



Unidad Temática 1: Operación Técnica de Sistemas Eléctricos de Potencia

2. Fallas en sistemas eléctricos de potencia

- 2.1 Introducción**
- 2.2 Mallas de secuencia**
- 2.3 Cortocircuitos**
- 2.4 Fases abiertas**
- 2.5 Protecciones**



Introducción (I)

Definición del Problema

El análisis de fallas en los sistemas eléctricos de potencia se enmarca en un problema más amplio denominado --> **Cálculo de condiciones anormales**

Perturbaciones

- sobrecargas moderadas
- cargas asimétricas
- oscilaciones pequeñas

No tienen efectos graves si se producen en períodos cortos.

Operaciones Anormales

- errores de operación
- errores en ajuste de protecciones

Pueden provocar interrupciones de servicio.

Fallas

- fases abiertas
- cortocircuitos: monofásico, bifásico, trifásico

Graves, necesidad de desconexión rápida:

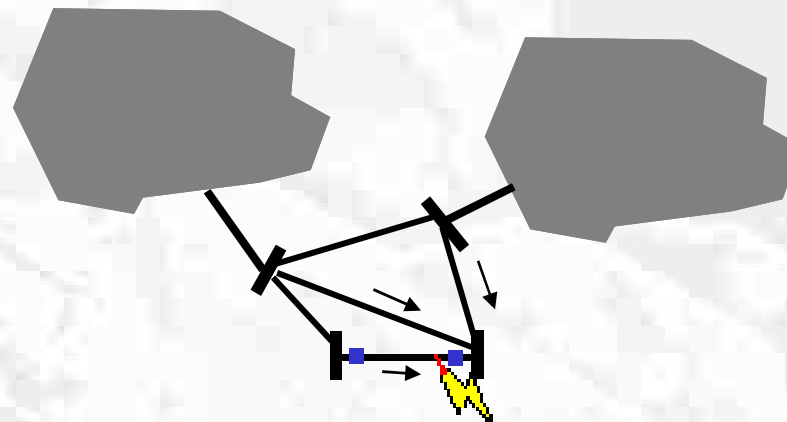
- Fases abiertas: originan calentamiento
- Cortocircuito: corrientes elevadas, esfuerzos mecánicos, telecomunicaciones.



Introducción (II)

Motivos para su estudio

- Dimensionamiento de interruptores
- Deconectores, fusibles
- Ajuste de relés de protección
- equipos en general



Causas de Cortocircuito

Porcentaje [%]	Razón/Motivo	Ejemplo
70 a 80	Atmosféricas	Rayos, tempestades, neblina, hielo, nieve, salinidad, etc.
7 a 15	Mecánicas	Roturas de conductores, aisladores, golpes, caídas,
8 a 10	Eléctricas	Aislantes envejecidos, errores humanos.



Introducción (III)

Cortocircuitos más frecuentes

- Monofásicos --> 70 a 80 %
- Bifásicos a tierra --> 10 %
- Trifásicos --> 8 a 10 %

Tipos de fallas

- Simétricas --> trifásicas
- Asimétricas --> monofásicas y bifásicas

Otras características

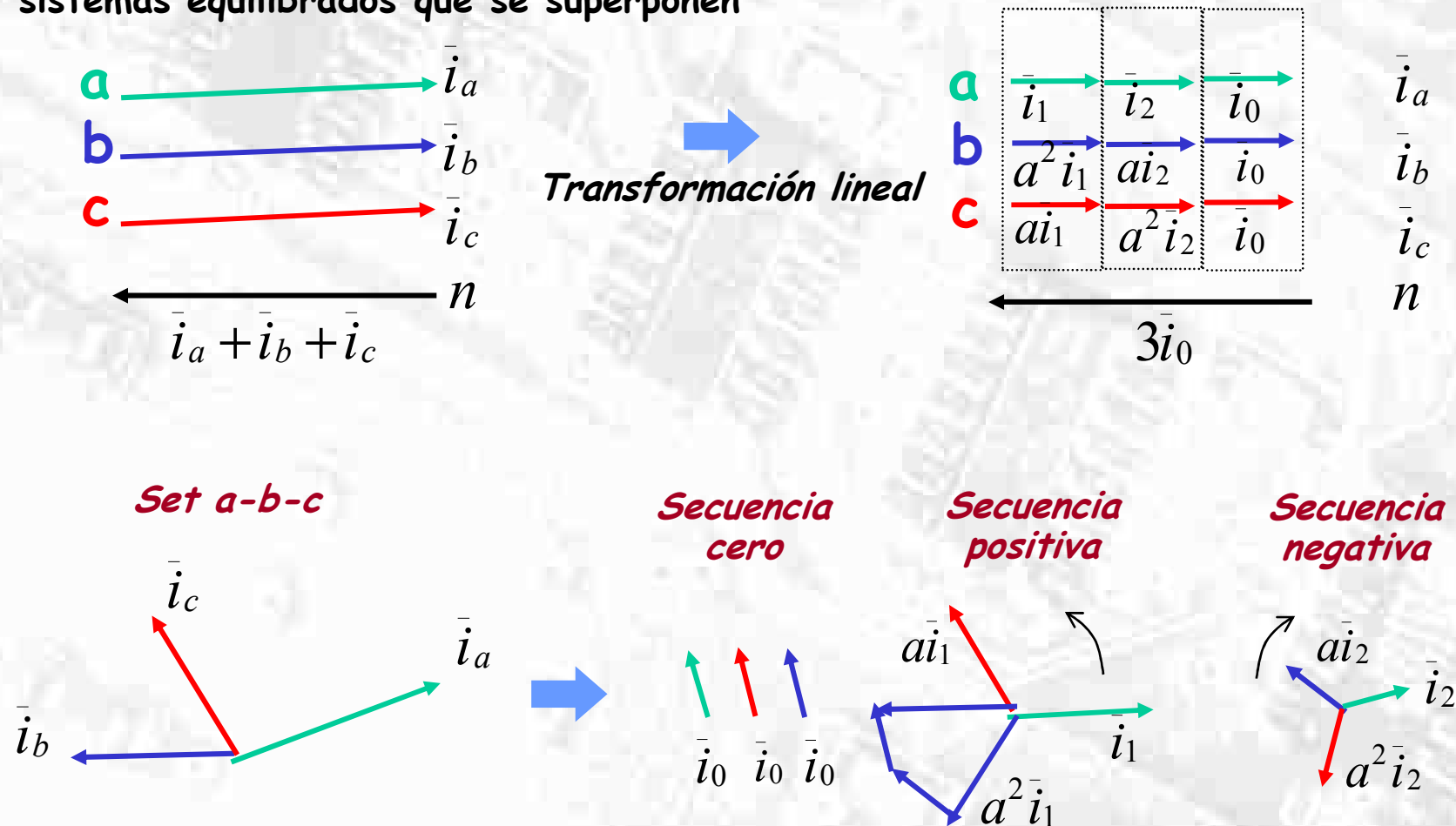
- Fallas fugaces --> 90 a 95 %
- Elevado costo de evitarlas --> compromiso inversión vs. seguridad de servicio



Introducción (IV)

Componentes Simétricas (Fortescue 1918)

Transformación lineal que permite expresar un sistema desequilibrado en tres sistemas equilibrados que se superponen





Introducción (V)

$$\begin{array}{c} \text{green arrow} \\ \text{blue arrow} \\ \text{red arrow} \end{array} \begin{bmatrix} \bar{i}_a \\ \bar{i}_b \\ \bar{i}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{i}_0 \\ \bar{i}_1 \\ \bar{i}_2 \end{bmatrix}$$

A

factor de giro

$$\bar{a} = e^{j120^\circ} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\bar{a}^2 = e^{j240^\circ} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\Rightarrow 1 + \bar{a} + \bar{a}^2 = 0$$

Ejemplo

Obtenga las componentes simétricas para las siguientes corrientes no balanceadas:

$$\bar{i}_a = 1.6 \angle 25^\circ$$

$$\bar{i}_b = 1.0 \angle 180^\circ$$

$$\bar{i}_c = 0.9 \angle 132^\circ$$



$$\bar{i}_0 = 0.4512 \angle 96.45^\circ$$

$$\bar{i}_1 = 0.9435 \angle -0.055^\circ$$

$$\bar{i}_2 = 0.6024 \angle 22.3157^\circ$$



Introducción (VI)

Transformación inversa

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \bar{i}_0 \\ \bar{i}_1 \\ \bar{i}_2 \end{bmatrix}}_{\mathbf{A}^{-1}} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{i}_a \\ \bar{i}_b \\ \bar{i}_c \end{bmatrix} \Rightarrow \mathbf{A}^{-1} = \frac{1}{3} \mathbf{A}^*$$

- *sistema levantado de tierra --> secuencia cero no puede existir*
- *expresiones análogas para voltajes*

$$\Rightarrow V^{012} = \mathbf{A}^{-1} V^{abc}$$

Cálculo de potencia

$$\begin{aligned} S_{(3\phi)} &= V^{abcT} I^{abc*} = (\mathbf{A} V^{012})^T (\mathbf{A} I^{012})^* = V^{012T} \mathbf{A}^T \mathbf{A}^* I^{012*} = 3(V^{012T} I^{012*}) \\ &= 3v_0 i_0^* + 3v_1 i_1^* + 3v_2 i_2^* \end{aligned}$$

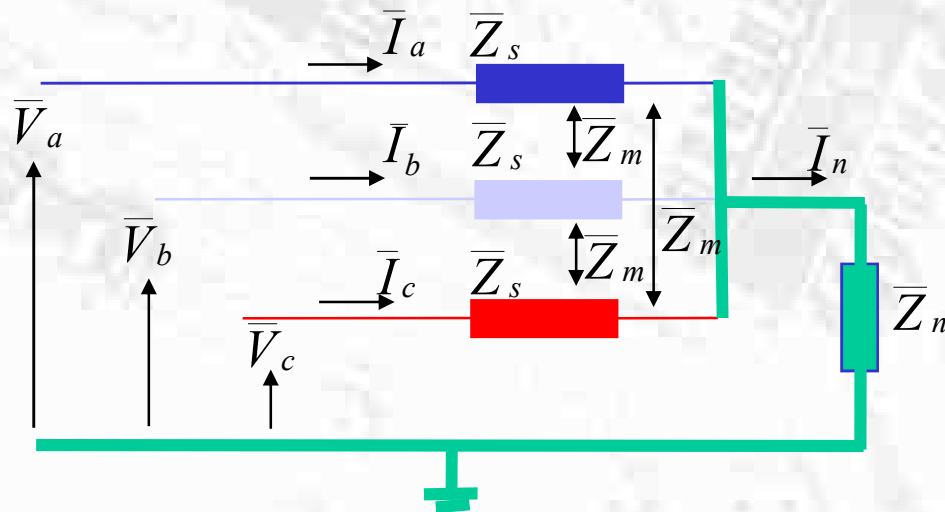


Mallas de Secuencia (I)

Impedancias de Secuencia

Corresponden a las impedancias de un equipo o componente a las corrientes de las distintas secuencias (Z^0 , Z^1 , Z^2).

Impedancias de Secuencia: Cargas conectadas en estrella



$$\bar{I}_n = \bar{I}_a + \bar{I}_b + \bar{I}_c$$

$$\bar{V}_a = \bar{Z}_s \bar{I}_a + \bar{Z}_m \bar{I}_b + \bar{Z}_m \bar{I}_c + \bar{Z}_n \bar{I}_n$$

$$\bar{V}_b = \bar{Z}_m \bar{I}_a + \bar{Z}_s \bar{I}_b + \bar{Z}_m \bar{I}_c + \bar{Z}_n \bar{I}_n$$

$$\bar{V}_c = \bar{Z}_m \bar{I}_a + \bar{Z}_m \bar{I}_b + \bar{Z}_s \bar{I}_c + \bar{Z}_n \bar{I}_n$$

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_a \\ \bar{V}_b \\ \bar{V}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Z}_s + \bar{Z}_n & \bar{Z}_m + \bar{Z}_n & \bar{Z}_m + \bar{Z}_n \\ \bar{Z}_m + \bar{Z}_n & \bar{Z}_s + \bar{Z}_n & \bar{Z}_m + \bar{Z}_n \\ \bar{Z}_m + \bar{Z}_n & \bar{Z}_m + \bar{Z}_n & \bar{Z}_s + \bar{Z}_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{i}_a \\ \bar{i}_b \\ \bar{i}_c \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{V}^{abc} = \mathbf{Z}^{abc} \mathbf{I}^{abc}$$

$$\mathbf{A} \mathbf{V}^{012} = \mathbf{Z}^{abc} \mathbf{A} \mathbf{I}^{012}$$



Mallas de Secuencia (II)

$$\mathbf{A}\mathbf{V}^{012} = \mathbf{Z}^{abc}\mathbf{A}\mathbf{I}^{012} \quad \rightarrow \quad \mathbf{V}^{012} = \mathbf{A}^{-1}\mathbf{Z}^{abc}\mathbf{A}\mathbf{I}^{012} \quad \rightarrow \quad \mathbf{Z}^{012} = \mathbf{A}^{-1}\mathbf{Z}^{abc}\mathbf{A}$$

$$= \mathbf{Z}^{012}\mathbf{I}^{012}$$

$$\mathbf{Z}^{012} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{Z}_s + \bar{Z}_n & \bar{Z}_m + \bar{Z}_n & \bar{Z}_m + \bar{Z}_n \\ \bar{Z}_m + \bar{Z}_n & \bar{Z}_s + \bar{Z}_n & \bar{Z}_m + \bar{Z}_n \\ \bar{Z}_m + \bar{Z}_n & \bar{Z}_m + \bar{Z}_n & \bar{Z}_s + \bar{Z}_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{Z}^{012} = \begin{bmatrix} \bar{Z}_s + 3\bar{Z}_n + 2\bar{Z}_m & 0 & 0 \\ 0 & \bar{Z}_s - \bar{Z}_m & 0 \\ 0 & 0 & \bar{Z}_s - \bar{Z}_m \end{bmatrix} \quad \xrightarrow{\mathbf{Z}_m=0} \quad \begin{bmatrix} \bar{Z}_s + 3\bar{Z}_n & 0 & 0 \\ 0 & \bar{Z}_s & 0 \\ 0 & 0 & \bar{Z}_s \end{bmatrix}$$

$\bar{Z}_0$ $\bar{Z}_1$ $\bar{Z}_2$

$$\bar{V}_0 = \bar{Z}_0 \bar{I}_0 \quad \bar{V}_1 = \bar{Z}_1 \bar{I}_1 \quad \bar{V}_2 = \bar{Z}_2 \bar{I}_2$$

- *Válido para equipos pasivos.*



Mallas de Secuencia (III)

Impedancias de Secuencia: Líneas de Transmisión

(+, -) secuencia positiva
y secuencia negativa

Por tratarse de un elemento estático, valores asociados a secuencias + y - son iguales. Se aplica todo lo visto hasta el momento.

(0) secuencia cero

Para determinar la impedancia serie de secuencia cero hay que considerar tanto el efecto del retorno por tierra, como también los conductores de guardia de las líneas, en caso que ello existan, ya que la corriente se reparte entre ambos caminos. Dificultad de modelar la conductividad de la tierra debido a heterogeneidad de la resistividad de la tierra.

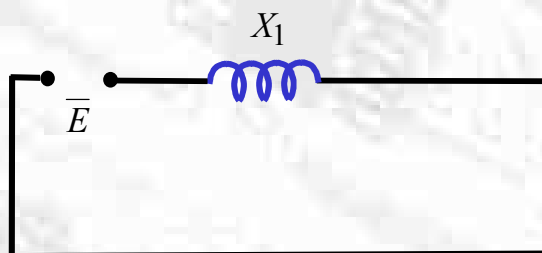
- Línea de simple circuito sin conductor de guardia
- Impedancia mutua de secuencia cero entre dos circuitos sin conductor de guardia
- Impedancia equivalente de secuencia cero de un doble circuito
- Impedancia equivalente de secuencia cero de dos líneas con tres terminales
- Línea de simple circuito con conductor de guardia



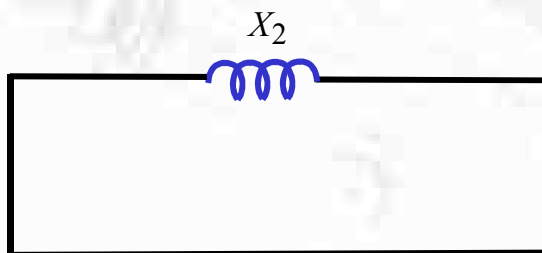
Mallas de Secuencia (IV)

Impedancias de Secuencia: Generador Sincrónico

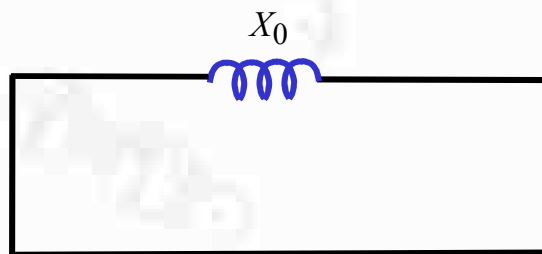
Equivalente monofásico del generador sincrónico, necesario para estudios de fallas con mallas de secuencia.



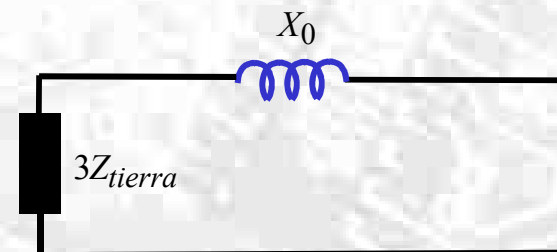
(+) X_1 =secuencia positiva ($X_d''=0.12$, 1 ciclo; $X_d'=0.2$, 3-4 ciclos; $X_d=1.1$, régimen permanente)



(-) secuencia negativa
($X_2=0.12$)



(0) secuencia cero
sólo si neutro está
conectado a tierra
($X_0=0.05$)





Secuencia Negativa

X_2 distinto de $X_1 \rightarrow$ campo eléctrico del estator rota en sentido contrario al campo mecánico del rotor.

Aplicar tensiones de sec. negativa de pequeña amplitud al estator con la máquina rotando a velocidad nominal en sentido positivo y con el campo cortocircuitado. $X_2 = V_a / I_a$.
Teóricamente $X_2 = (X_{d''} + X_{q''}) / 2$

Secuencia Cero

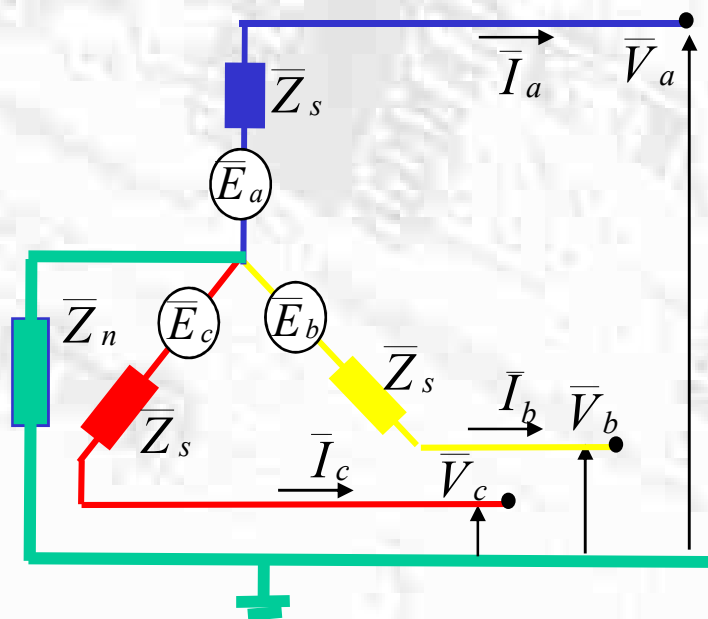
Tiene valor pequeño. Se aplica tensión sinusoidal V_a a las tres fases en paralelo, haciendo girar la máquina a velocidad nominal y con el campo cortocircuitado.



Mallas de Secuencia (V)

Mallas de Secuencia de un Generador Bajo Carga

Situación de generador con neutro a tierra a través de impedancia Z_n .



- Voltajes internos trifásicos balanceados con secuencia positiva de fasores

$$\mathbf{E}^{abc} = \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix} E_a$$

- Ley de voltajes de Kirchhoff

$$V_a = E_a - Z_s I_a - Z_n I_n$$

$$V_b = E_b - Z_s I_b - Z_n I_n$$

$$V_c = E_c - Z_s I_c - Z_n I_n$$

- Balance de corrientes

$$I_n = I_a + I_b + I_c$$

$$\begin{aligned} \rightarrow \begin{bmatrix} \bar{V}_a \\ \bar{V}_b \\ \bar{V}_c \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \bar{E}_a \\ \bar{E}_b \\ \bar{E}_c \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \bar{Z}_s + \bar{Z}_n & \bar{Z}_n & \bar{Z}_n \\ \bar{Z}_n & \bar{Z}_s + \bar{Z}_n & \bar{Z}_n \\ \bar{Z}_n & \bar{Z}_n & \bar{Z}_s + \bar{Z}_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{i}_a \\ \bar{i}_b \\ \bar{i}_c \end{bmatrix} \rightarrow \mathbf{V}^{abc} = \mathbf{E}^{abc} - \mathbf{Z}^{abc} \mathbf{I}^{abc} \\ \mathbf{A} \mathbf{V}^{012} &= \mathbf{A} \mathbf{E}^{012} - \mathbf{Z}^{abc} \mathbf{A} \mathbf{I}^{012} \end{aligned}$$



Mallas de Secuencia (VI)

$$\mathbf{A}\mathbf{V}^{012} = \mathbf{A}\mathbf{E}^{012} - \mathbf{Z}^{abc}\mathbf{A}\mathbf{I}^{012}$$

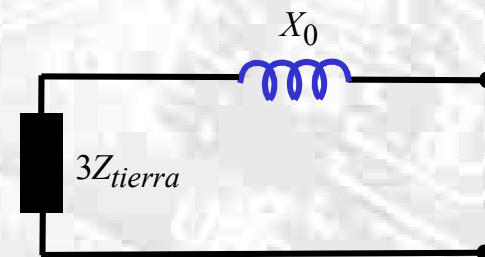
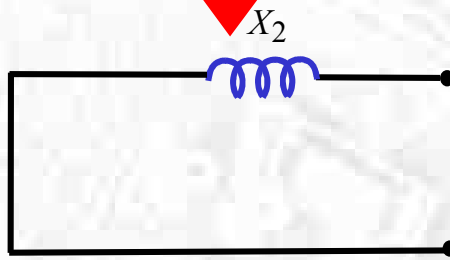
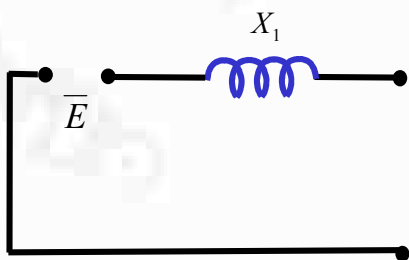
$$\begin{aligned} \mathbf{V}^{012} &= \mathbf{E}^{012} - \mathbf{A}^{-1}\mathbf{Z}^{abc}\mathbf{A}\mathbf{I}^{012} \\ &= \mathbf{E}^{012} - \mathbf{Z}^{012}\mathbf{I}^{012} \end{aligned}$$

$$\mathbf{Z}^{012} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{Z}_s + \bar{Z}_n & \bar{Z}_n & \bar{Z}_n \\ \bar{Z}_n & \bar{Z}_s + \bar{Z}_n & \bar{Z}_n \\ \bar{Z}_n & \bar{Z}_n & \bar{Z}_s + \bar{Z}_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{Z}^{012} = \begin{bmatrix} \bar{Z}_s + 3\bar{Z}_n & 0 & 0 \\ 0 & \bar{Z}_s & 0 \\ 0 & 0 & \bar{Z}_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Z}_0 & 0 & 0 \\ 0 & \bar{Z}_1 & 0 \\ 0 & 0 & \bar{Z}_2 \end{bmatrix}$$

- Dado que se consideran fem balanceadas

$$\mathbf{E}^{012} = \begin{bmatrix} 0 \\ E_a \\ 0 \end{bmatrix}$$



2. Fallas en Sistemas Eléctricos de Potencia



Mallas de Secuencia (VII)

Impedancias de Secuencia: Transformadores

(+) secuencia positiva

Depende de tipo de conexión (desfase +)

(-) secuencia negativa

Depende de tipo de conexión (desfase -)

(0) secuencia cero

La representación en secuencia cero depende de:

1. Tipo de núcleo:

- acorazado --> permite retorno de sec (0) por núcleo ferromagnético
- banco de transformadores 1ϕ --> permite retorno de sec 0 por núcleo ferromagnético
- núcleo --> flujo de secuencia cero retorna por el aire

2. Tipo de conexión:

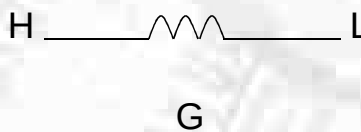
- Estrella, Delta, Puesta a tierra



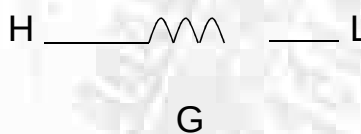
Secuencia Cero

Se cortocircuitan las tres fases del primario, aplicando una tensión sinusoidal V_o entre ellas y el neutro (tierra). Al cortocircuitar y poner a tierra los bornes del secundario, y medir la corriente I_o que circula se obtendrá: $Z_o = V_o/I_o$.

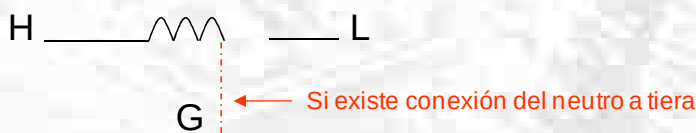
- Y-y con neutro



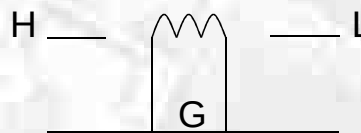
- Y-y sin neutro



- Y-d



- D-d





Cortocircuitos (I)

Simplificaciones en el cálculo de C-C

- fems en fase y con mismo valor.
La razón es la dificultad de poder determinar fems pre-falla.
- Se desprecia efecto de:
 - cargas (corriente de c-c $\gg$ corriente de carga)
 - susceptancias de líneas
 - admitancias de magnetización de transformadores
- Se desprecia las impedancias mutuas de sec + y sec - entre circuitos en paralelo



Simplificaciones adecuadas para cálculos manuales de fallas.

Estas simplificaciones no son válidas para estudios de fases abiertas $\rightarrow$ estudios de flujos de potencia



Metodología General

Datos de entrada al sistema:

- estado de operación estacionario
- información para especificar comportamiento transitorio
- especificación del tipo y punto de ocurrencia de la falla



Transformación a componentes de secuencia:

- variables V , I
- impedancias



Interconexión de mallas de secuencia en punto de falla:

- depende de tipo de falla
- impedancia de cortocircuito



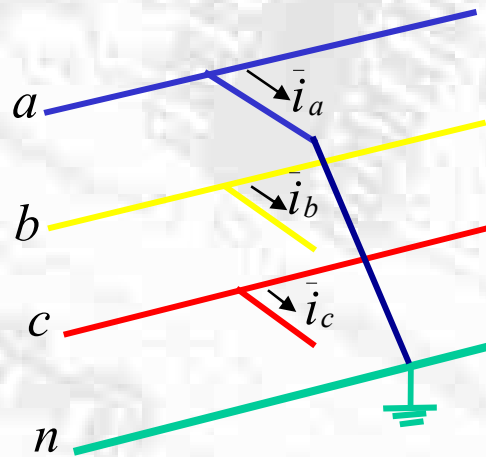
Cálculo de corrientes y potencias de falla:

- resolución de mallas de secuencia interconectadas
- cálculo de corrientes en puntos de falla
- contribuciones desde otros puntos,
- cálculo de variables eléctricas en a , b , c .



Cortocircuitos (III)

Cortocircuito Monofásico a Tierra



Descripción de tipo de
C-C

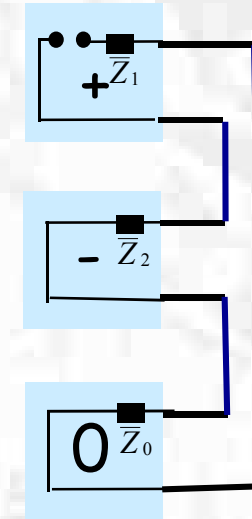
$$\begin{bmatrix} \bar{v}_a \\ \bar{v}_b \\ \bar{v}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \\ \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \bar{i}_a \\ \bar{i}_b \\ \bar{i}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Conocimiento de variables



$$\bar{v}_0 + \bar{v}_1 + \bar{v}_2 = 0$$

$$\bar{i}_0 = \bar{i}_2 = \bar{i}_1 = \frac{1}{3} \bar{i}_a$$



Conexión
Serie

Interconexión de
mallas de secuencia

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

$$\begin{bmatrix} \bar{v}_0 \\ \bar{v}_1 \\ \bar{v}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{v}_a \\ \bar{v}_b \\ \bar{v}_c \end{bmatrix}$$

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

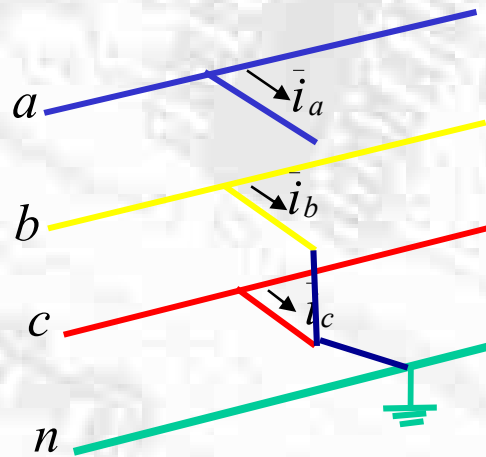
$$\begin{bmatrix} \bar{i}_0 \\ \bar{i}_1 \\ \bar{i}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{i}_a \\ \bar{i}_b \\ \bar{i}_c \end{bmatrix}$$

2. Fallas en Sistemas Eléctricos de Potencia



Cortocircuitos (IV)

Cortocircuito Bifásico a Tierra



Descripción de tipo de C-C

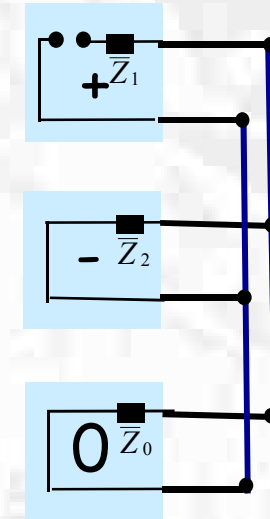
$$\begin{bmatrix} \bar{v}_a \\ \bar{v}_b \\ \bar{v}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \bar{i}_a \\ \bar{i}_b \\ \bar{i}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Conocimiento de variables



$$\bar{i}_0 + \bar{i}_1 + \bar{i}_2 = 0$$

$$\bar{v}_0 = \bar{v}_2 = \bar{v}_1 = \frac{1}{3} \bar{v}_a$$



Interconexión de mallas de secuencia

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

$$\begin{bmatrix} \bar{v}_0 \\ \bar{v}_1 \\ \bar{v}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{v}_a \\ \bar{v}_b \\ \bar{v}_c \end{bmatrix}$$

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

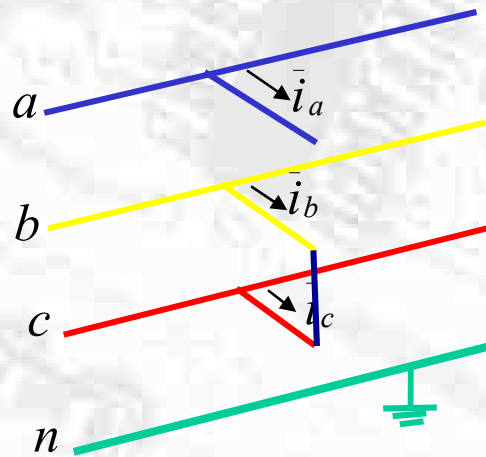
$$\begin{bmatrix} \bar{i}_0 \\ \bar{i}_1 \\ \bar{i}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{i}_a \\ \bar{i}_b \\ \bar{i}_c \end{bmatrix}$$

2. Fallas en Sistemas Eléctricos de Potencia



Cortocircuitos (V)

Cortocircuito Bifásico



Descripción de tipo de C-C

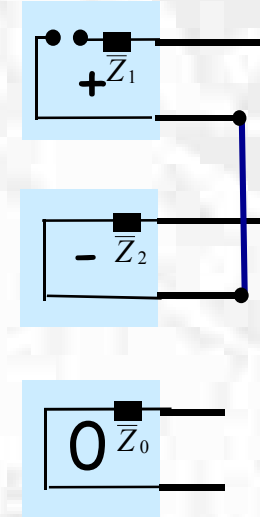
$$\begin{bmatrix} \bar{v}_a \\ \bar{v}_b \\ \bar{v}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{v}_c \\ \bar{v}_b \\ \bar{v}_c \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \bar{i}_a \\ \bar{i}_b \\ \bar{i}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -\bar{i}_c \\ -\bar{i}_b \end{bmatrix}$$

Conocimiento de variables



$$\bar{i}_0 + \bar{i}_1 + \bar{i}_2 = 0 \quad \bar{i}_0 = 0$$

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



Interconexión de mallas de secuencia

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

$$\begin{bmatrix} \bar{v}_0 \\ \bar{v}_1 \\ \bar{v}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{v}_a \\ \bar{v}_b \\ \bar{v}_c \end{bmatrix}$$

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

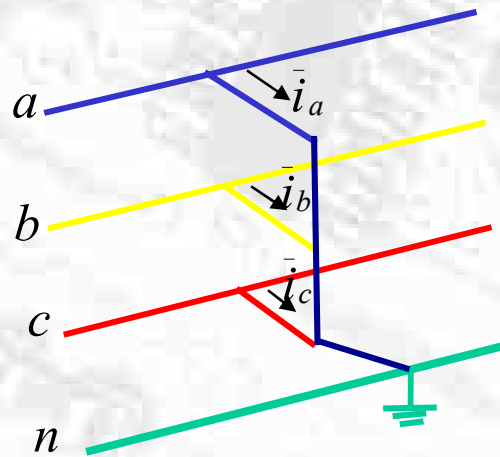
$$\begin{bmatrix} \bar{i}_0 \\ \bar{i}_1 \\ \bar{i}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{i}_a \\ \bar{i}_b \\ \bar{i}_c \end{bmatrix}$$

2. Fallas en Sistemas Eléctricos de Potencia



Cortocircuitos (VI)

Cortocircuito Trifásico



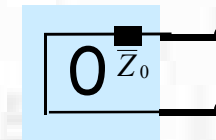
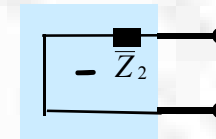
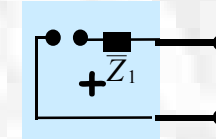
Descripción de tipo de C-C

$$\begin{bmatrix} \bar{v}_a \\ \bar{v}_b \\ \bar{v}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \bar{i}_a \\ \bar{i}_b \\ \bar{i}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \\ \\ \end{bmatrix}$$

Conocimiento de variables



$$\begin{aligned} \bar{v}_0 &= 0 \\ \bar{v}_1 &= 0 \\ \bar{v}_2 &= 0 \end{aligned}$$



Interconexión de mallas de secuencia

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

$$\begin{bmatrix} \bar{v}_0 \\ \bar{v}_1 \\ \bar{v}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{v}_a \\ \bar{v}_b \\ \bar{v}_c \end{bmatrix}$$

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

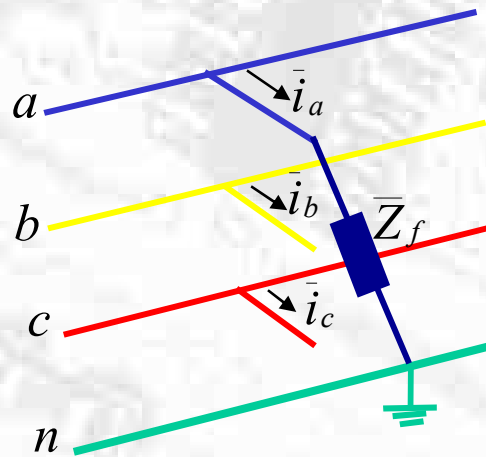
$$\begin{bmatrix} \bar{i}_0 \\ \bar{i}_1 \\ \bar{i}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{i}_a \\ \bar{i}_b \\ \bar{i}_c \end{bmatrix}$$

2. Fallas en Sistemas Eléctricos de Potencia



Cortocircuitos (VII)

Cortocircuito Monofásico a tierra con impedancia Z_f



Descripción de tipo de C-C

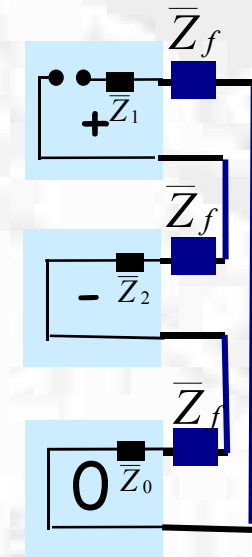
$$\begin{bmatrix} \bar{v}_a \\ \bar{v}_b \\ \bar{v}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Z}_f \bar{i}_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \bar{i}_a \\ \bar{i}_b \\ \bar{i}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Conocimiento de variables



$$\bar{v}_0 + \bar{v}_1 + \bar{v}_2 = \bar{Z}_f \bar{i}_a$$

$$\bar{i}_0 = \bar{i}_2 = \bar{i}_1 = \frac{1}{3} \bar{i}_a$$



Conexión Serie

Interconexión de mallas de secuencia

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

$$\begin{bmatrix} \bar{v}_0 \\ \bar{v}_1 \\ \bar{v}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{v}_a \\ \bar{v}_b \\ \bar{v}_c \end{bmatrix}$$

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

$$\begin{bmatrix} \bar{i}_0 \\ \bar{i}_1 \\ \bar{i}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{i}_a \\ \bar{i}_b \\ \bar{i}_c \end{bmatrix}$$

2. Fallas en Sistemas Eléctricos de Potencia



Cortocircuitos (VIII)

Datos para estudio de cortocircuito

En un sistema interconectado, al conectar una nueva carga, se entregan niveles de cortocircuito a través de los valores de C-C trifásico y Monofásico.

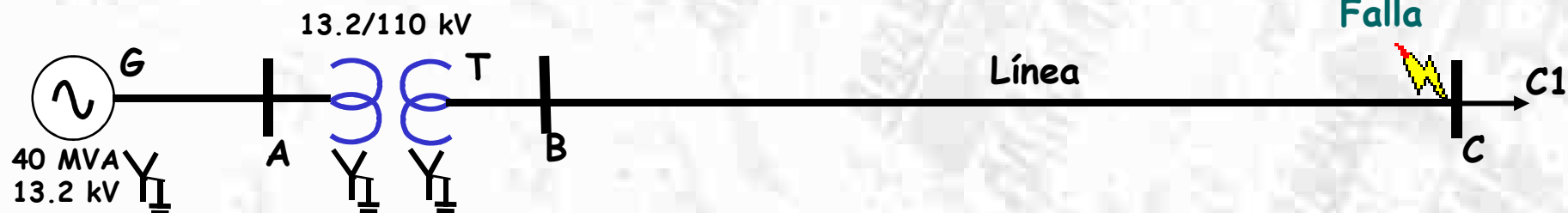
Falla Trifásica a Tierra

$$I_{falla} = \frac{E}{x_1}$$

Falla Monofásica a Tierra

$$I_{falla} = \frac{3E}{x_1 + x_2 + x_0}$$

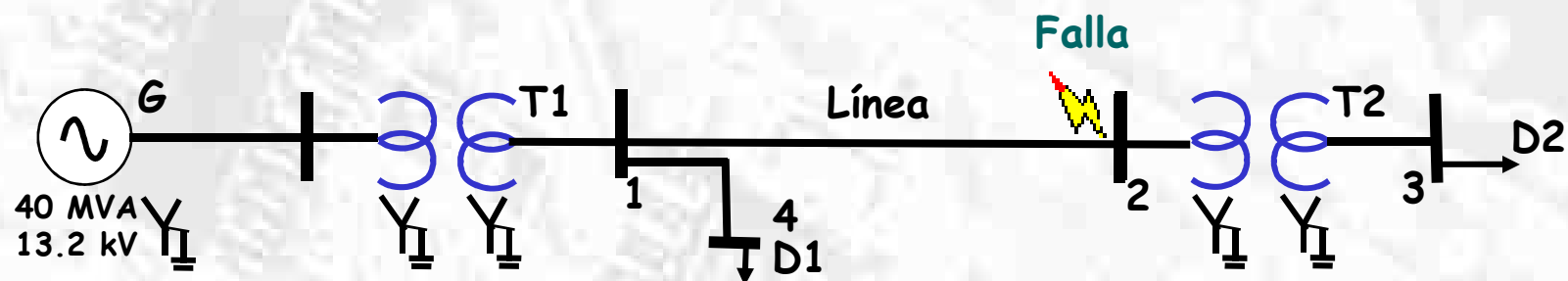
Ejemplo (base 40 MVA):





Cortocircuitos (IX)

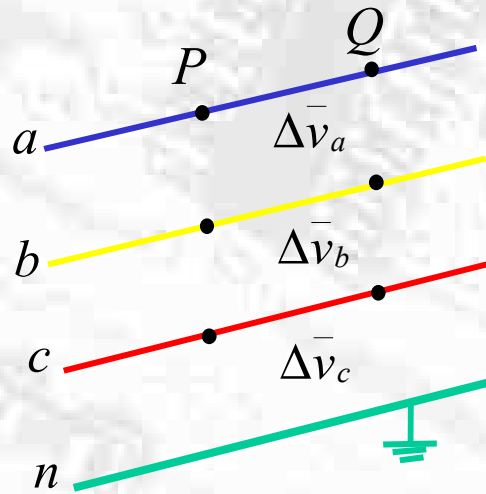
Ejemplo 2:





Fases Abiertas (I)

Planteamiento General en Mallas de Secuencia



Descripción

$$\begin{bmatrix} \Delta \bar{v}_a \\ \Delta \bar{v}_b \\ \Delta \bar{v}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{i}_a \\ \bar{i}_b \\ \bar{i}_c \end{bmatrix}$$

Conocimiento de variables

No es válido supuesto de despreciar corrientes de carga frente a corrientes de falla.

$$\begin{bmatrix} \cdot & p \\ n & + \\ & q \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \cdot & p \\ n & - \\ & q \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \cdot & p \\ n & 0 \\ & q \end{bmatrix}$$

Interconexión de mallas de secuencia

$$\begin{bmatrix} \Delta \bar{v}_a \\ \Delta \bar{v}_b \\ \Delta \bar{v}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \bar{v}_0 \\ \Delta \bar{v}_1 \\ \Delta \bar{v}_2 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \Delta \bar{v}_0 \\ \Delta \bar{v}_1 \\ \Delta \bar{v}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \bar{v}_a \\ \Delta \bar{v}_b \\ \Delta \bar{v}_c \end{bmatrix}$$

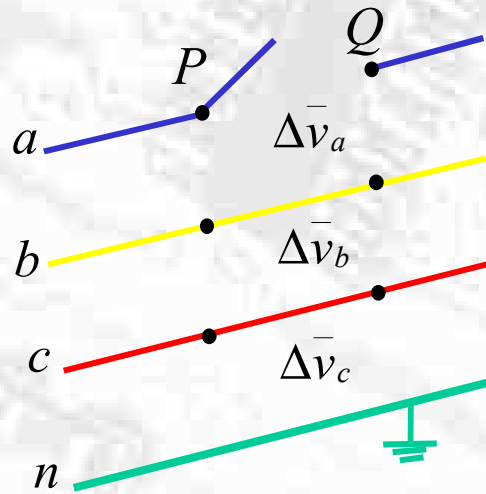
$$\begin{bmatrix} \bar{i}_a \\ \bar{i}_b \\ \bar{i}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{i}_0 \\ \bar{i}_1 \\ \bar{i}_2 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \bar{i}_0 \\ \bar{i}_1 \\ \bar{i}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{i}_a \\ \bar{i}_b \\ \bar{i}_c \end{bmatrix}$$

2. Fallas en Sistemas Eléctricos de Potencia



Fases Abiertas (II)

Una Fase Abierta



Descripción

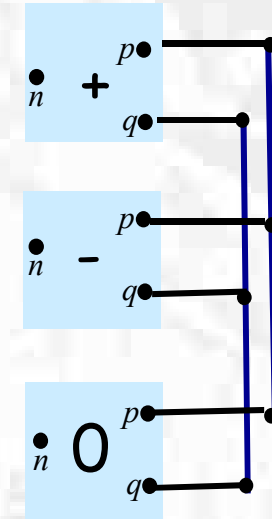
$$\begin{bmatrix} \Delta \bar{v}_a \\ \Delta \bar{v}_b \\ \Delta \bar{v}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \bar{i}_a \\ \bar{i}_b \\ \bar{i}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Conocimiento de variables



$$\bar{i}_0 + \bar{i}_1 + \bar{i}_2 = 0$$

$$\Delta \bar{v}_0 = \Delta \bar{v}_2 = \Delta \bar{v}_1$$



Conexión
paralelo

Interconexión de
mallas de secuencia

$$\begin{bmatrix} \Delta \bar{v}_a \\ \Delta \bar{v}_b \\ \Delta \bar{v}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \bar{v}_0 \\ \Delta \bar{v}_1 \\ \Delta \bar{v}_2 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \Delta \bar{v}_0 \\ \Delta \bar{v}_1 \\ \Delta \bar{v}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \bar{v}_a \\ \Delta \bar{v}_b \\ \Delta \bar{v}_c \end{bmatrix}$$

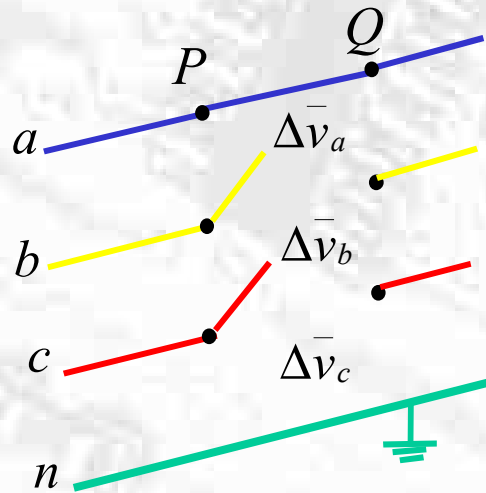
$$\begin{bmatrix} \bar{i}_a \\ \bar{i}_b \\ \bar{i}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{i}_0 \\ \bar{i}_1 \\ \bar{i}_2 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \bar{i}_0 \\ \bar{i}_1 \\ \bar{i}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{i}_a \\ \bar{i}_b \\ \bar{i}_c \end{bmatrix}$$

2. Fallas en Sistemas Eléctricos de Potencia



Fases Abiertas (III)

Dos Fases Abiertas



Descripción

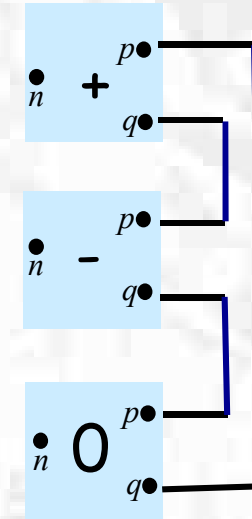
$$\begin{bmatrix} \Delta \bar{v}_a \\ \Delta \bar{v}_b \\ \Delta \bar{v}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \bar{i}_a \\ \bar{i}_b \\ \bar{i}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Conocimiento de variables



$$\Delta \bar{v}_a + \Delta \bar{v}_b + \Delta \bar{v}_c = 0$$

$$\bar{i}_0 = \bar{i}_2 = -\bar{i}_1$$



Conexión Serie

Interconexión de mallas de secuencia

$$\begin{bmatrix} \Delta \bar{v}_a \\ \Delta \bar{v}_b \\ \Delta \bar{v}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \bar{v}_0 \\ \Delta \bar{v}_1 \\ \Delta \bar{v}_2 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \Delta \bar{v}_0 \\ \Delta \bar{v}_1 \\ \Delta \bar{v}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \bar{v}_a \\ \Delta \bar{v}_b \\ \Delta \bar{v}_c \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \bar{i}_a \\ \bar{i}_b \\ \bar{i}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{i}_0 \\ \bar{i}_1 \\ \bar{i}_2 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \bar{i}_0 \\ \bar{i}_1 \\ \bar{i}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{i}_a \\ \bar{i}_b \\ \bar{i}_c \end{bmatrix}$$

2. Fallas en Sistemas Eléctricos de Potencia