motiva la circulación de la corriente de falla.

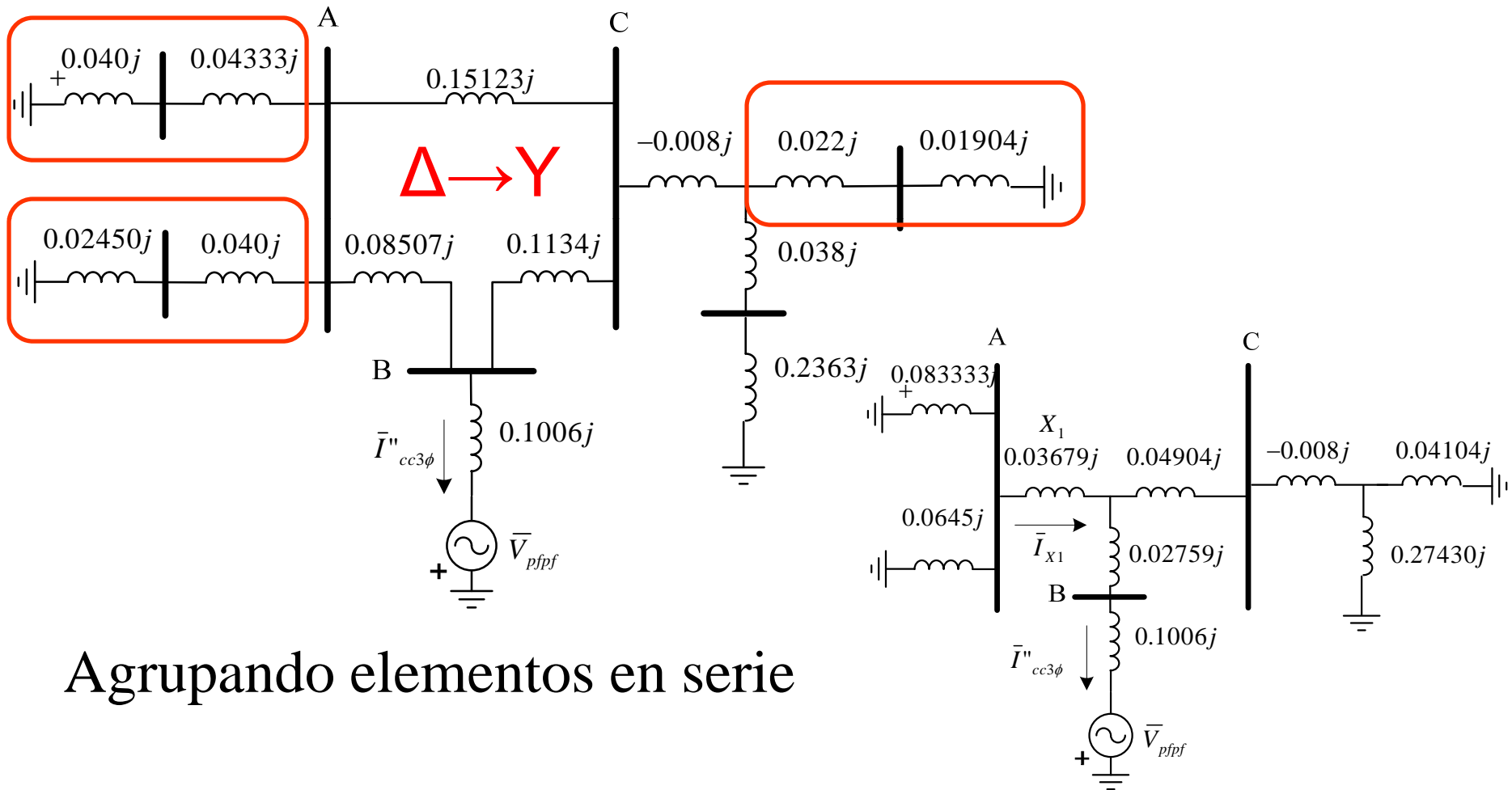
Resolución

- En este caso $\bar{V}_{pfpf} = 1.05 \angle 0 \text{ p.u}$



Resolución

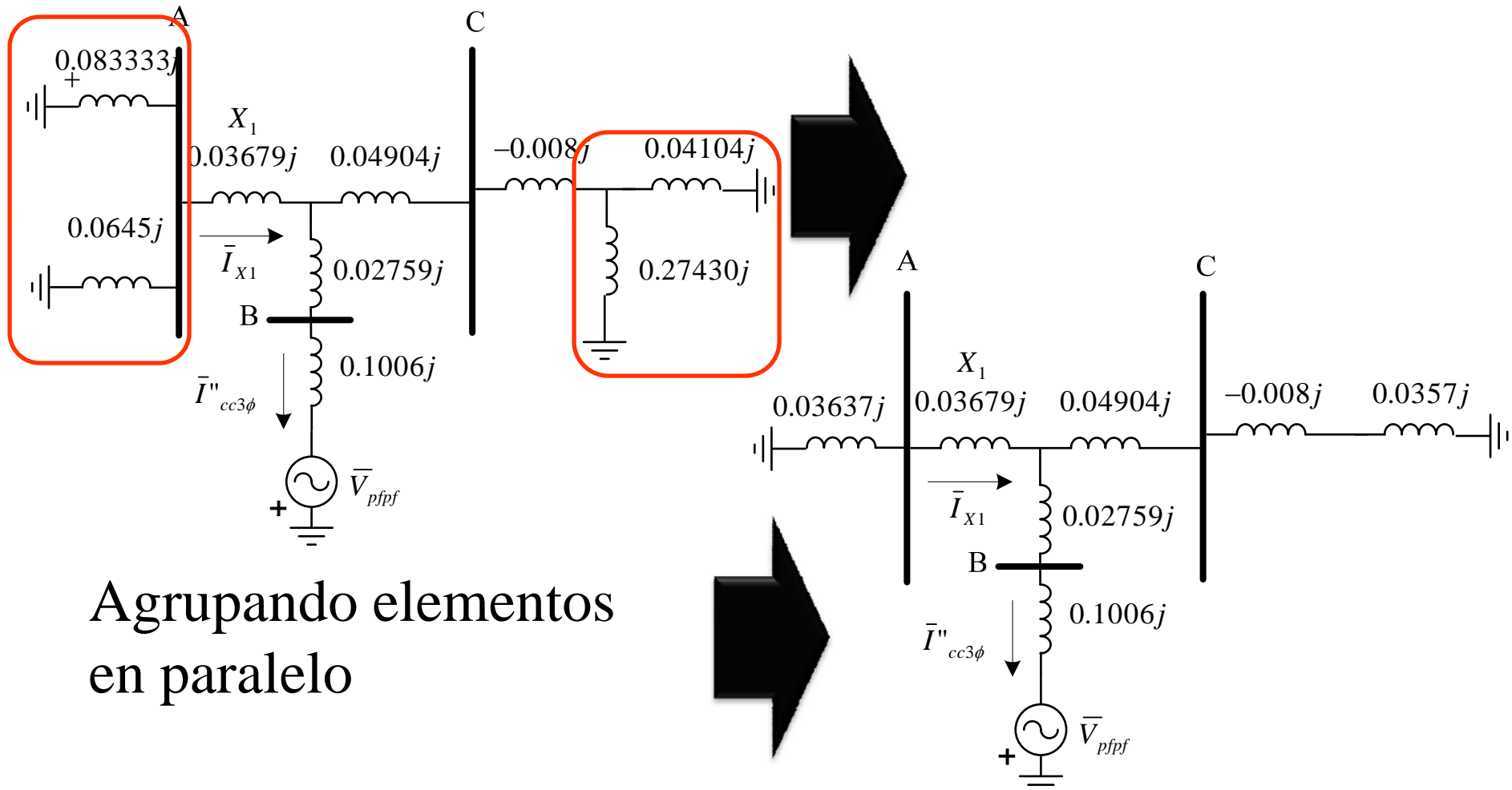
- Efectuando algunas transformaciones:



Agrupando elementos en serie

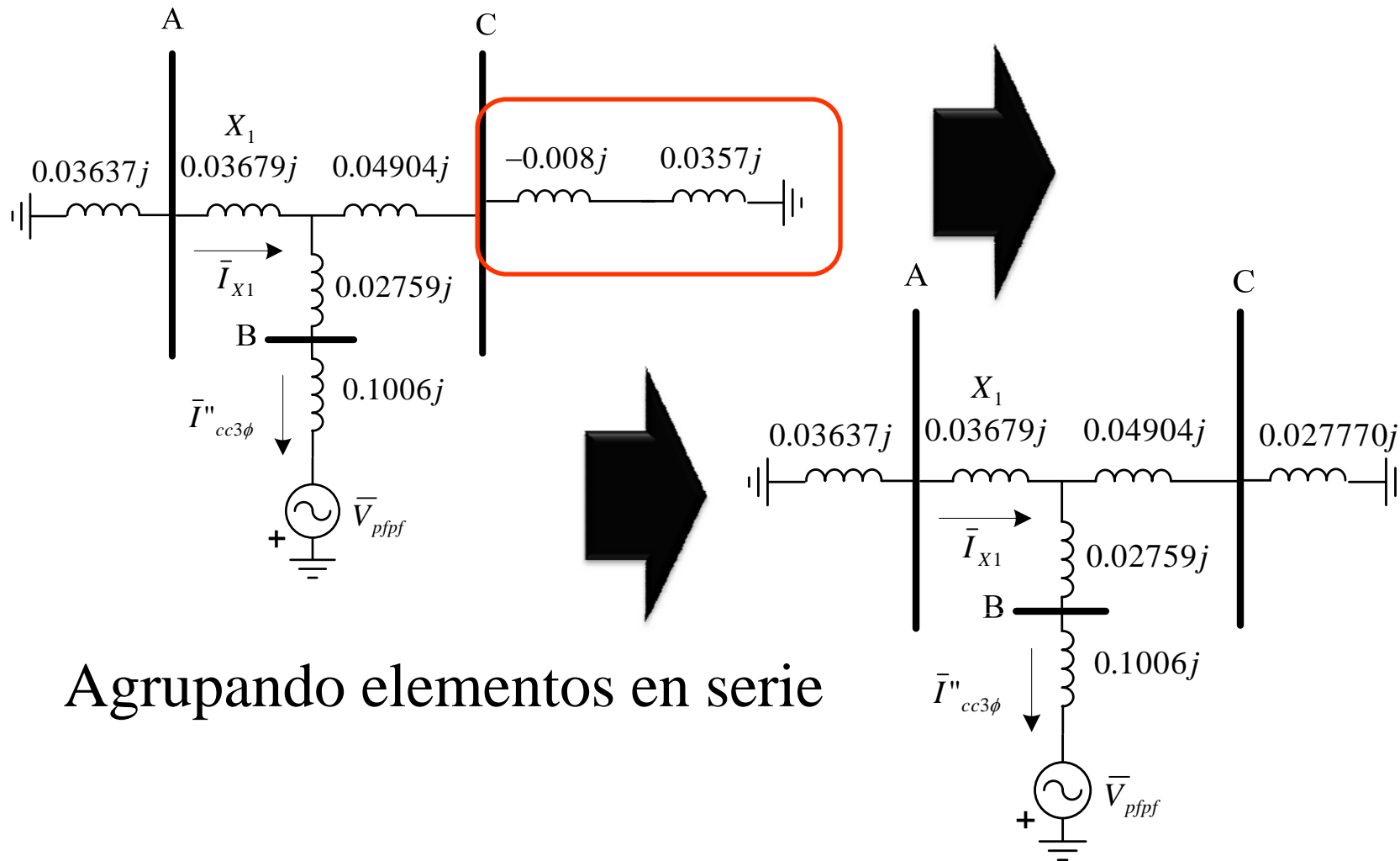
Resolución

- Simplificando series y paralelos:



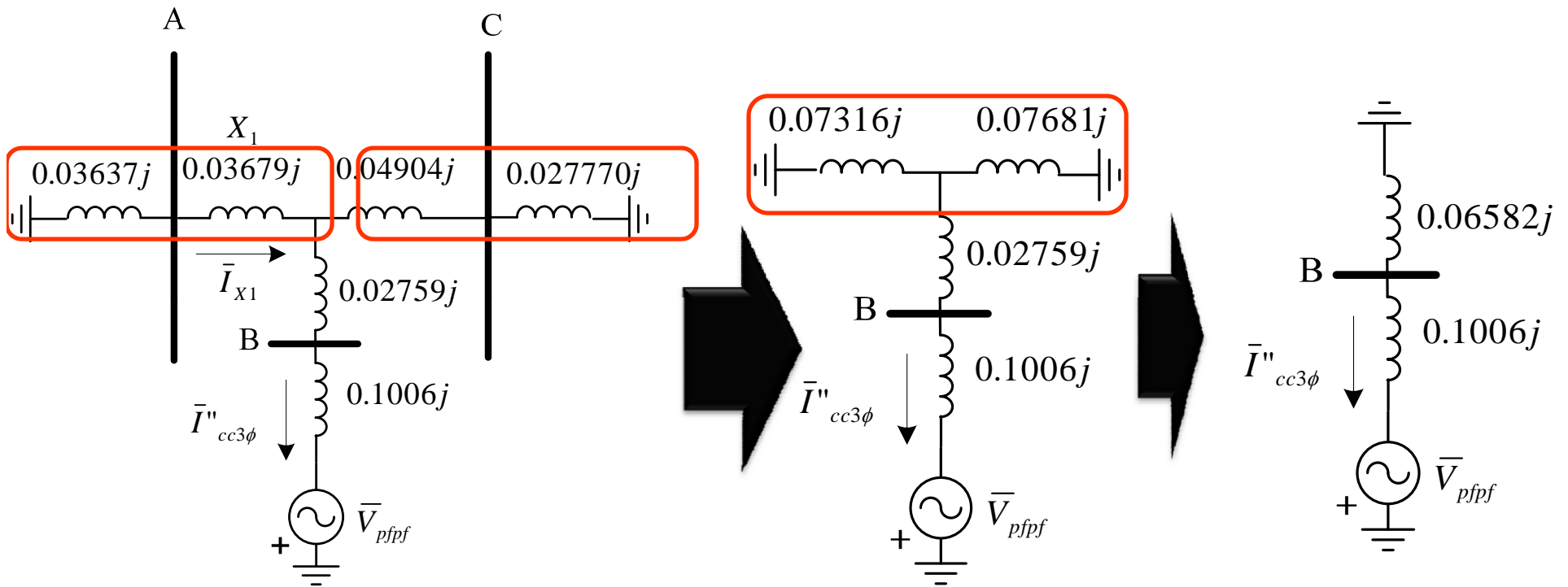
Agrupando elementos
en paralelo

Resolución



Agrupando elementos en serie

Resolución



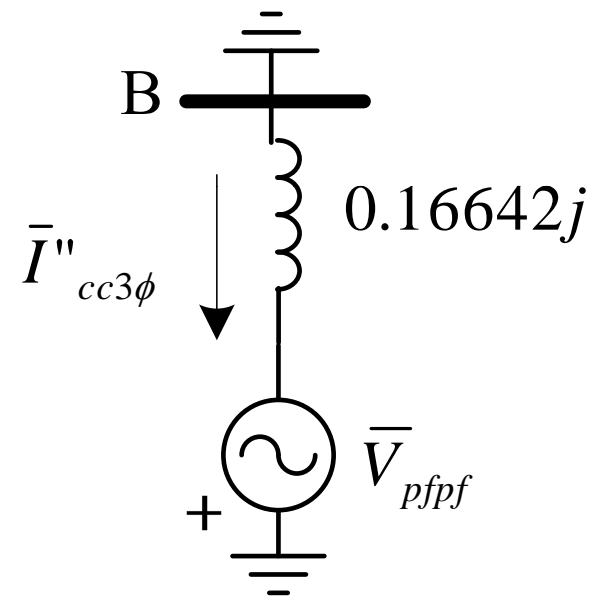
Resolución

- Finalmente la reactancia equivalente de Thevenin en el punto de falla es:

$$X_{th} 0.1656 p.u.$$

$$\bar{I}_{cc3\phi} = \frac{\bar{V}_{pfpf}}{jX_{th}} = \frac{1.05 \angle 0^\circ p.u.}{0.16642 j p.u.}$$

$$\bar{I}_{cc3\phi} = 6.30934 \angle -90^\circ p.u.$$



Resolución

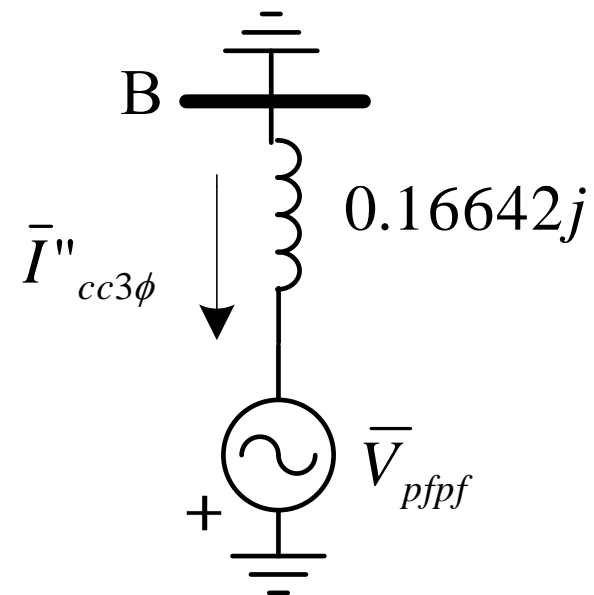
- En amperios se tiene:

$$I_{base} = \frac{S_{base3\phi}}{\sqrt{3}V_{base}}$$

$$I_{base} = \frac{100MVA}{36kV\sqrt{3}}$$

$$I_{base} = 1604Amp$$

$$\bar{I}_{cc3\phi} = 10.120 \angle -90^\circ kAmp$$



Resolución

- La capacidad de cortocircuito de la barra H será,

$$S''_{cc3\phi} = |\bar{V}_{pfpf}| \|\bar{I}_{cc3\phi}\|$$

$$S''_{cc3\phi} = 6.62481 \text{ p.u.}$$

En MVA trifásicos se tiene,

$$S''_{cc3\phi} = \sqrt{3} |\bar{V}_{pfpf}| \|\bar{I}_{cc3\phi}\|$$

$$S''_{cc3\phi} = 662.48 \text{ MVA}$$

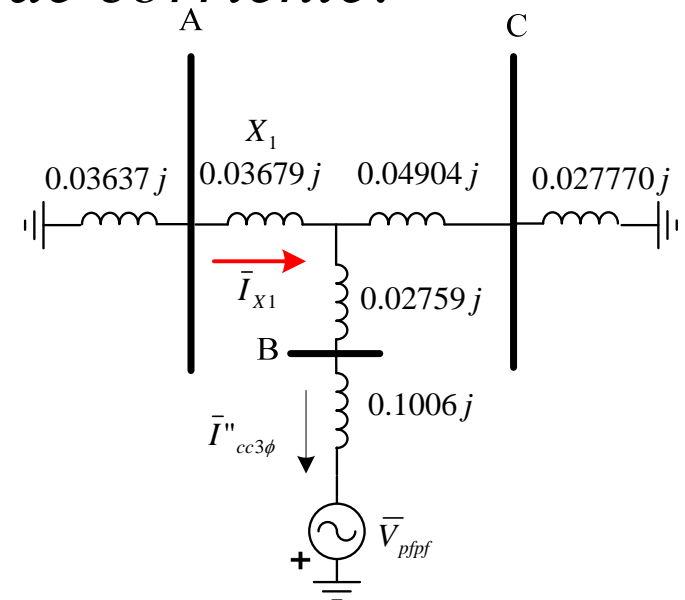
Resolución

- Para determinar *el voltaje en la Barra A*, en condiciones de falla se procede a determinar con el uso de teoría de circuitos, las variables adecuadas.
- Se procede a determinar la corriente que circula por la reactancia X_1 , aplicando *divisor de corriente*.

$$\bar{I}_{X1} = \bar{I}''_{cc3\phi} \frac{0.07681 jpu}{0.07681 jpu + 0.07316 jp.u}$$

$$\bar{I}_{X1} = 6.30934 \angle -90^\circ \times 0.51217$$

$$\bar{I}_{X1} = 3.23145 \angle -90^\circ p.u$$

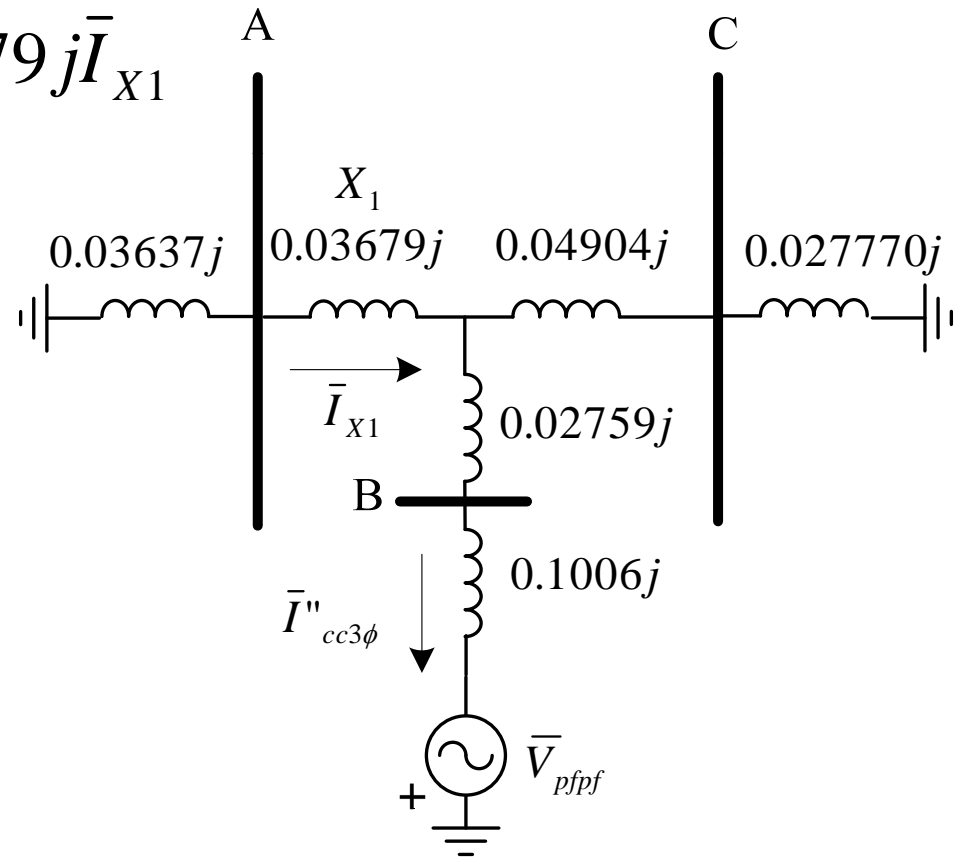


Resolución

- La diferencia de voltaje entre las barras B y A se puede obtener como:

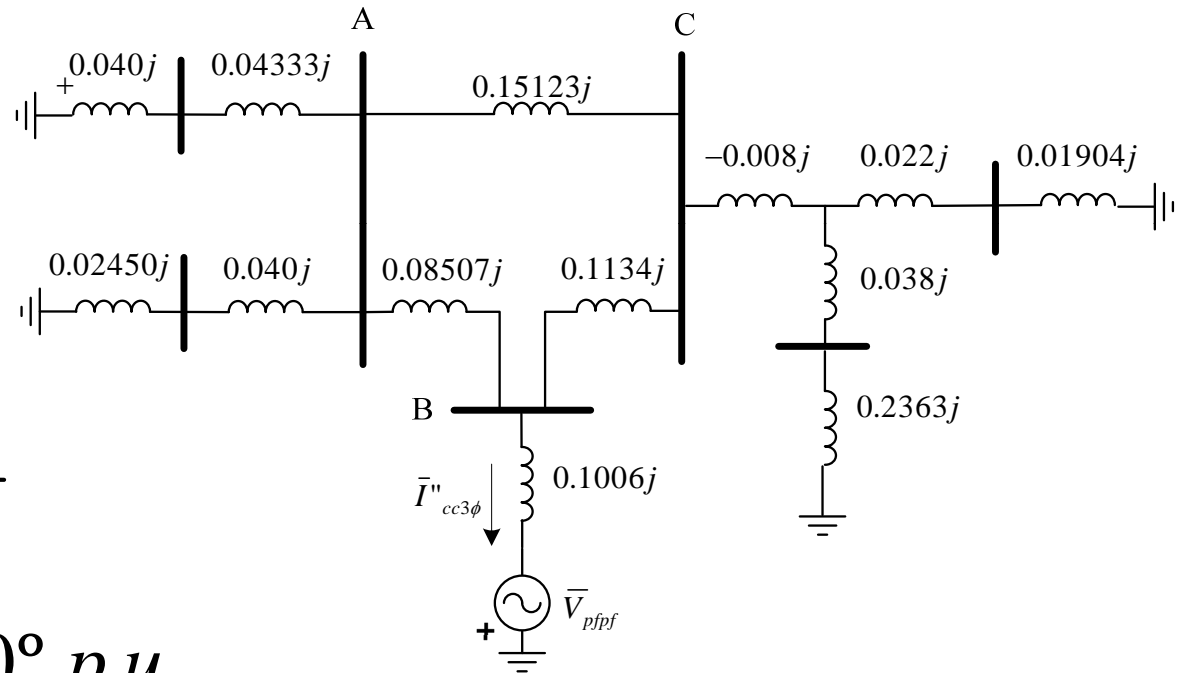
$$\bar{V}_{AB} = \bar{I}_{cc3\phi} 0.02759j + 0.03679j \bar{I}_{X1}$$

$$\bar{V}_{AB} = 0.29296 p.u$$



Resolución

- El valor de la corriente que circula por la línea L2, se puede determinar:



$$\bar{I}_{L2} = \frac{\bar{V}_{AB}}{0.08507 j p.u}$$

$$\bar{I}_{L2} = 3.4375 \angle -90^\circ p.u$$

Resolución

- El voltaje entre la barra A y referencia se tiene que resulta:

$$\bar{V}_A = -\bar{V}_{pfpf} + \bar{I}_{cc3\phi} 0.1006 j + \bar{V}_{AB}$$

$$\bar{V}_A = -\bar{V}_{pfpf} + 0.92768 \angle 0^\circ \text{ p.u}$$

- Es importante recordar que el voltaje calculado por el método anterior, es un *voltaje incremental*, de tal modo que el voltaje total viene dado por:

$$\bar{V}_{Areal} = -\bar{V}_{pfpf} + 0.92768 \angle 0^\circ + \bar{V}_{pfpf}$$

$$\bar{V}_{Areal} = 0.92768 \angle 0^\circ \text{ p.u}$$

Resolución

- Finalmente en unidades reales se tiene:

$$\bar{V}_{Areal} = 0.932kV$$