

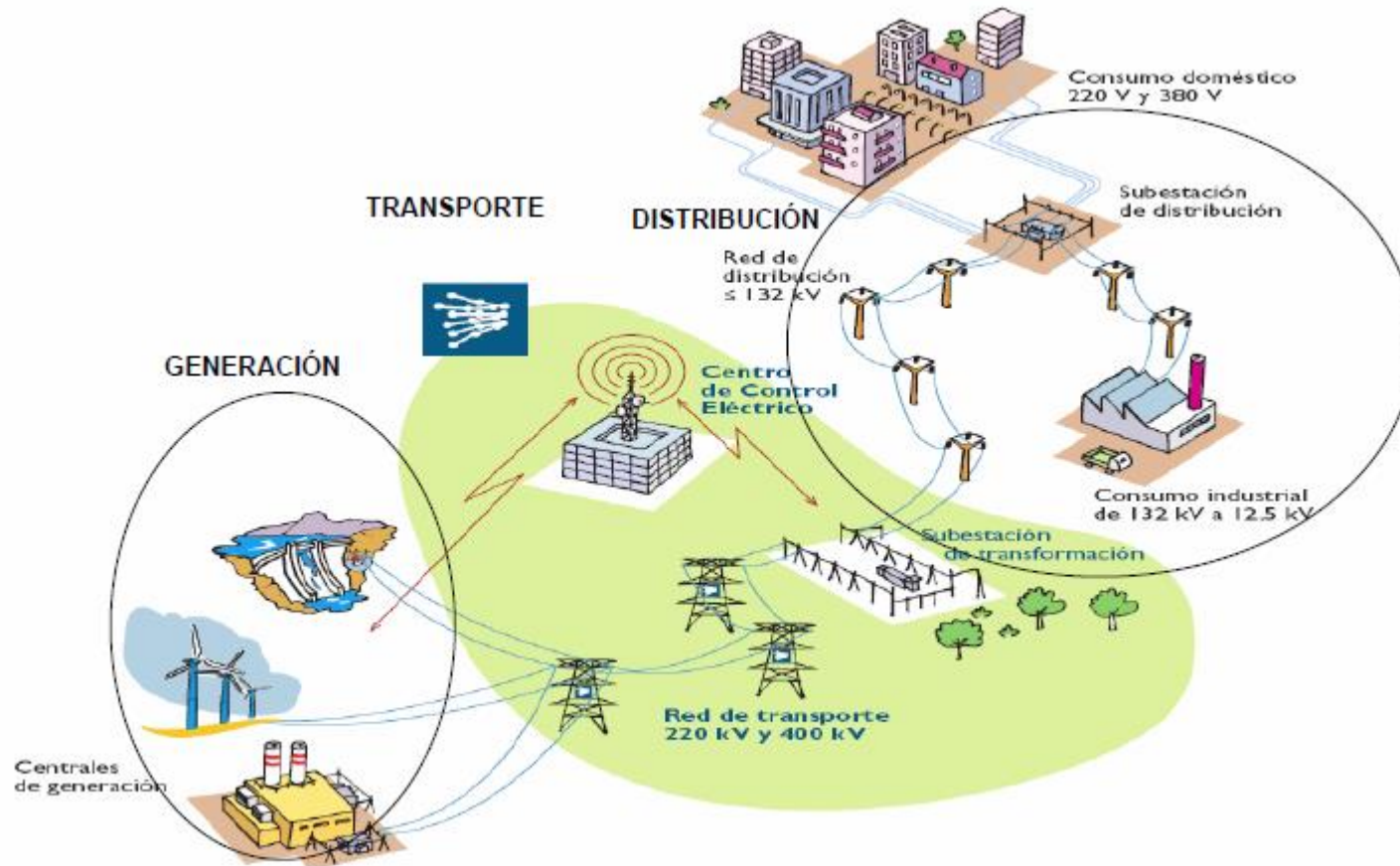


Taller virtual: “Elaboración de Estudio de Cortocircuito”

ANÁLISIS DE CORTOCIRCUITO



INTRODUCCIÓN



<http://www.energiaysociedad.es/manenergia/1-1-aspectos-basicos-de-la-electricidad/>

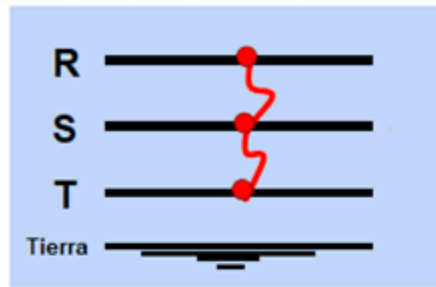


TIPOS DE CORTOCIRCUITO

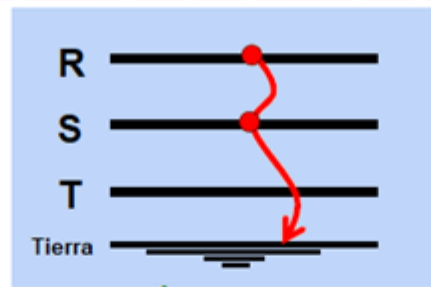
- ☐ Monofásica a tierra.
- ☐ Bifásica a tierra.
- ☐ Trifásica a tierra.
- ☐ Bifásica.
- ☐ Trifásica



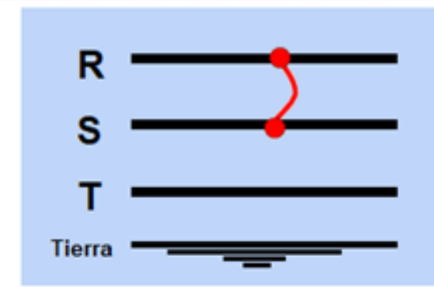
TIPOS DE CORTOCIRCUITO



Trifásica



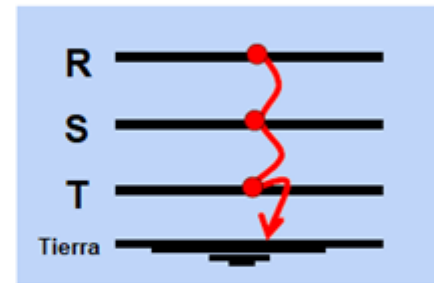
Bifásica a tierra



Bifásica fase a fase



Monofásica a tierra



**Trifásica a tierra
fase**



**Fallas monofásicas simultáneas -
Cross country fault**



FLASHOVER



https://www.researchgate.net/publication/224226487_380_kV_Corona_Ring_Optimization_for_ac_Voltages/figures



BACK FLASHOVER



https://dbnst.nii.ac.jp/view_image/4488/9277?height=873&width=728



CÁLCULO DE CORTOCIRCUITO

Un cortocircuito produce grandes corrientes, puede ocasionar:

- ☐ Daño en las instalaciones.
- ☐ Interrupción de grandes áreas.
- ☐ Pone personal en riesgo.
- ☐ Arco eléctrico (Arc Flash)
- ☐ Otros (huecos de tensión).



CÁLCULO DE CORTOCIRCUITO

Máxima Corriente de Cortocircuito

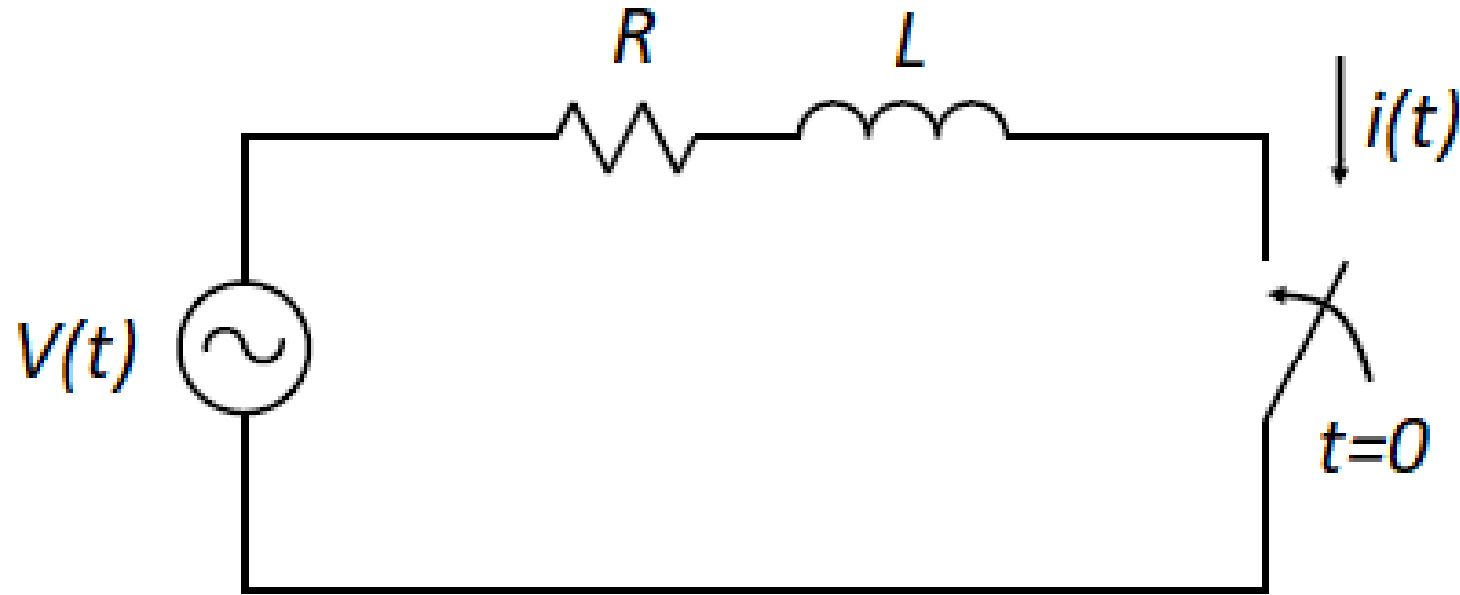
- ☐ Diseño de los equipos.
- ☐ Coordinación de los equipos de protección.
- ☐ Dimensionamiento de sistemas de puesta a tierra.

Mínima Corriente de Cortocircuito

- ☐ Sensibilidad de los relés.



ANÁLISIS TRANSITORIO DE LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO



$$V(t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} \quad (1)$$



ANÁLISIS TRANSITORIO DE LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO

La fuente es sinusoidal:

$$V(t) = V_m \sin(\omega t + \alpha) \quad (2)$$

Entonces la solución de (1) es:

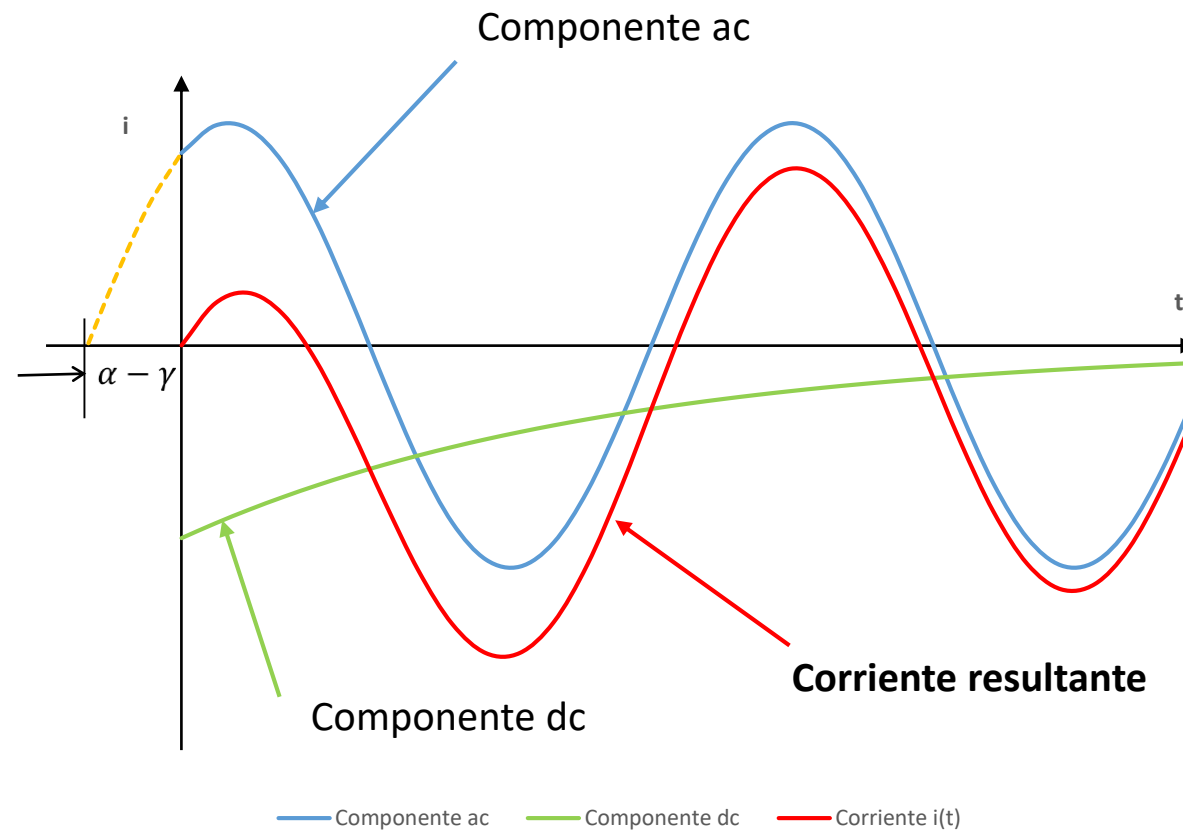
$$i(t) = I \sin(\omega t + \alpha - \gamma) - I e^{-\frac{t}{\tau}} \sin(\alpha - \gamma) \quad (3)$$

Donde:

$$I = V_m/Z, \tau = L/R, \gamma = \tan^{-1} \omega L/R \text{ y } Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

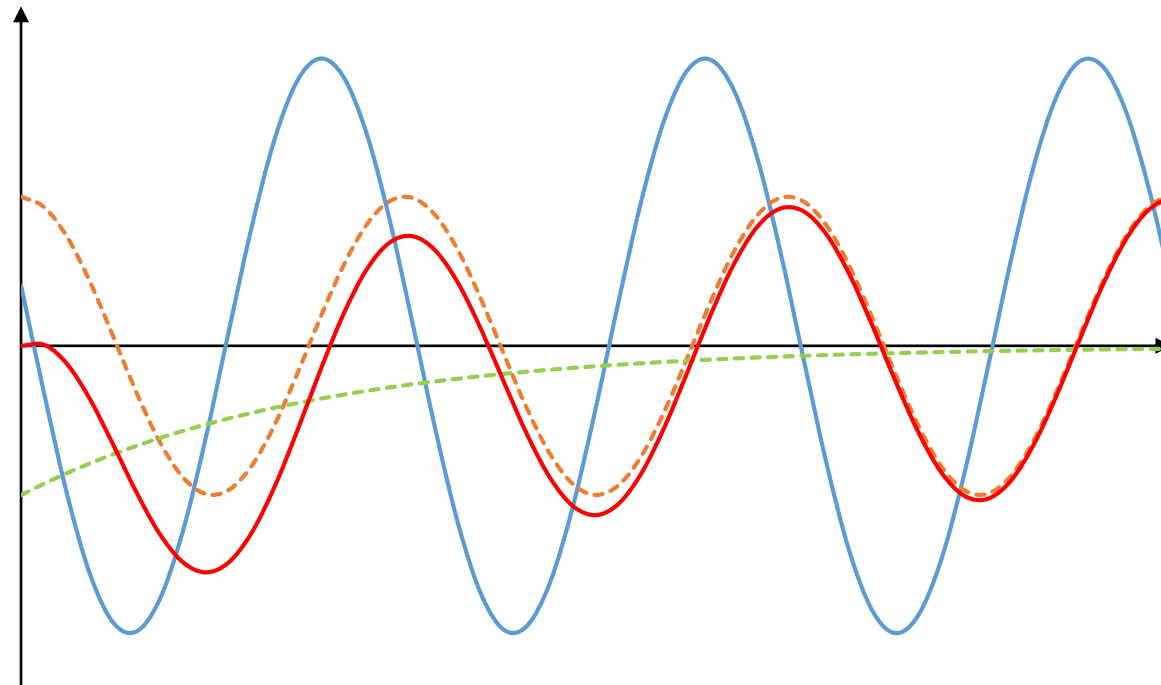


ANÁLISIS TRANSITORIO DE LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO



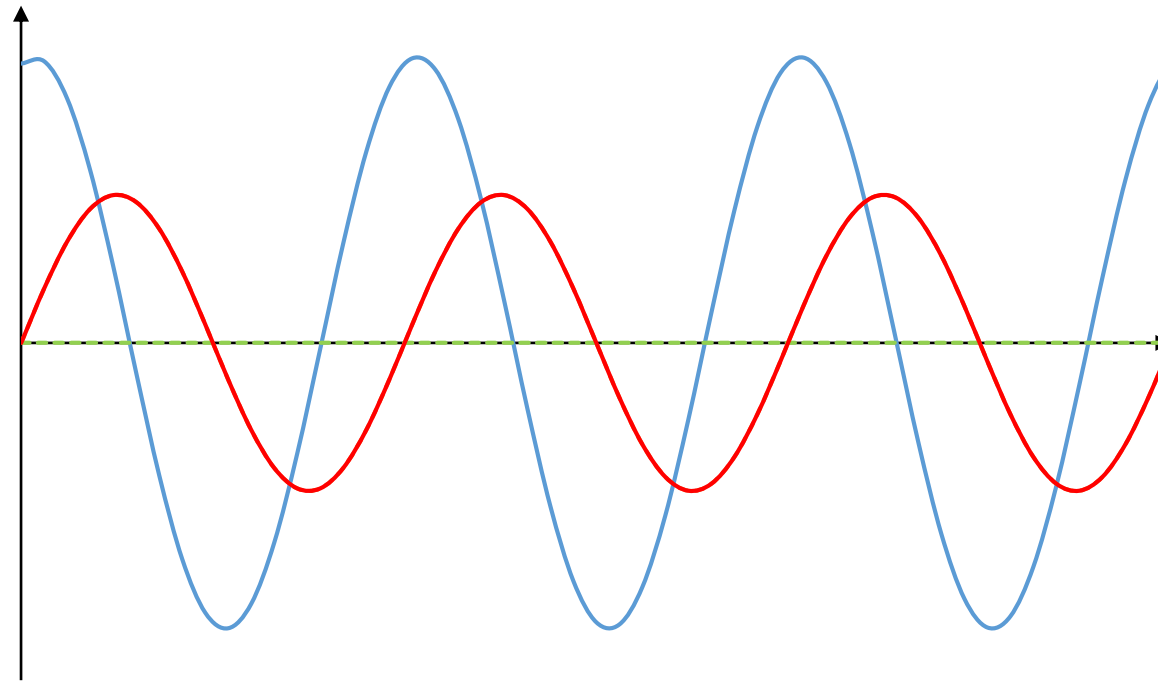
ANÁLISIS TRANSITORIO DE LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO

Componente dc máxima: $(\alpha - \gamma) = \pi/2$



ANÁLISIS TRANSITORIO DE LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO

Componente dc nula: $\alpha = \gamma$



ANÁLISIS TRANSITORIO DE LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO

Como en los SEP $\omega L \gg R$, entonces $\gamma \simeq \pi/2$:

- ❑ Si se cierra el interruptor a la tensión máxima:

No hay componente continua

- ❑ Si se cierra el interruptor cuando la tensión es cero:

Se produce la máxima corriente dc



CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO EN LOS TERMINALES DE UN GENERADOR

Del cálculo de la corriente de cortocircuito obtenemos:

$$i(t)$$

$$= E\sqrt{2} \left[\left(\frac{1}{X_d''} - \frac{1}{X_d'} \right) e^{-\frac{t}{T_d''}} + \left(\frac{1}{X_d'} - \frac{1}{X_d} \right) e^{-\frac{t}{T_d'}} + \frac{1}{X_d} \right] \cos(\omega t + \alpha)$$

$$- \frac{E\sqrt{2}}{X_d''} e^{-\frac{t}{T_a}} \cos \alpha \quad (4)$$



CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO EN LOS TERMINALES DE UN GENERADOR

$$E\sqrt{2}\left(\frac{1}{X_d''} - \frac{1}{X_d'}\right)e^{-\frac{t}{T_d''}}\cos(\omega t + \alpha)$$

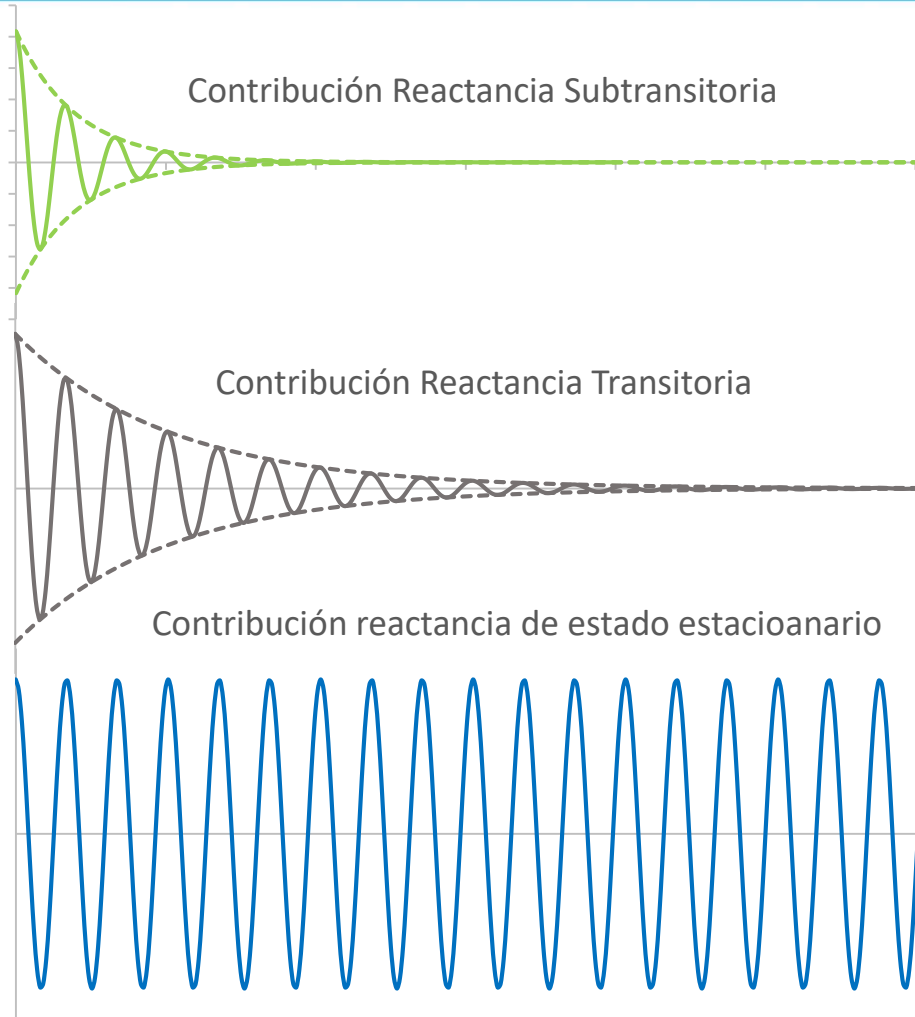
Contribución Reactancia Subtransitoria

$$E\sqrt{2}\left(\frac{1}{X_d'} - \frac{1}{X_d}\right)e^{-\frac{t}{T_d'}}\cos(\omega t + \alpha)$$

Contribución Reactancia Transitoria

$$E\sqrt{2}\frac{1}{X_d}\cos(\omega t + \alpha)$$

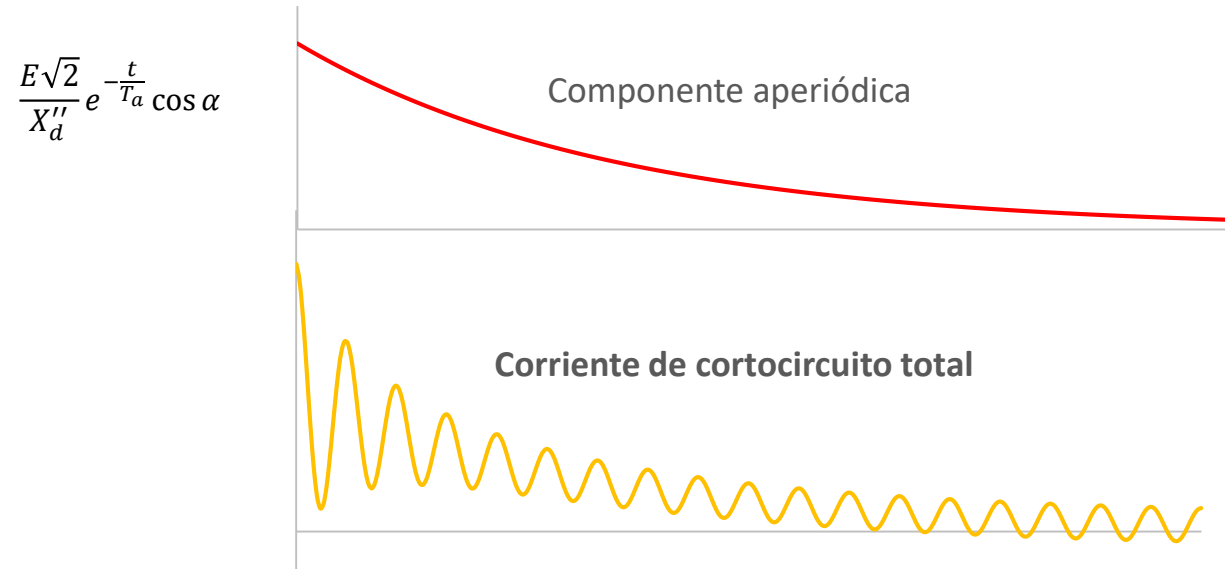
Contribución reactancia de estado estacionario



Elaboración de Estudio de Cortocircuito

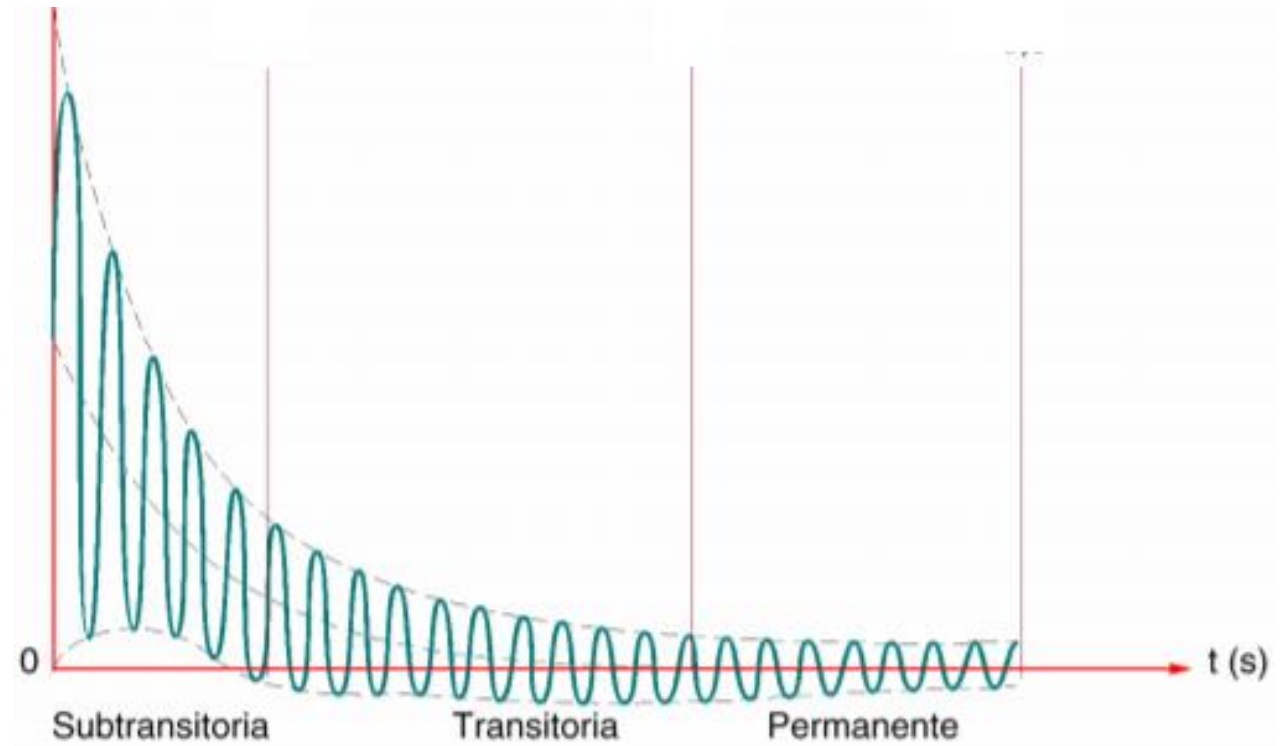


CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO EN LOS TERMINALES DE UN GENERADOR



CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO EN LOS TERMINALES DE UN GENERADOR

- Estado Subtransitorio: 10-20 ms
- Estado Transitorio: hasta 500 ms
- Estado Permanente: después de transitorio



Fuente: Calculation of Short-circuit currents, Schneider Electric



¿CUANDO LA FALLA NO ES BALANCEADA?



COMPONENTES SIMÉTRICAS

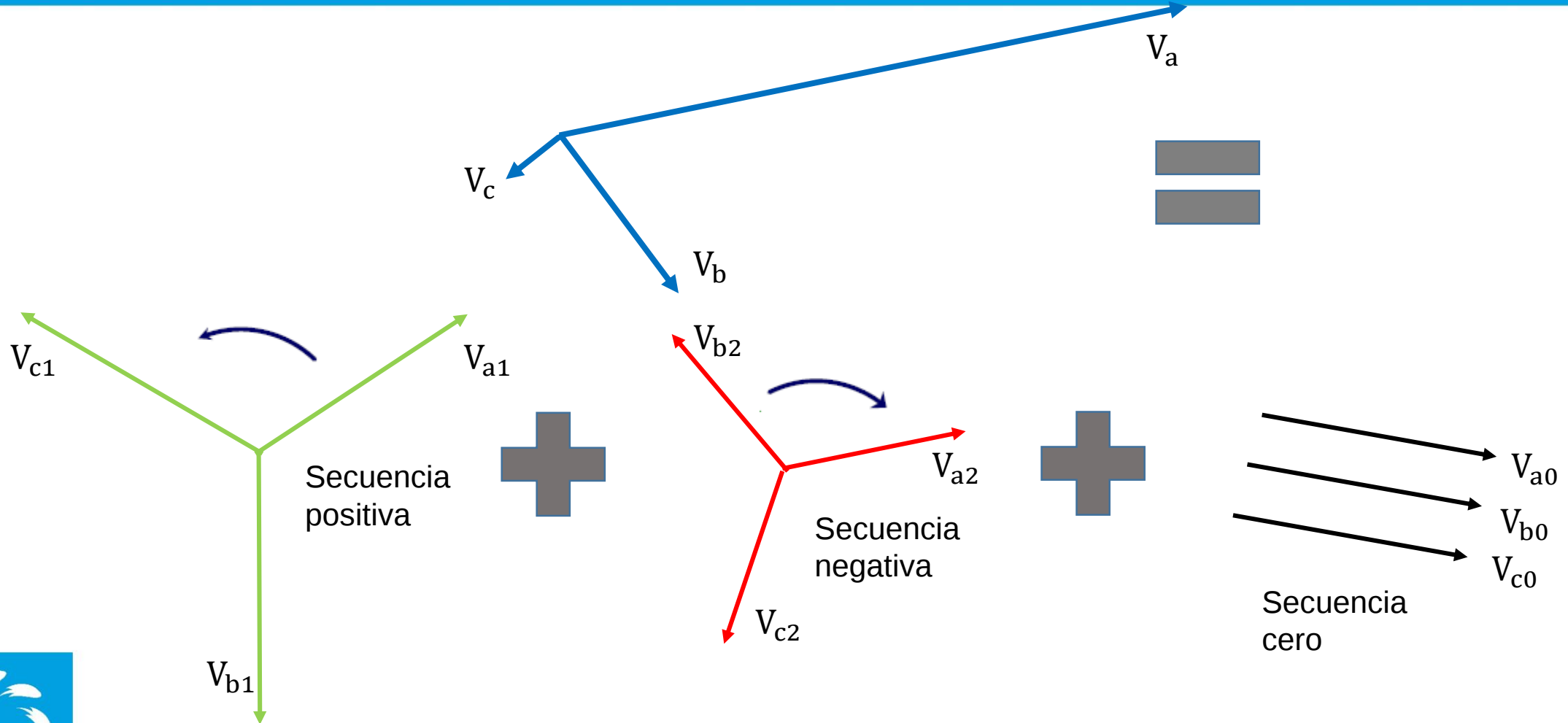
El concepto general de las componentes simétricas fue primero desarrollado por C.L. Fortescue en 1918.

En un sistema trifásico, un conjunto de tres fasores desbalanceados pueden ser resueltos en tres sistemas de fasores como sigue:

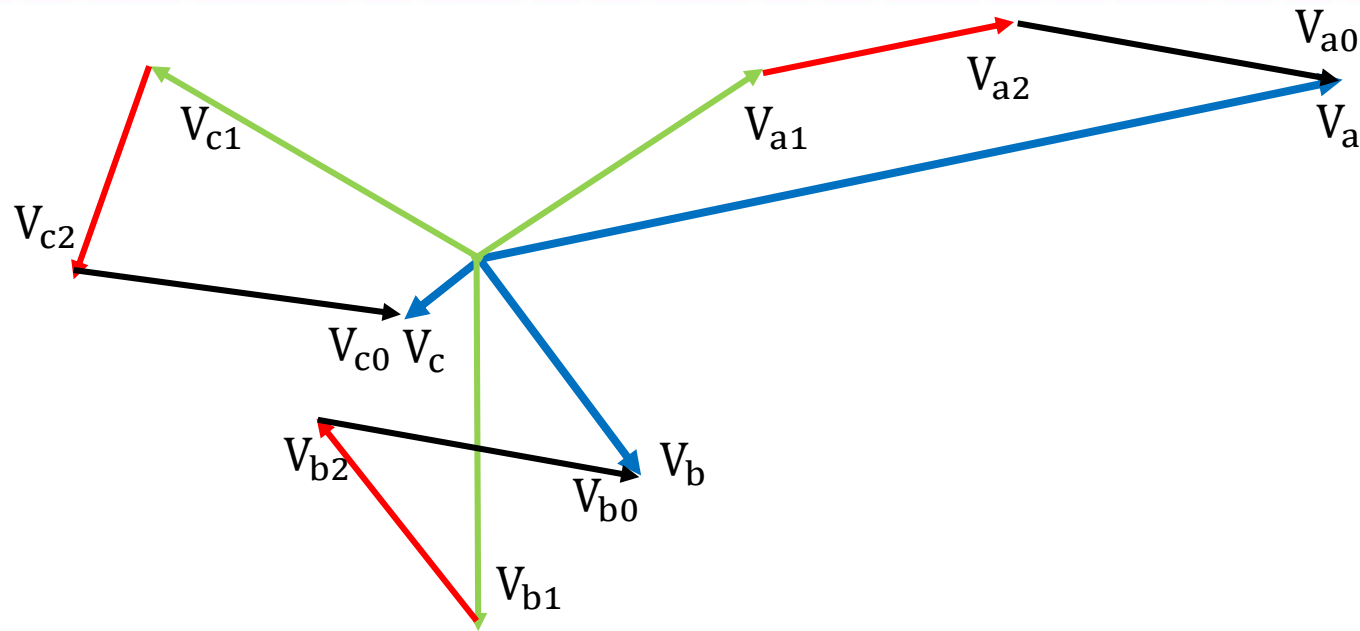
- (a) **Secuencia positiva:** tres fasores con la misma secuencia de fase
- (b) **Secuencia negativa:** tres fasores con la secuencia de fase opuesta.
- (c) **Componentes de secuencia cero:** tres fasores de igual magnitud y fase.



COMPONENTES SIMÉTRICAS



COMPONENTES SIMÉTRICAS



Se define el operador:

$$a = 1 \angle 120^\circ \Rightarrow a^2 = 1 \angle -120^\circ$$



COMPONENTES SIMÉTRICAS

Las tensiones:

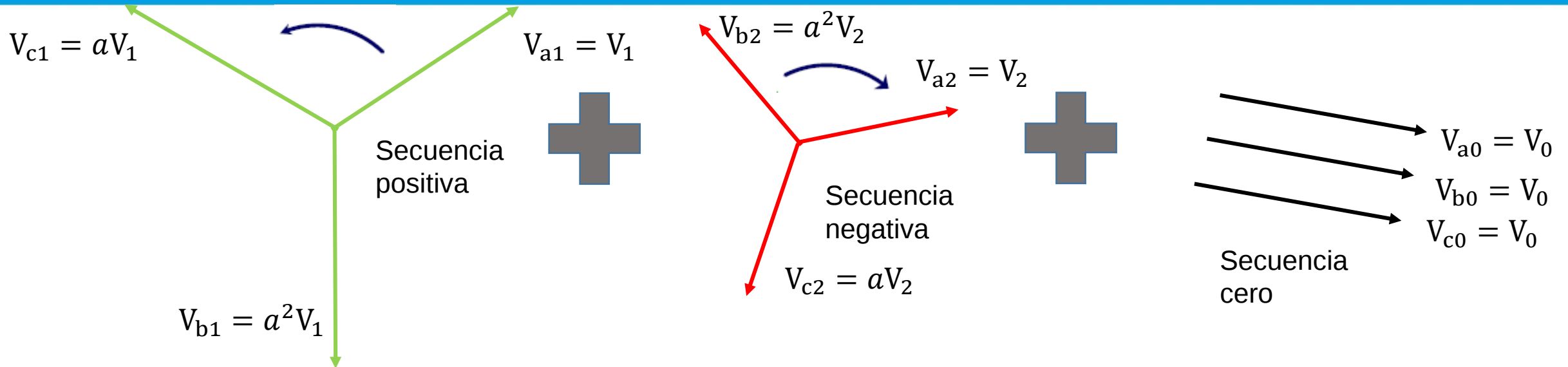
$$V_a = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2}$$

$$V_b = V_{b0} + V_{b1} + V_{b2}$$

$$V_c = V_{c0} + V_{c1} + V_{c2}$$



COMPONENTES SIMÉTRICAS



$$V_a = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} = V_0 + V_1 + V_2$$

$$V_b = V_{b0} + V_{b1} + V_{b2} = V_0 + a^2 V_1 + a V_2$$

$$V_c = V_{c0} + V_{c1} + V_{c2} = V_0 + a V_1 + a^2 V_2$$



COMPONENTES SIMÉTRICAS

Tenemos en forma matricial:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} \quad [A] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$



COMPONENTES SIMÉTRICAS

Podemos calcular la inversa:

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = [A^{-1}] \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad [A^{-1}] = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}$$



COMPONENTES SIMÉTRICAS

$$3V_0 = V_a + V_b + V_c$$

$$3V_1 = V_a + aV_b + a^2V_c$$

$$3V_2 = V_a + a^2V_b + aV_c$$

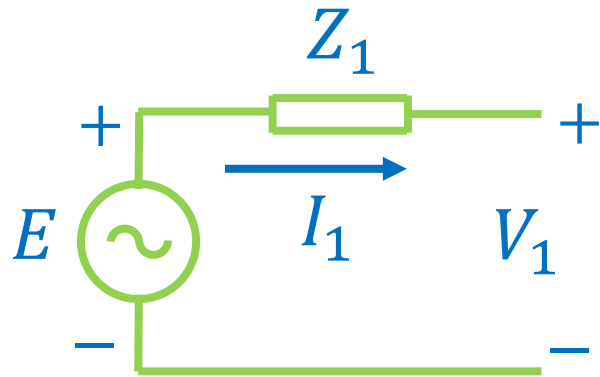
Para corrientes es análogo:

$$3I_0 = I_a + I_b + I_c$$



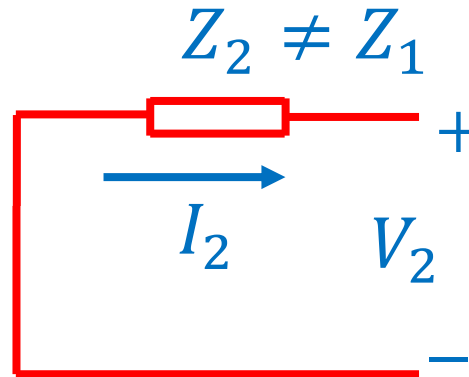
REDES DE SECUENCIA DE UN GENERADOR

Positiva



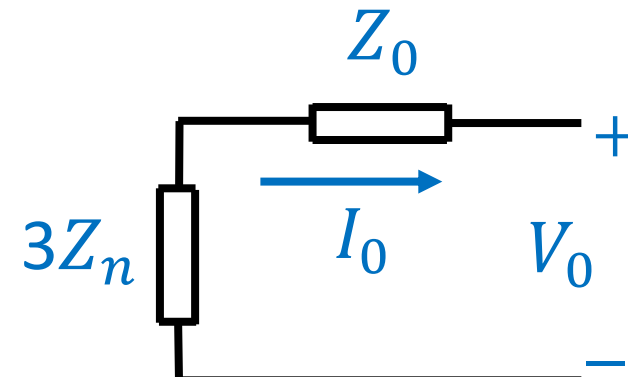
$$\bar{E} = \bar{Z}_1 \bar{I}_1 + \bar{V}_1$$

Negativa



$$0 = \bar{Z}_2 \bar{I}_2 + \bar{V}_2$$

Cero

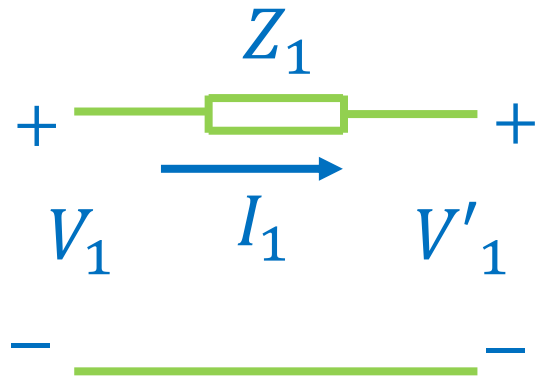


$$0 = (\bar{Z}_0 + 3\bar{Z}_n) \bar{I}_0 + \bar{V}_0$$



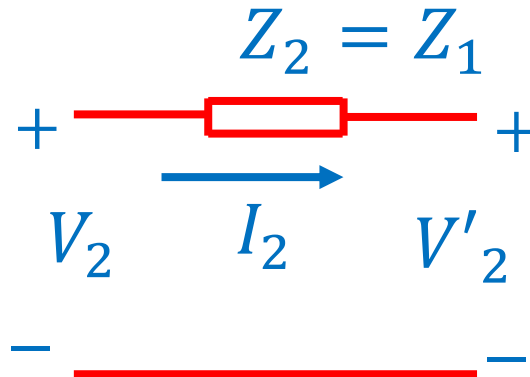
REDES DE SECUENCIA DE LÍNEA DE TRANSMISIÓN

Positiva



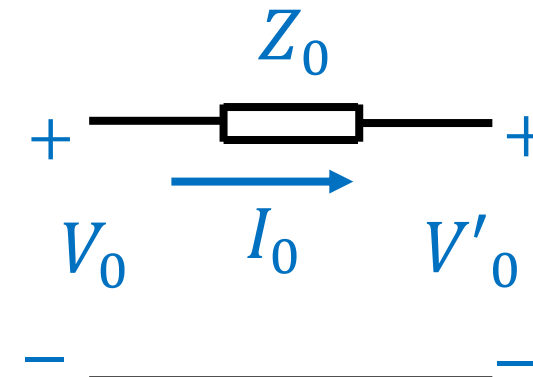
$$\bar{V}_1 = \bar{Z}_1 \bar{I}_1 + \bar{V}'_1$$

Negativa



$$\bar{V}_2 = \bar{Z}_2 \bar{I}_2 + \bar{V}'_2$$

Cero

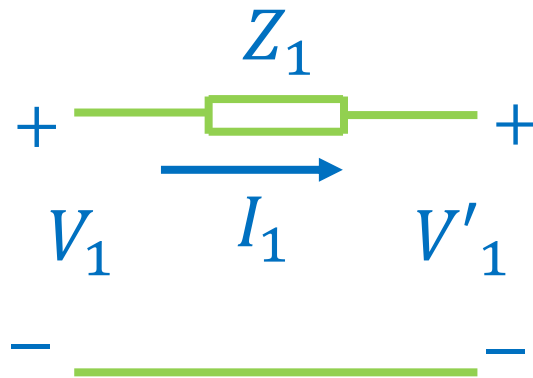


$$\bar{V}_0 = \bar{Z}_0 \bar{I}_0 + \bar{V}'_0$$



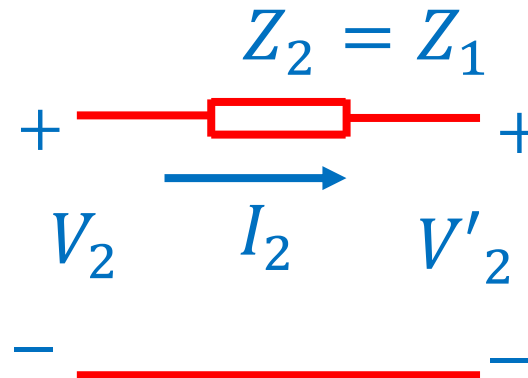
REDES DE SECUENCIA DE TRANSFORMADOR CON GRUPO DE CONEXIÓN $Y_N Y_N$

Positiva



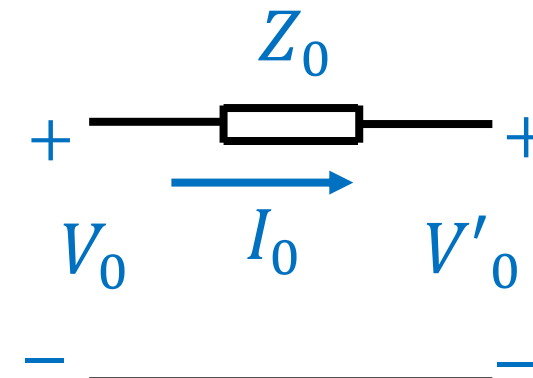
$$\bar{V}_1 = \bar{Z}_1 \bar{I}_1 + \bar{V}'_1$$

Negativa



$$\bar{V}_2 = \bar{Z}_2 \bar{I}_2 + \bar{V}'_2$$

Cero

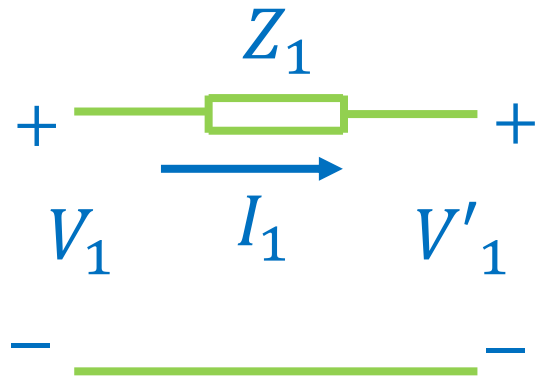


$$\bar{V}_0 = \bar{Z}_0 \bar{I}_0 + \bar{V}'_0$$



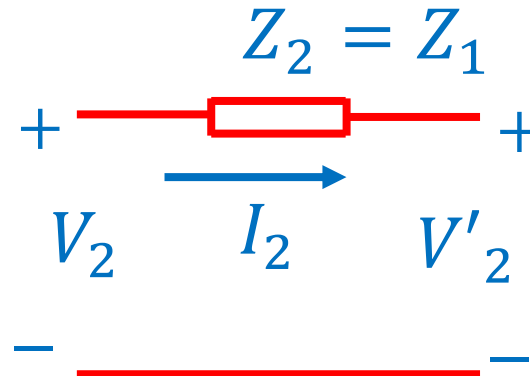
REDES DE SECUENCIA DE TRANSFORMADOR CON GRUPO DE CONEXIÓN Δ -Y_N

Positiva



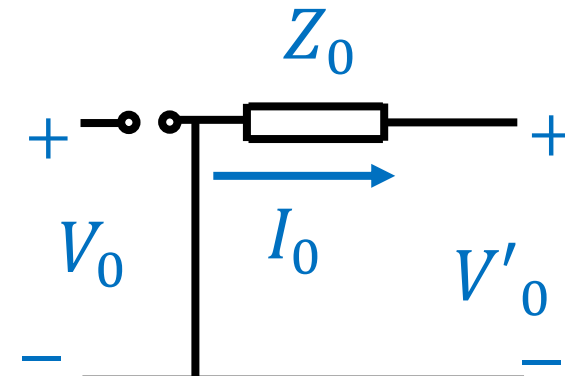
$$\bar{V}_1 = \bar{Z}_1 \bar{I}_1 + \bar{V}'_1 e^{-j30^\circ}$$

Negativa



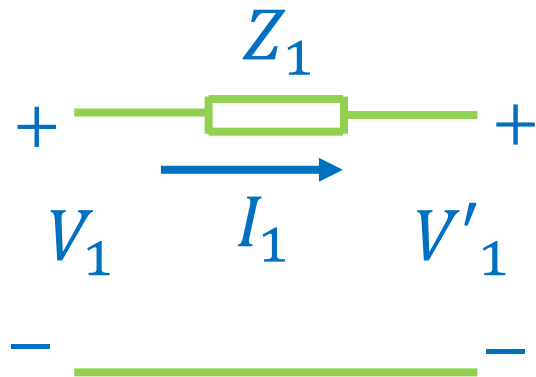
$$\bar{V}_2 = \bar{Z}_2 \bar{I}_2 + \bar{V}'_2 e^{j30^\circ}$$

Cero



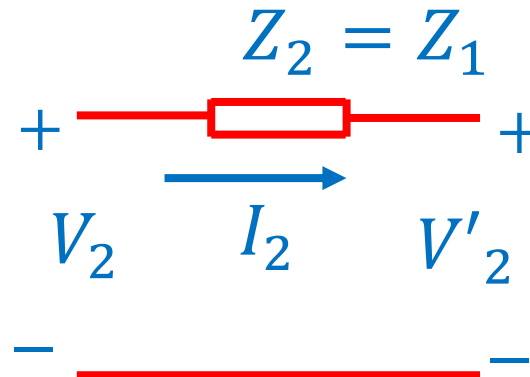
REDES DE SECUENCIA DE TRANSFORMADOR CON GRUPO DE CONEXIÓN $Y_N-\Delta$

Positiva



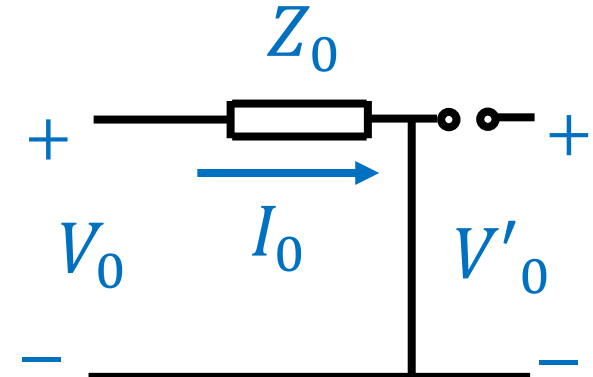
$$\bar{V}_1 = \bar{Z}_1 \bar{I}_1 + \bar{V}'_1 e^{j30^\circ}$$

Negativa

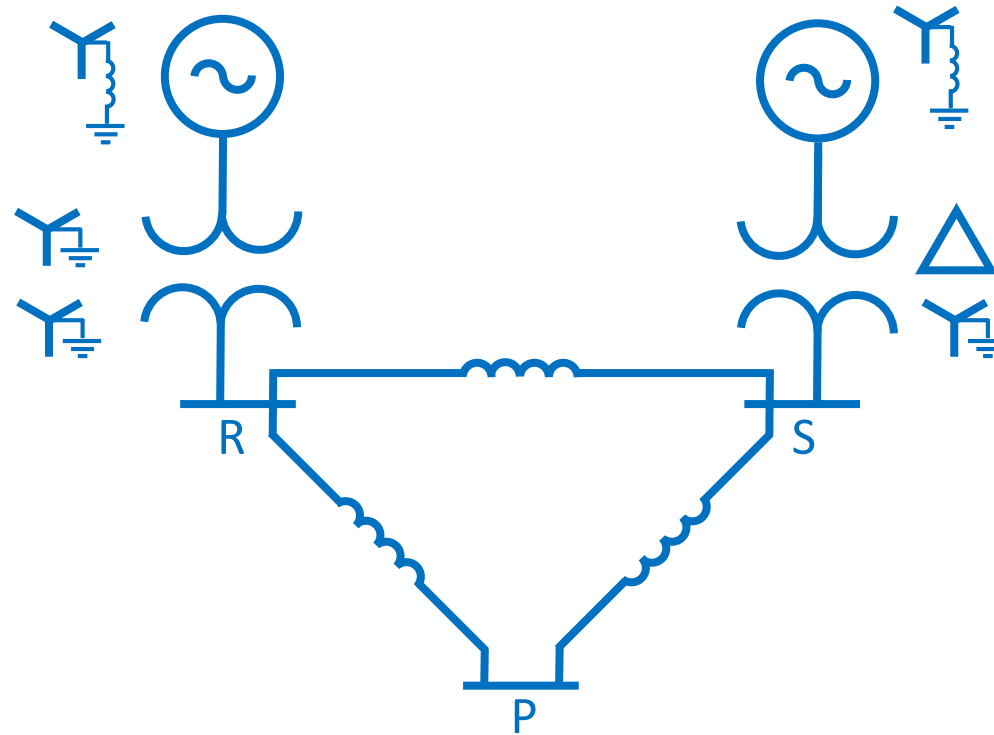


$$\bar{V}_2 = \bar{Z}_2 \bar{I}_2 + \bar{V}'_2 e^{-j30^\circ}$$

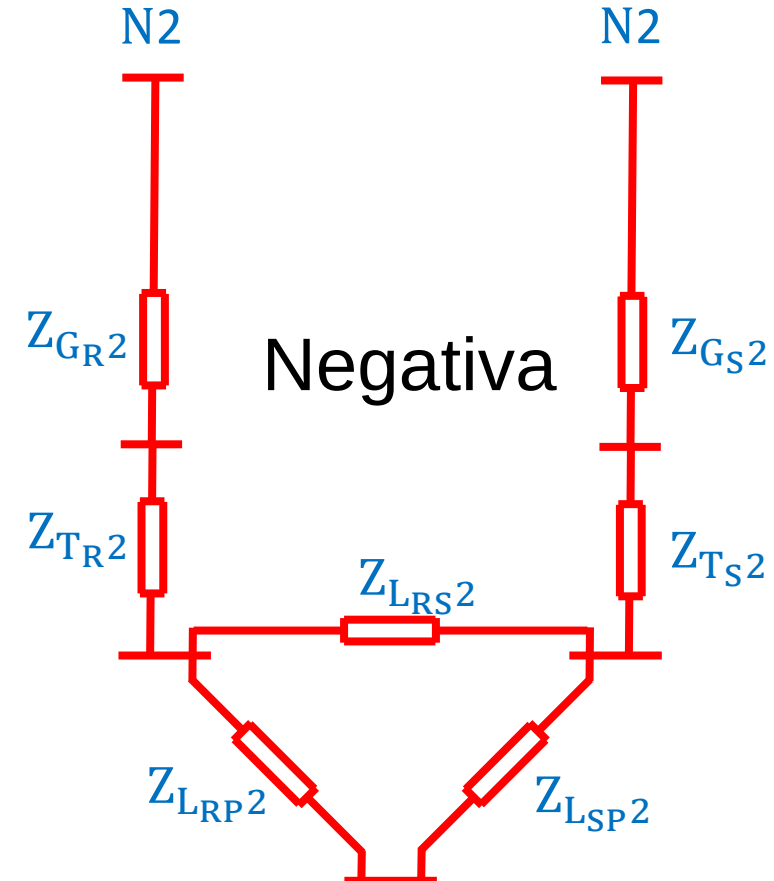
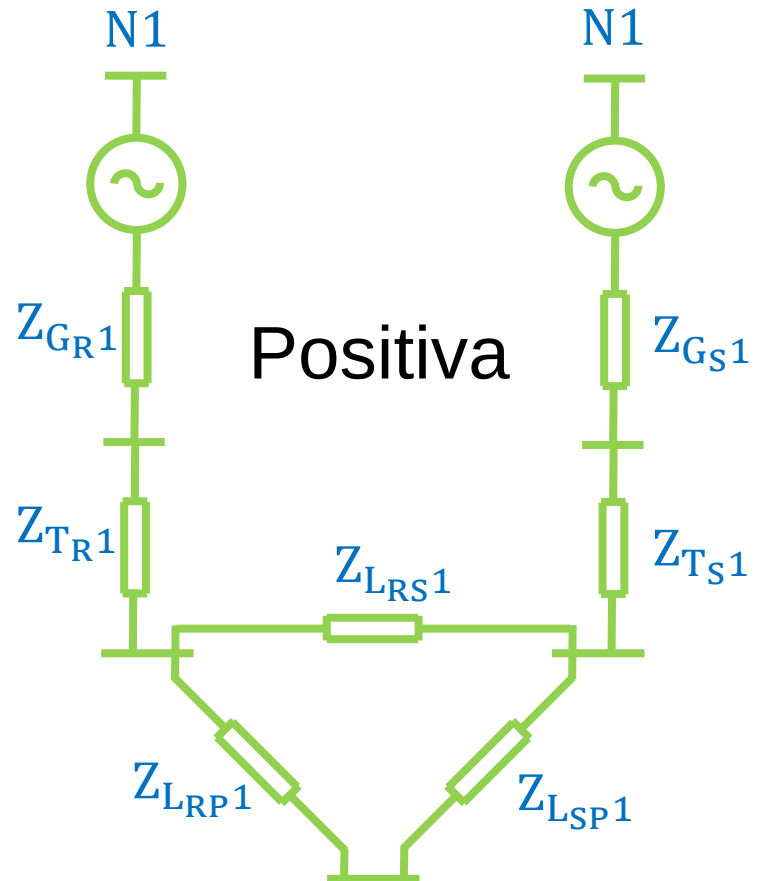
Cero



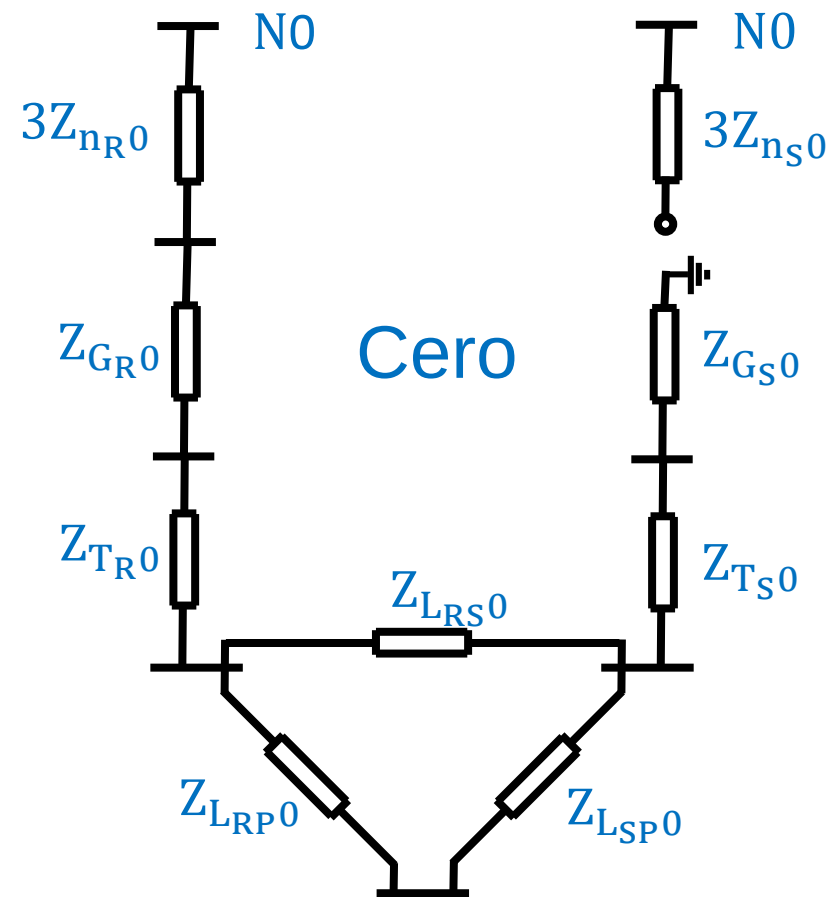
EJEMPLO: DESARROLLAR LAS REDES DE SECUENCIA DEL SIGUIENTE SISTEMA



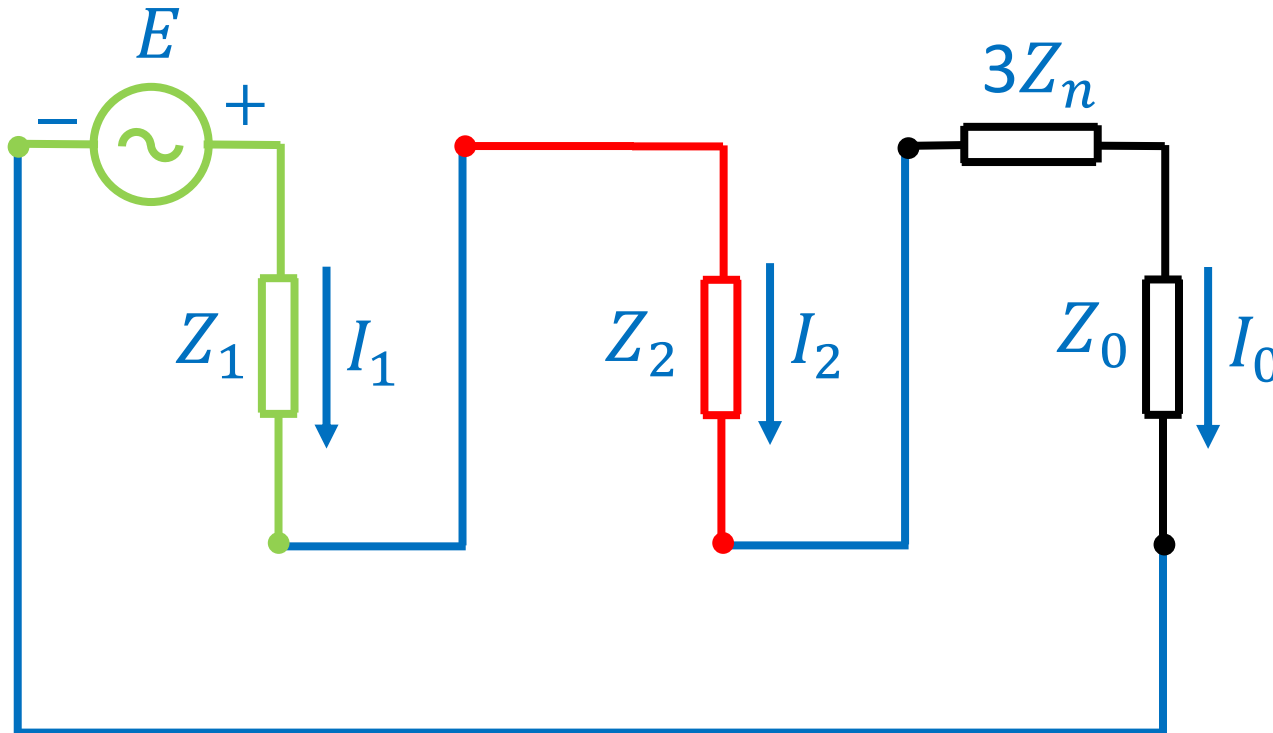
SOLUCIÓN:



SOLUCIÓN:



REDES DE SECUENCIA: FALLA MONOFÁSICA A TIERRA



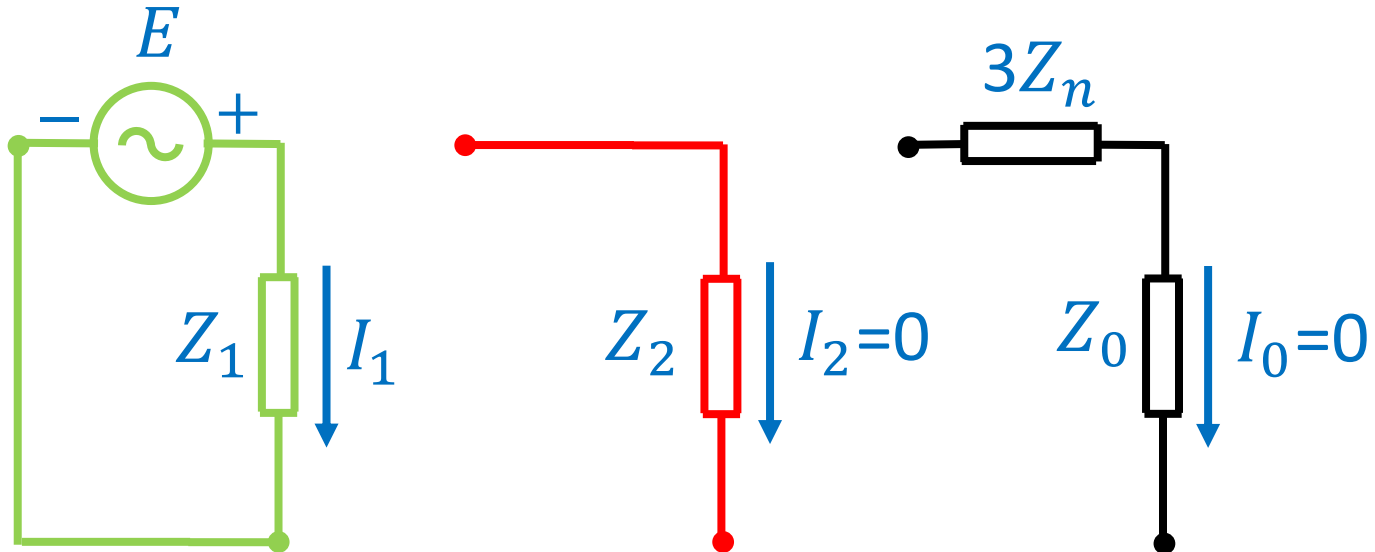
Corriente de falla

$$\frac{\bar{I}_a}{3} = \bar{I}_0 = \bar{I}_1 = \bar{I}_2$$

$$\frac{\bar{I}_a}{3} = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_0 + \bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 + 3\bar{Z}_n}$$



REDES DE SECUENCIA: FALLA TRIFÁSICA



Corriente de falla

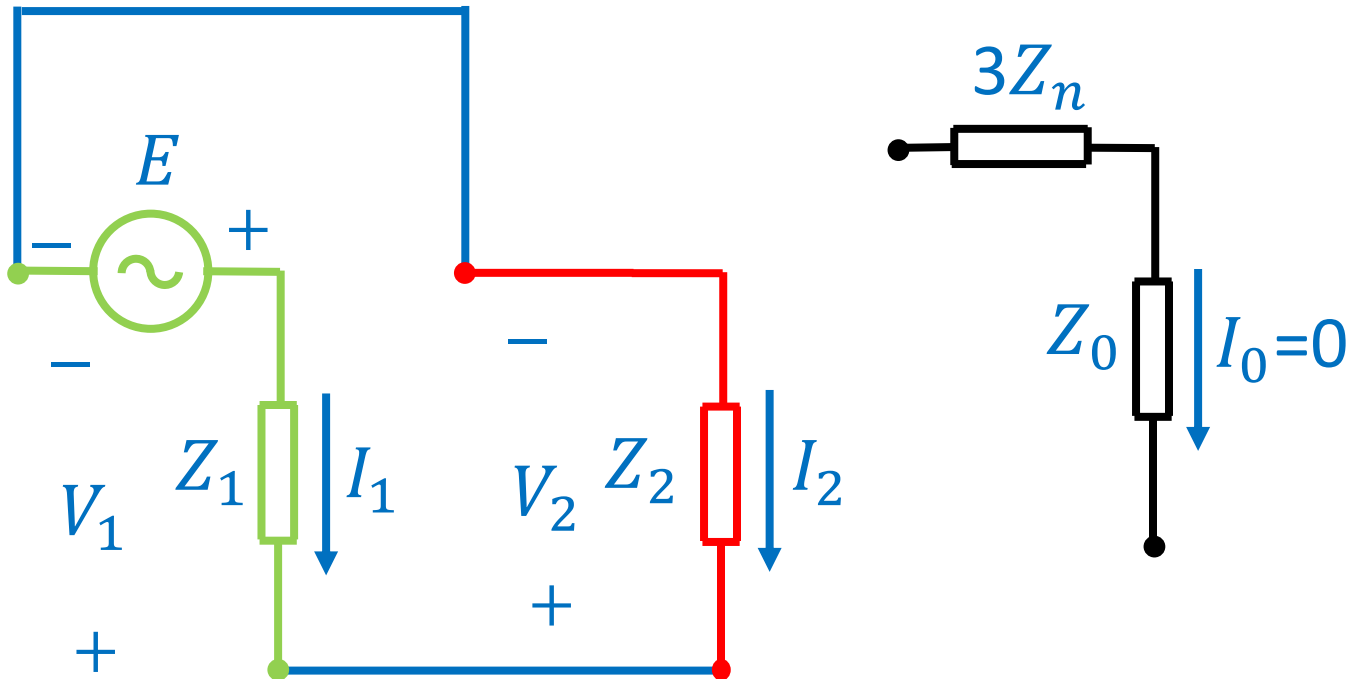
$$\bar{I}_a = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_1}$$

$$\bar{I}_b = a^2 \bar{I}_a$$

$$\bar{I}_c = a \bar{I}_a$$



REDES DE SECUENCIA: FALLA BIFÁSICA



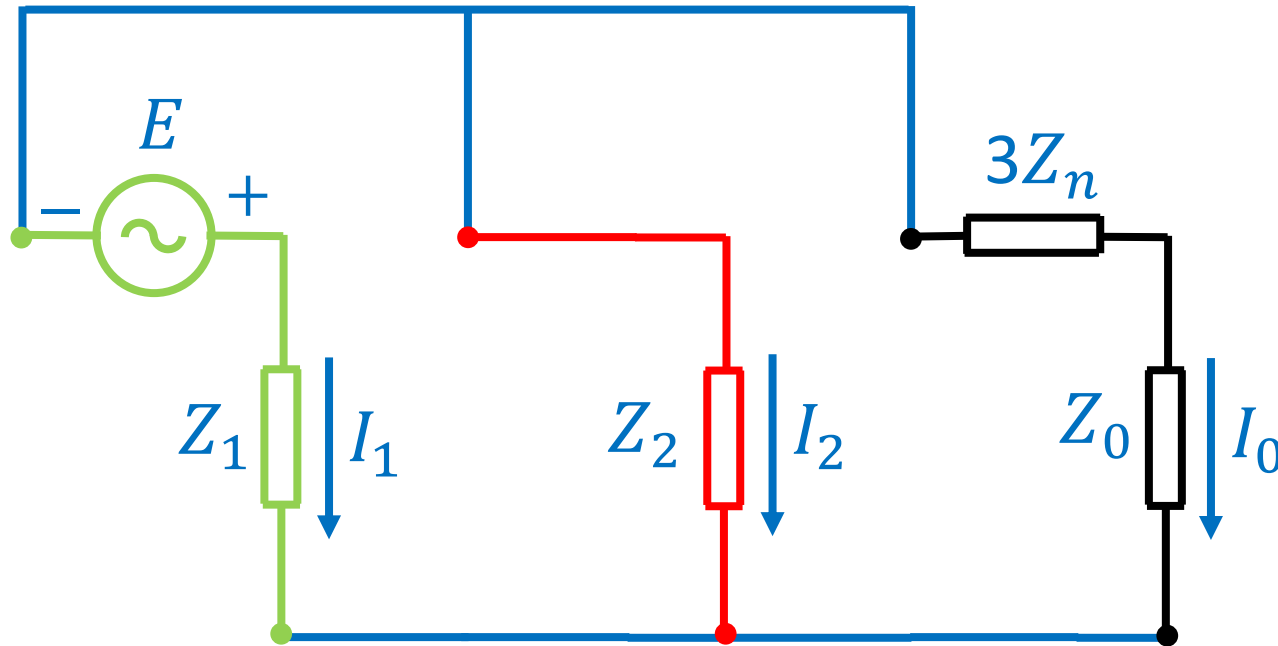
Corriente de falla

$$\bar{I}_b = -\bar{I}_c = (a^2 - a)\bar{I}_1$$

$$\bar{I}_b = \frac{-j\sqrt{3}\bar{E}}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2}$$



REDES DE SECUENCIA: FALLA BIFÁSICA A TIERRA



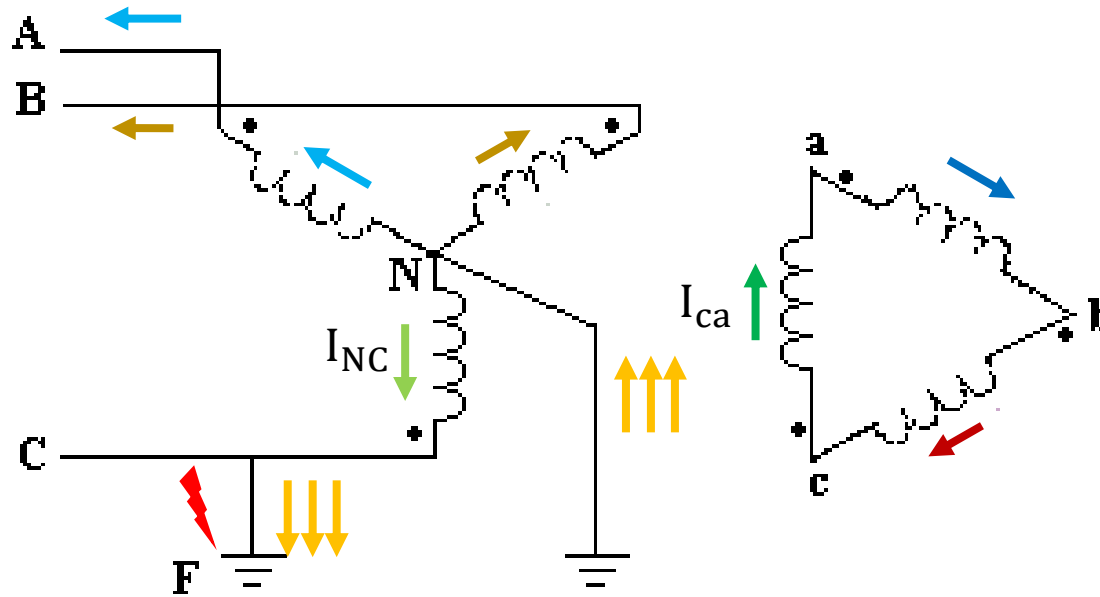
Corriente de falla

$$\frac{\bar{V}_a}{3} = \bar{V}_0 = \bar{V}_1 = \bar{V}_2$$

$$\bar{I}_1 = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 \parallel \bar{Z}_0}$$



DEVANADO Δ : FUENTE DE SECUENCIA 0



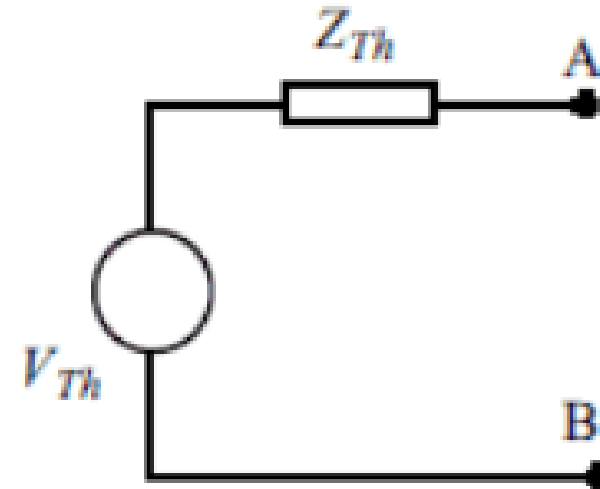
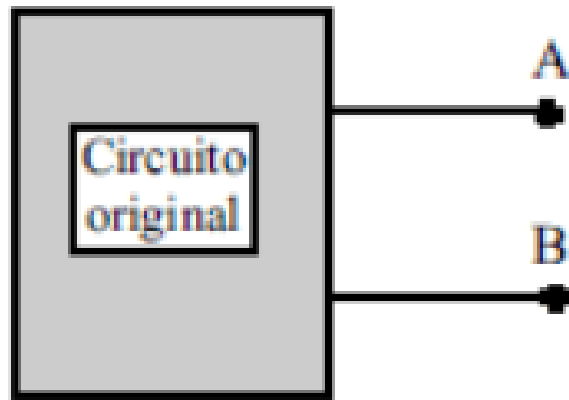
http://patricioconcha.ubb.cl/transformadores/trafo_trifasico.htm

- Se presenta una falla en C.
- La corriente retorna a través del neutro.
- Parte de esta corriente circula a través del primario del transformador I_{NC} .
- También hay una corriente I_{ca} en el secundario.
- Esta corriente circulará por los otros devanados.
- Por lo tanto en los primarios también circularán corrientes, de igual intensidad.



MÉTODO DE THEVENIN

- Consta de una fuente ideal de tensión, en serie con una impedancia Z_{th} .

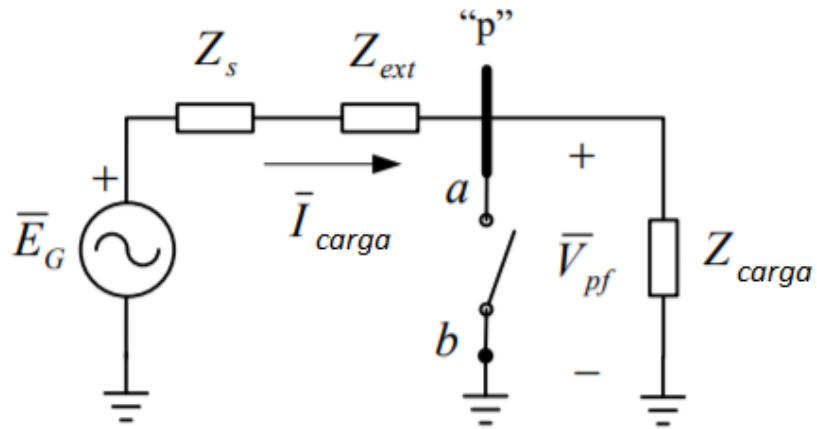


MÉTODO DE THEVENIN

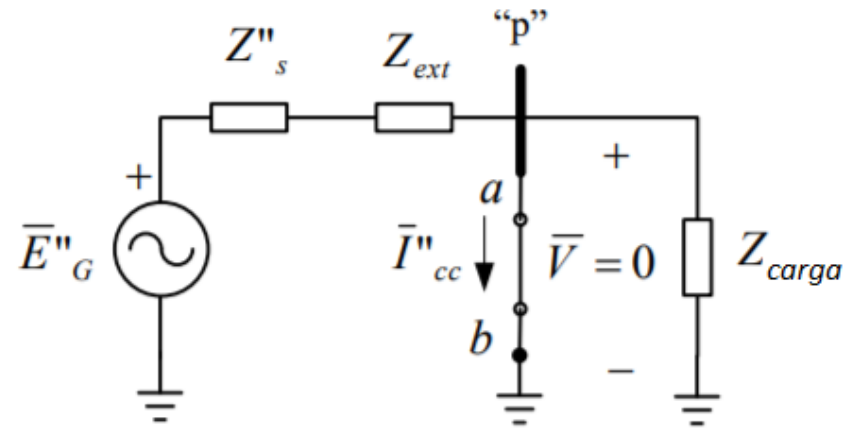
- Supongamos que existe un generador síncrono, el cual alimenta a una carga Z_{carga} , a través de impedancia externa, y se produce un cortocircuito en los terminales de la carga.



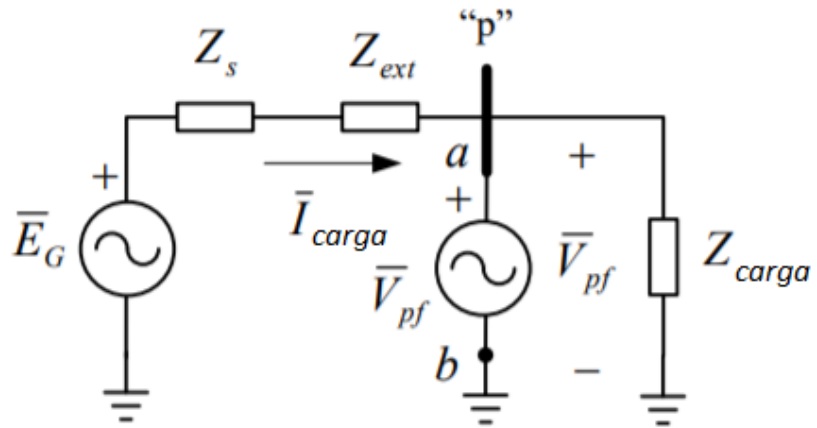
MÉTODO DE THEVENIN



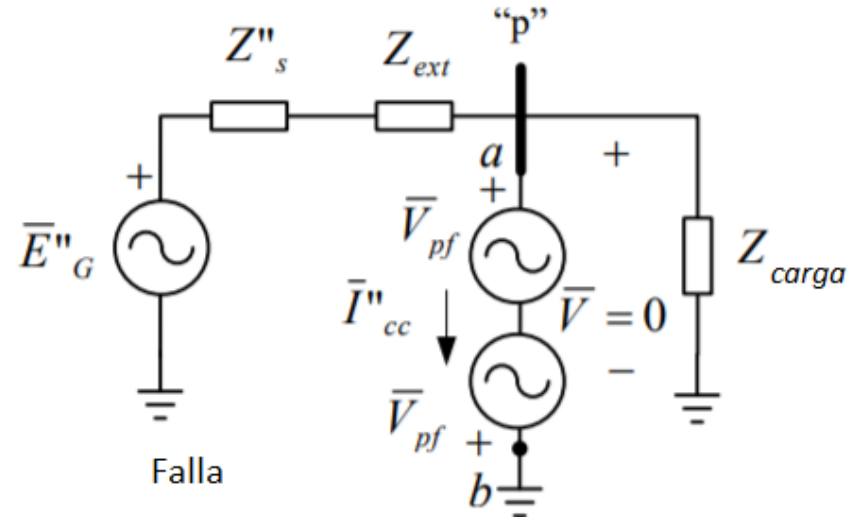
Pre-Falla



Falla



Pre-Falla



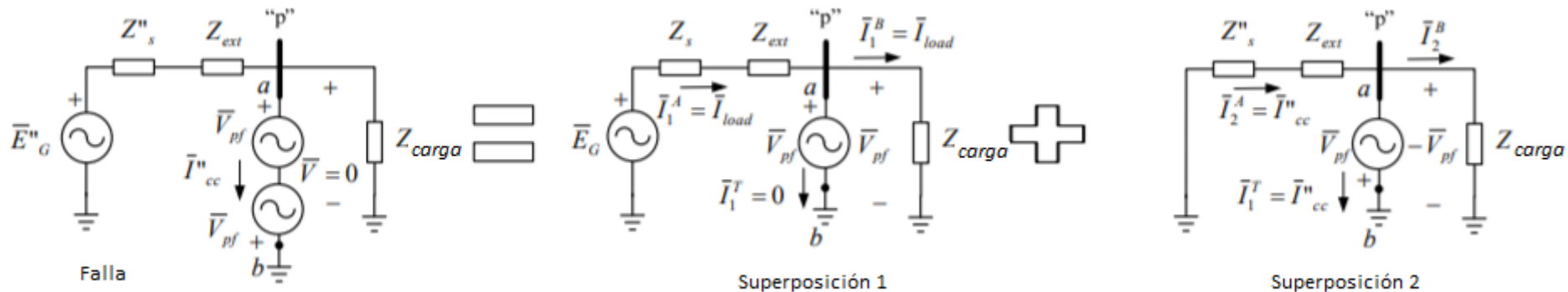
Falla



MÉTODO DE THEVENIN

Es equivalente a dos superposiciones.

1. Se deja operando la fuente V_{pf} y la tensión interna del generador E_G'' .
2. Se procede a cortocircuitar las fuentes E_G'' y V_{pf} , solo queda $-V_{pf}$.



$$\bar{I}_{CC}'' = \frac{\bar{V}_{pf}(Z_{carga} + Z_s'' + Z_{ext})}{Z_{carga}(Z_s'' + Z_{ext})} = \frac{E_G'' Z_{carga}}{Z_{carga}(Z_s'' + Z_{ext})}$$



CÁLCULO DE CORTOCIRCUITO EN DigSILENT

Short-Circuit Calculation - Study Cases\SPL\Corto_Plazo\2018\Av18maxC\Short-Circuit Calculation.ComShc ? X

Basic Options
Advanced Options
Verification

Method: IEC 60909
Published: 2001

Execute
Close
Cancel
Contents

Fault Type: VDE 0102
IEC 60909
ANSI
complete
IEC 61363
IEC 61660 (DC)
ANSI/IEEE 946 (DC)
DIN EN 61660 (DC)

Calculate

Max. Voltage Tol: %

Short-Circuit Duration: s

Break Time: 0.1 s
Used Break Time: global

Fault Clearing Time (lt): 1. s

Fault Impedance

☐ Enhanced Fault Impedance Definition

Resistance, Rf: 0. Ohm
Reactance, Xf: 0. Ohm

Fault Location

At: User Selection

User Selection: Area Centro 1\RESTITUCION 13.8A

☒ Show Output

Command: ..._Plazo\2018\Av18maxC\Output of Results
Shows: Fault Locations with Feeders



MÉTODOS DE CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO

Planning Conditions

Simplified Methods
(IEC, ANSI, ...)
Reduced set of data

Method 1:
Equivalent Voltage Source
at the fault location

Initial Short-Circuit Current
 $I_{sc}'' (Ik_{ss})$

κ μ m, n
 i_p I_b I_{th}

Operational Conditions

Complete Method
Comprehensive set of data

Method 2.1:
Superposition
Method

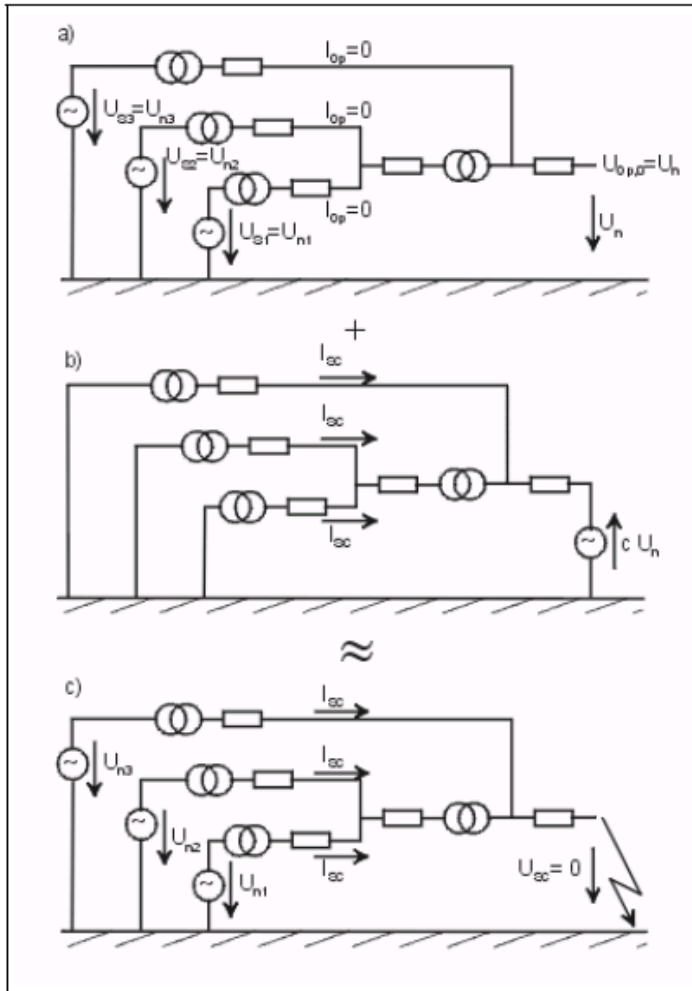
Method 2.2:
Solution of Diff.
Equation (EMT)

I_k'', U_k^i
 $i_k(t)$
 κ μ m, n
 i_p I_b i_b I_{th}

DigSILENT PowerFactory User Manual



MÉTODO IEC 60909 / VDE 0102

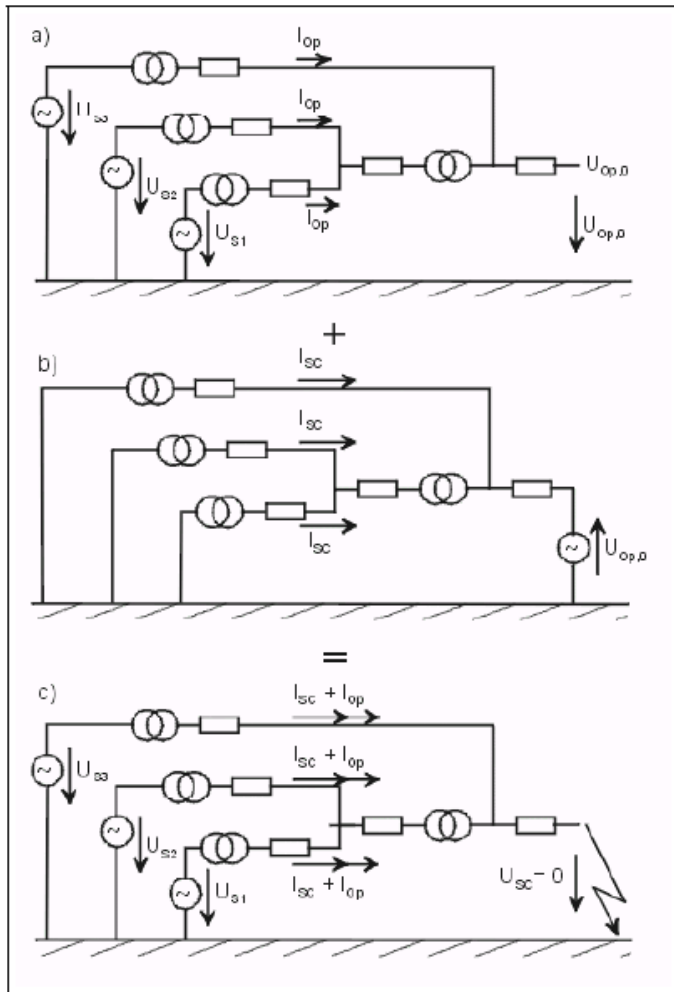


Método simplificado:

- ❑ Tensiones nominales de la red $U_i=U_n$.
- ❑ Se usa un factor de corrección c .
- ❑ No considera las cargas.
- ❑ Usado para planeamiento (diseño, dimensionamiento).



MÉTODO COMPLETO



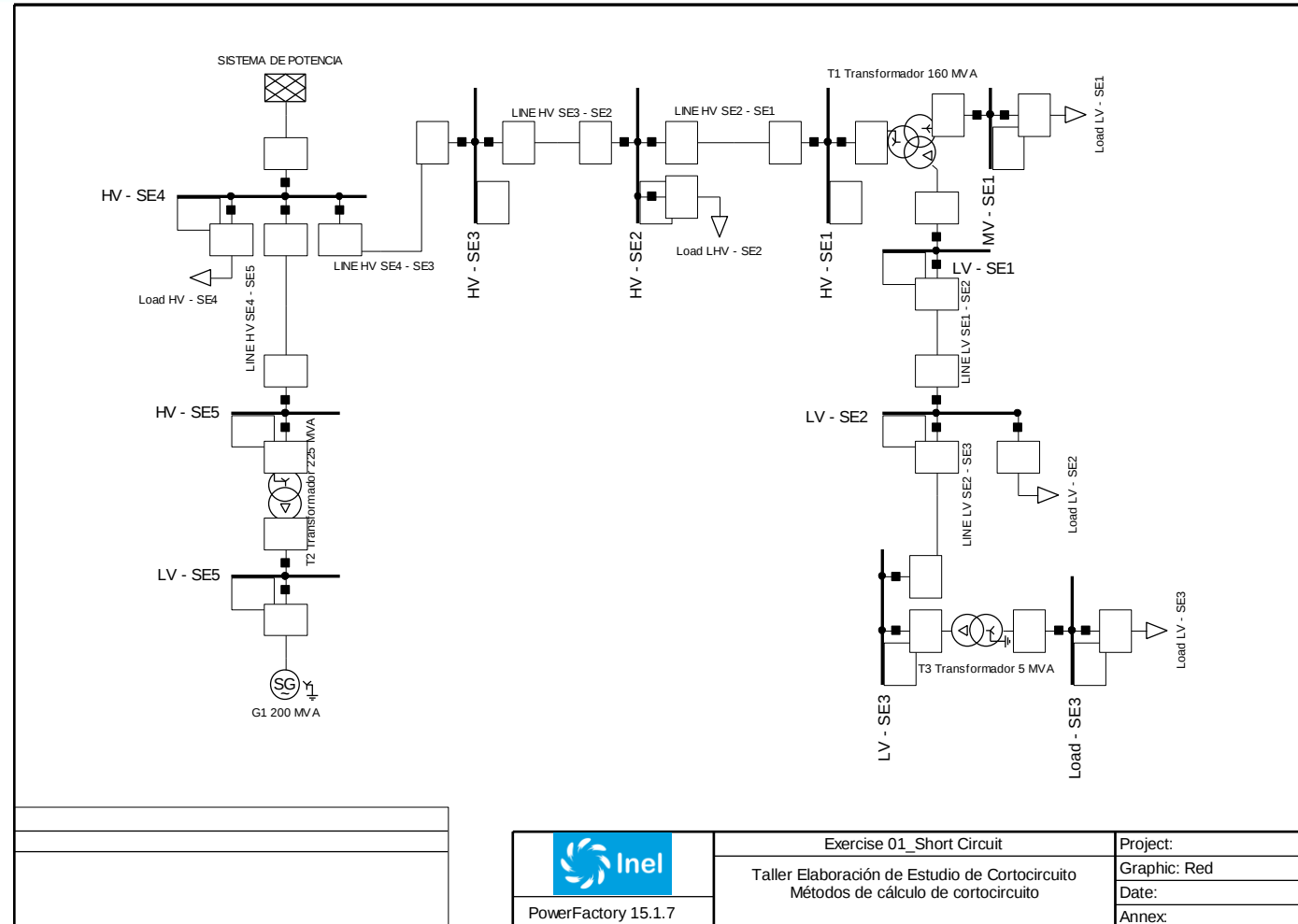
Método preciso:

- ❑ Tensiones de operación.
- ❑ Considera las cargas.
- ❑ Usado para coordinación de protecciones.

EJERCICIO POWERFACTORY

EN

DIGSILENT



 PowerFactory 15.1.7	Exercise 01_Short Circuit	Project:
	Taller Elaboración de Estudio de Cortocircuito	Graphic: Red
	Métodos de cálculo de cortocircuito	Date:
		Annex:

Elaboración de Estudio de Cortocircuito