



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

INGENIERÍA ELÉCTRICA

PROTECCIONES ELÉCTRICAS



DOCENTE: ING. XAVIER ALFONSO PROAÑO MALDONADO Mg. C.

“Por la vinculación de la Universidad con el Pueblo”



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

PROTECCIONES ELÉCTRICAS



Ingeniería
Eléctrica

PRIMER PRODUCTO

Componentes de secuencia

Representación de los elementos en un SEP mediante componentes de secuencia

Fallas trifásicas y monofásicas

Fallas bifásica y bifásica a tierra

Falla de doble línea a tierra

Transformador de Corriente

Transformador de Potencial



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

PROTECCIONES ELÉCTRICAS



Ingeniería
Eléctrica

SEGUNDO PRODUCTO

Relé Buchholtz y Protección diferencial

Protección diferencial aplicada a transformadores

Relevador de distancia y zonas de protección

Calibración de la protección diferencial cuadrilateral

Esquema de teleprotecciones



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

PROTECCIONES ELÉCTRICAS



Ingeniería
Eléctrica

TERCER PRODUCTO

Funcionamiento y calibración del relevador de sobrecorriente y su clasificación

Tipos de fallas en generadores, protección diferencial en generadores

Tipos de sistemas de puesta a tierra en generadores

Protección contra, fallas a tierra

Protección contra Pérdida de excitación del generador



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

PROTECCIONES ELÉCTRICAS



Ingeniería
Eléctrica

CUARTO PRODUCTO

Fusibles en redes de distribución y sus características

Características y operación de Fusible de expulsión

Tipos de fusibles limitadores de corriente

Corrientes de Inrush

Coordinación entre fusibles

Reconectores y seccionadores

Coordinación entre reconector-fusible, fusible-reconector



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

Componentes de secuencia



Ingeniería
Eléctrica

El método fue desarrollado por Fortescue y permite tratar con circuitos polifásicos desbalanceados.

El trabajo de Fortescue prueba que un sistema desbalanceado de n fasores relacionados, se puede resolver con n sistemas de fasores balanceados llamados componentes simétricas de los fasores originales. En un sistema trifásico que está normalmente balanceado, las condiciones desbalanceadas de una falla ocasionan, por lo general, que haya corrientes y voltajes desbalanceados en cada una de las tres fases. Los elementos de interés del sistema son las máquinas, transformadores, líneas de transmisión y cargas conectadas a configuraciones Δ o Y .



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

Síntesis de fasores asimétricos a partir de sus componentes simétricas



Ingeniería
Eléctrica

De acuerdo con el teorema de Fortescue, tres fasores desbalanceados de un sistema trifásico se pueden descomponer en tres sistemas balanceados de fasores.

1. Componentes de secuencia positiva que consisten en tres fasores de igual magnitud desplazados uno de otro por una fase de 120° y que tienen la misma secuencia de fase que los fasores originales,
2. Componentes de secuencia negativa que consisten en tres fasores iguales en magnitud, desplazados en fase uno de otro en 120° , y que tienen una secuencia de fases opuesta a la de los fasores originales y
3. Componentes de secuencia cero que consisten en tres fasores iguales en magnitud y con un desplazamiento de fase cero uno de otro.



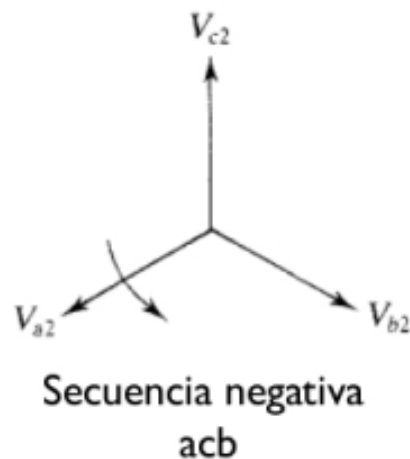
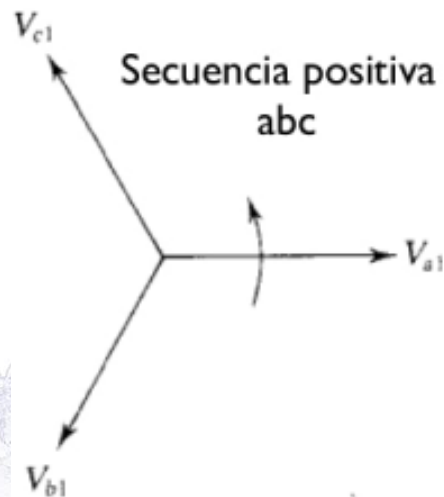
Universidad
Técnica de
Cotopaxi

Síntesis de fasores asimétricos a partir de sus componentes simétricas

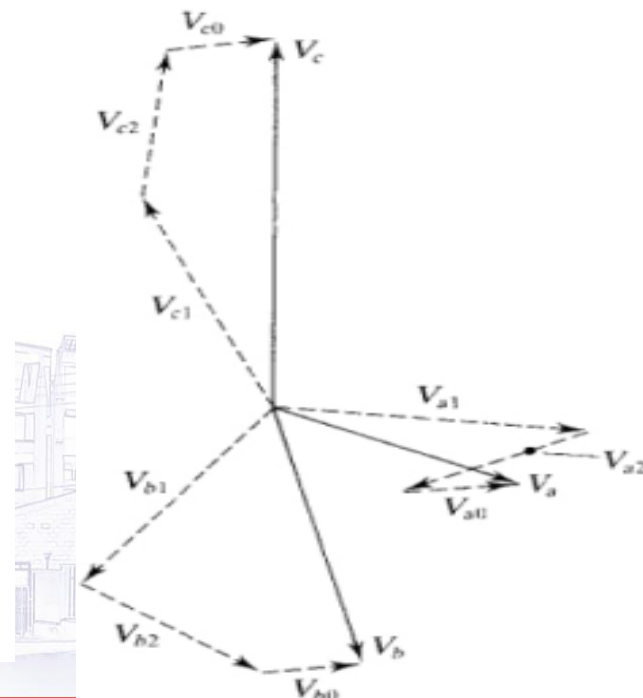
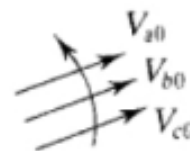


Ingeniería
Eléctrica

Como cada uno de los fasores desbalanceados originales es la suma de sus componentes, los fasores originales expresados en términos de sus componentes son:



Secuencia cero





Universidad
Técnica de
Cotopaxi

Síntesis de fasores asimétricos a partir de sus componentes simétricas



Ingeniería
Eléctrica

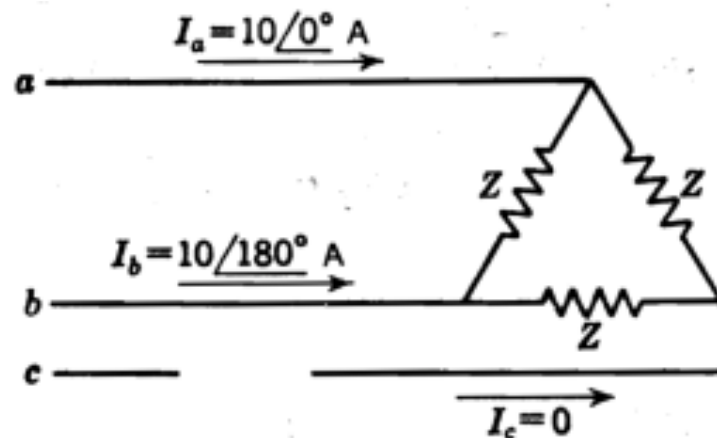
Expresiones que permiten trasladar un sistema al sistema de secuencia de fases

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a^{(0)} \\ V_a^{(1)} \\ V_a^{(2)} \end{bmatrix} = \mathbf{A} \begin{bmatrix} V_a^{(0)} \\ V_a^{(1)} \\ V_a^{(2)} \end{bmatrix} \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_a^{(0)} \\ V_a^{(1)} \\ V_a^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \mathbf{A}^{-1} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad \mathbf{A}^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}$$

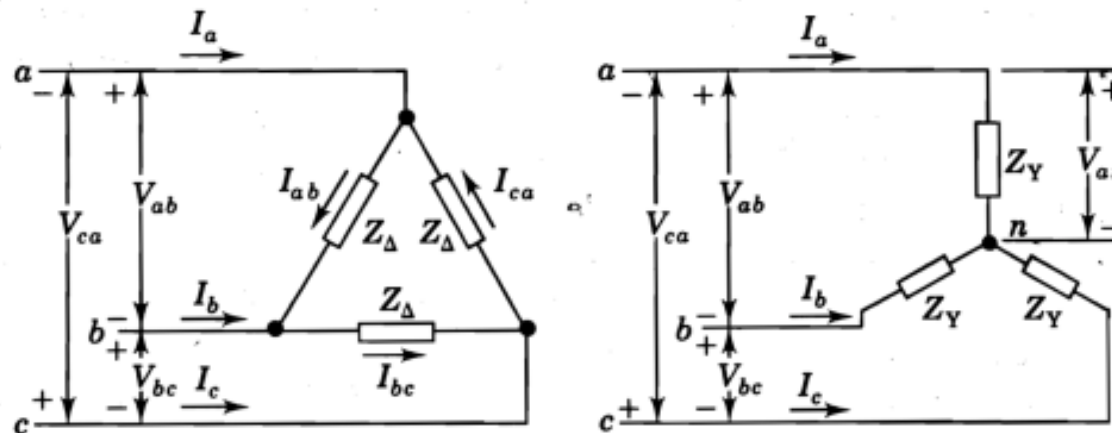
Síntesis de fasores asimétricos a partir de sus componentes simétricas

Ejemplo. Un conductor de una línea trifásica está abierto. La corriente a la carga conectada en Δ a través de la línea “a” es de 10 A. Con la corriente en la línea “a” como referencia y suponiendo que la “c” está abierta, encuentre las componentes simétricas de las corrientes de línea.



Circuitos Simétricos Y- Δ

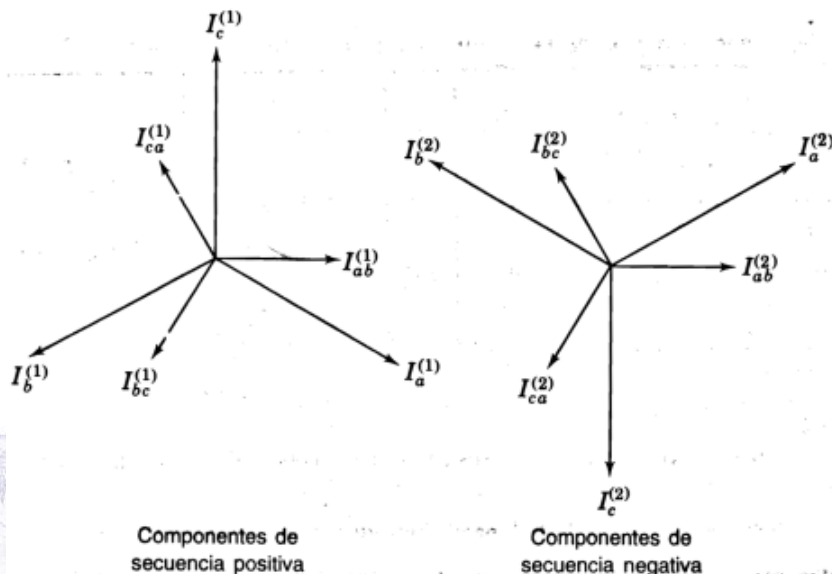
En sistemas trifásicos, los elementos del circuito se conectan entre las líneas a, b y c en la configuración Y o Δ . Las relaciones entre las componentes simétricas de las corrientes y voltajes Y y Δ se pueden establecer mediante la siguiente figura, que muestra las impedancias simétricas conectadas en Y y Δ . Se considerará que la referencia de fase para las cantidades en Δ es la rama a-b.



Circuitos Simétricos Y-Δ

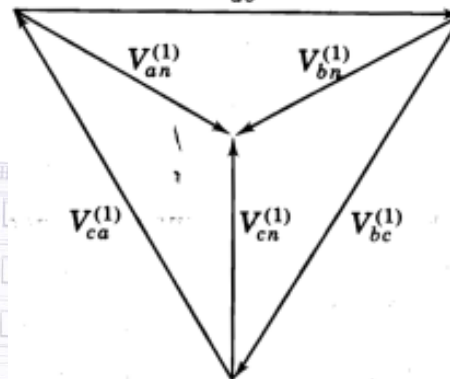
Los conjuntos completos de componentes de voltaje de secuencia positiva y negativa se muestran en los diagramas fasoriales de la figura

$$I_a^{(1)} = \sqrt{3} \angle -30^\circ \times I_{ab}^{(1)} \quad I_a^{(2)} = \sqrt{3} \angle 30^\circ \times I_{ab}^{(2)}$$

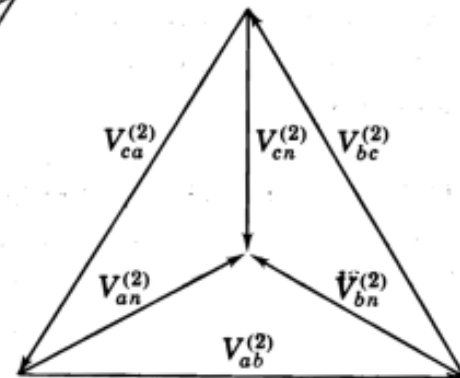


$$V_{ab}^{(1)} = (1 - a^2) V_{an}^{(1)} = \sqrt{3} \angle 30^\circ \times V_{an}^{(1)}$$

$$V_{ab}^{(2)} = (1 - a) V_{an}^{(2)} = \sqrt{3} \angle -30^\circ \times V_{an}^{(2)}$$



Componentes de
secuencia positiva



Componentes de
secuencia negativa

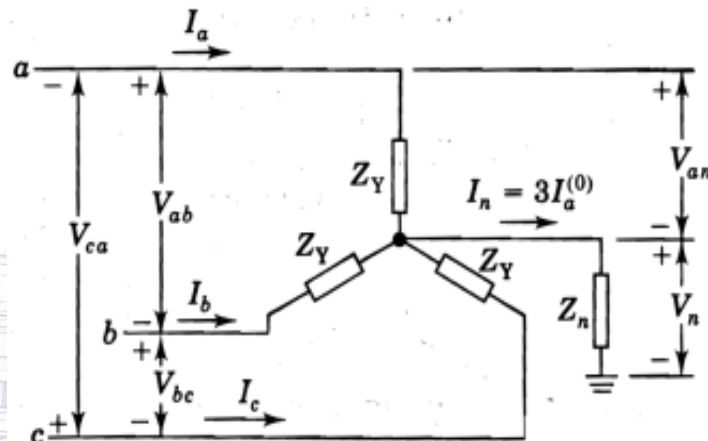
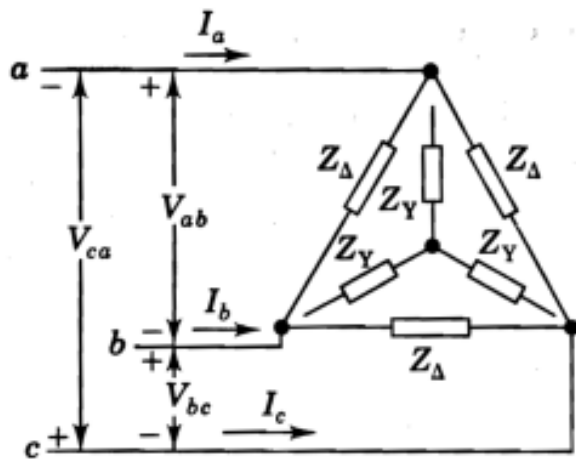
Circuitos Simétricos Y-Δ

De la figura se observa $\frac{V_{ab}}{I_{ab}} = Z_{\Delta}$, cuando dentro del-circuito A no hay fuentes o acoplamientos mutuos. Cuando están presentes las cantidades de secuencia positiva y negativa, se tiene

$$\frac{V_{ab}^{(1)}}{I_{ab}^{(1)}} = Z_{\Delta} = \frac{V_{ab}^{(2)}}{I_{ab}^{(2)}}$$

$$\frac{\frac{\sqrt{3} V_{an}^{(1)}}{I_a^{(1)}} \angle 30^{\circ}}{\frac{I_a^{(1)}}{\sqrt{3}} \angle 30^{\circ}} = Z_{\Delta} = \frac{\frac{\sqrt{3} V_{an}^{(2)}}{I_a^{(2)}} \angle -30^{\circ}}{\frac{I_a^{(2)}}{\sqrt{3}} \angle -30^{\circ}}$$

$$\frac{V_{an}^{(1)}}{I_a^{(1)}} = \frac{Z_{\Delta}}{3} = \frac{V_{an}^{(2)}}{I_a^{(2)}}$$





Universidad
Técnica de
Cotopaxi

Circuitos Simétricos Y- Δ



Ingeniería
Eléctrica

Ejemplo. Tres resistencias idénticas conectadas en Y forman un banco de carga con valores nominales de 2300 V y 500 kVA. Encuentre los voltajes de línea y las corrientes en por unidad en la carga si se aplican al banco de carga los voltajes.

$$|V_{ab}| = 1840 \text{ V} \quad |V_{bc}| = 2760 \text{ V} \quad |V_{ca}| = 2300 \text{ V}$$

Suponga que el neutro de la carga no está conectado al neutro del sistema y seleccione una base de 2300 V y 500 kVA y el ángulo del V_{ca} es 180°



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

Potencia en términos de secuencia



Ingeniería
Eléctrica

Si se conocen las componentes simétricas de corriente y de voltaje, se puede calcular directamente la potencia del circuito trifásico a partir de las componentes simétricas. La demostración de lo anterior resulta un buen ejemplo del manejo de las matrices de componentes simétricas

La potencia total compleja que fluye dentro de un circuito trifásico a través de las tres líneas a, b y c es

$$S_{3\phi} = P + jQ = V_a I_a^* + V_b I_b^* + V_c I_c^*$$



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

Potencia en términos de secuencia



Ingeniería
Eléctrica

Para un sistema que no este en por unidad se tiene

$$S_{3\phi} = V_a I_a^* + V_b I_b^* + V_c I_c^* = 3V_a^{(0)} I_a^{(0)*} + 3V_a^{(1)} I_a^{(1)*} + 3V_a^{(2)} I_a^{(2)*}$$

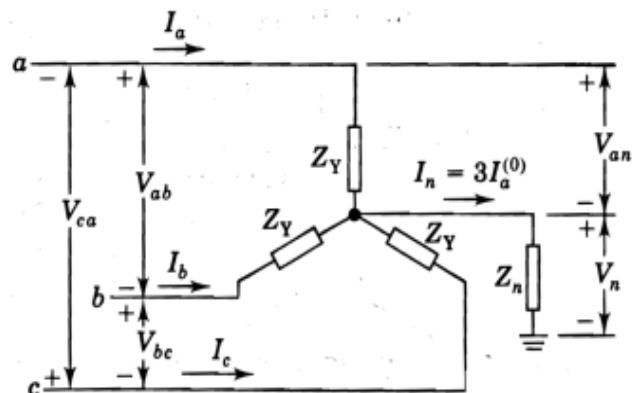
Sin embargo, cuando la potencia compleja $S_{3\phi}$ se expresa en por unidad de una base trifásica de voltamperes, desaparece el multiplicador

$$S_{3\phi} = V_a^{(0)} I_a^{(0)*} + V_a^{(1)} I_a^{(1)*} + V_a^{(2)} I_a^{(2)*}$$

Ejercicio. Calcule la potencia absorbida en la carga del ejemplo anterior por medio de las componentes simétricas y verifique la respuesta

Circuitos de secuencia de impedancias Y& Δ

Si se introduce una impedancia Z , entre el neutro y la tierra de las impedancias conectadas en Y



$$I_n = 3I_a^{(0)}$$

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_n \\ V_n \\ V_n \end{bmatrix} = Z_Y \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} + 3I_a^{(0)}Z_n \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{A} \begin{bmatrix} V_a^{(0)} \\ V_a^{(1)} \\ V_a^{(2)} \end{bmatrix} = Z_Y \mathbf{A} \begin{bmatrix} I_a^{(0)} \\ I_a^{(1)} \\ I_a^{(2)} \end{bmatrix} + 3I_a^{(0)}Z_n \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$V_a^{(0)} = (Z_Y + 3Z_n)I_a^{(0)} = Z_0 I_a^{(0)}$$

$$V_a^{(1)} = Z_Y I_a^{(1)} = Z_1 I_a^{(1)}$$

$$V_a^{(2)} = Z_Y I_a^{(2)} = Z_2 I_a^{(2)}$$



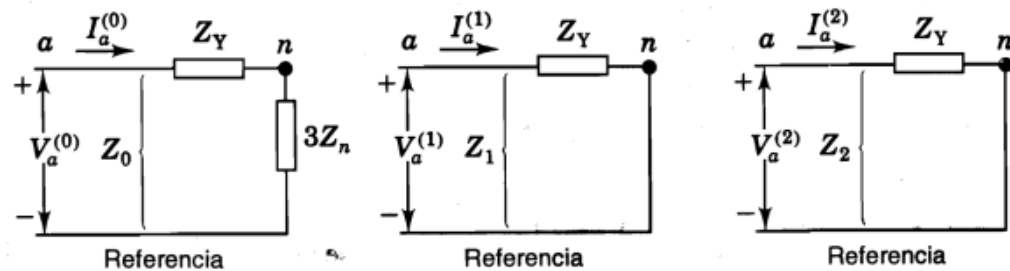
Universidad
Técnica de
Cotopaxi

Circuitos de secuencia de impedancias Y Δ



Ingeniería
Eléctrica

Este resultado (el más importante) permite dibujar tres circuitos de secuencia monofásicos que se muestran en la siguiente figura.



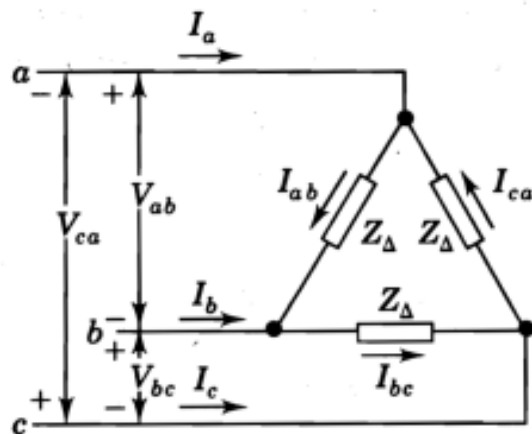
Estos tres circuitos, considerados de manera simultánea, contienen la misma información que el circuito real

$$\frac{V_a^{(0)}}{I_a^{(0)}} = Z_0 = Z_Y + 3Z_n$$

Circuitos de secuencia de impedancias Y Δ



Obviamente, un circuito conectado en A no tiene una trayectoria al neutro y así, las corrientes de línea que fluyen dentro de la carga conectada en Δ , o su circuito equivalente en Y, no pueden contener componentes de secuencia cero. Considere el circuito simétrico conectado en Δ de la figura



$$V_{ab} = Z_{\Delta} I_{ab} \quad V_{bc} = Z_{\Delta} I_{bc} \quad V_{ca} = Z_{\Delta} I_{ca}$$

$$V_{ab} + V_{bc} + V_{ca} = 3V_{ab}^{(0)} = 3Z_{\Delta} I_{ab}^{(0)}$$

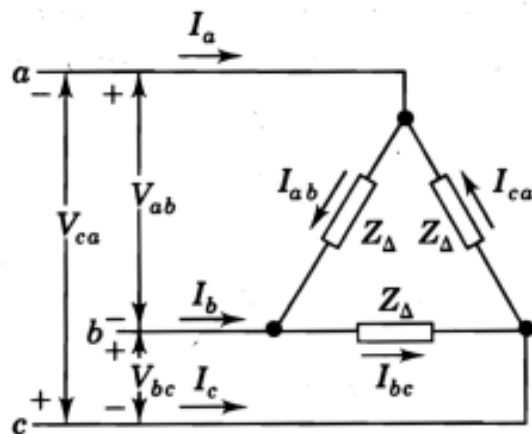
y como la suma de los voltajes línea a línea siempre es cero, se tiene, por lo tanto, que

$$V_{ab}^{(0)} = I_{ab}^{(0)} = 0$$

Circuitos de secuencia de impedancias Y& Δ



Obviamente, un circuito conectado en Δ no tiene una trayectoria al neutro y así, las corrientes de línea que fluyen dentro de la carga conectada en Δ , o su circuito equivalente en Y, no pueden contener componentes de secuencia cero. Considere el circuito simétrico conectado en Δ de la figura



$$V_{ab} = Z_{\Delta} I_{ab} \quad V_{bc} = Z_{\Delta} I_{bc} \quad V_{ca} = Z_{\Delta} I_{ca}$$

$$V_{ab} + V_{bc} + V_{ca} = 3V_{ab}^{(0)} = 3Z_{\Delta} I_{ab}^{(0)}$$

y como la suma de los voltajes línea a línea siempre es cero, se tiene, por lo tanto, que

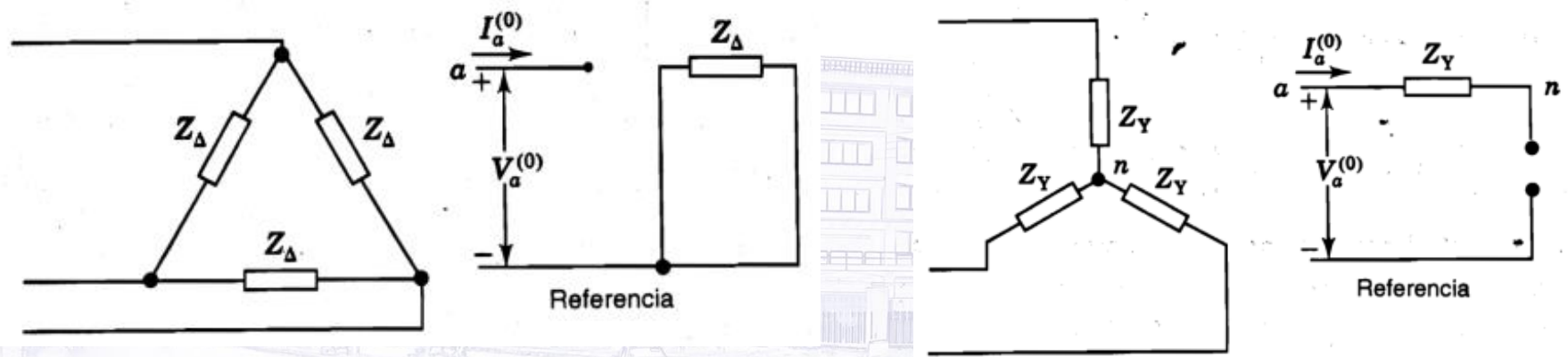
$$V_{ab}^{(0)} = I_{ab}^{(0)} = 0$$

Circuitos de secuencia de impedancias Y & Δ



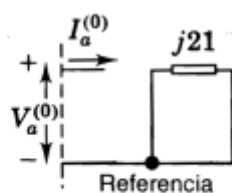
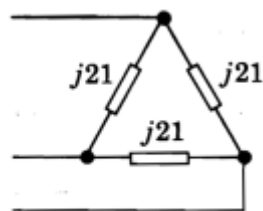
Así, en los circuitos conectados en Δ que tienen solamente impedancias, sin fuentes y sin acoplamiento mutuo, no puede haber alguna corriente circulante.

En la figura se muestran un circuito Δ y su circuito de secuencia cero.

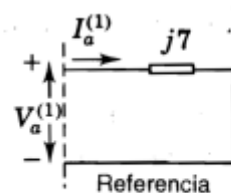


Circuitos de secuencia de impedancias Y Δ

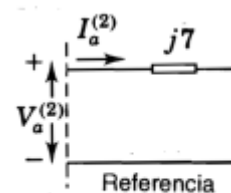
Ejercicio. Tres impedancias iguales de $j21\Omega$ se conectan en Δ . Determine las impedancias de secuencia y los circuitos de la combinación. Repita el problema para el caso donde haya una impedancia mutua de $j6\Omega$ entre cada par de ramas adyacentes en la Δ



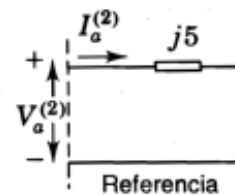
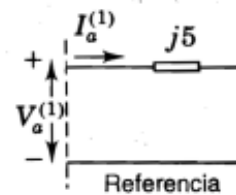
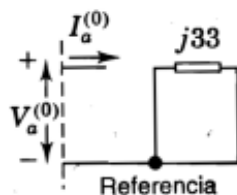
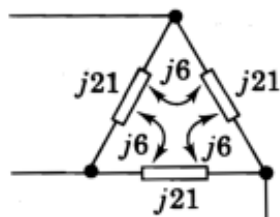
Secuencia cero



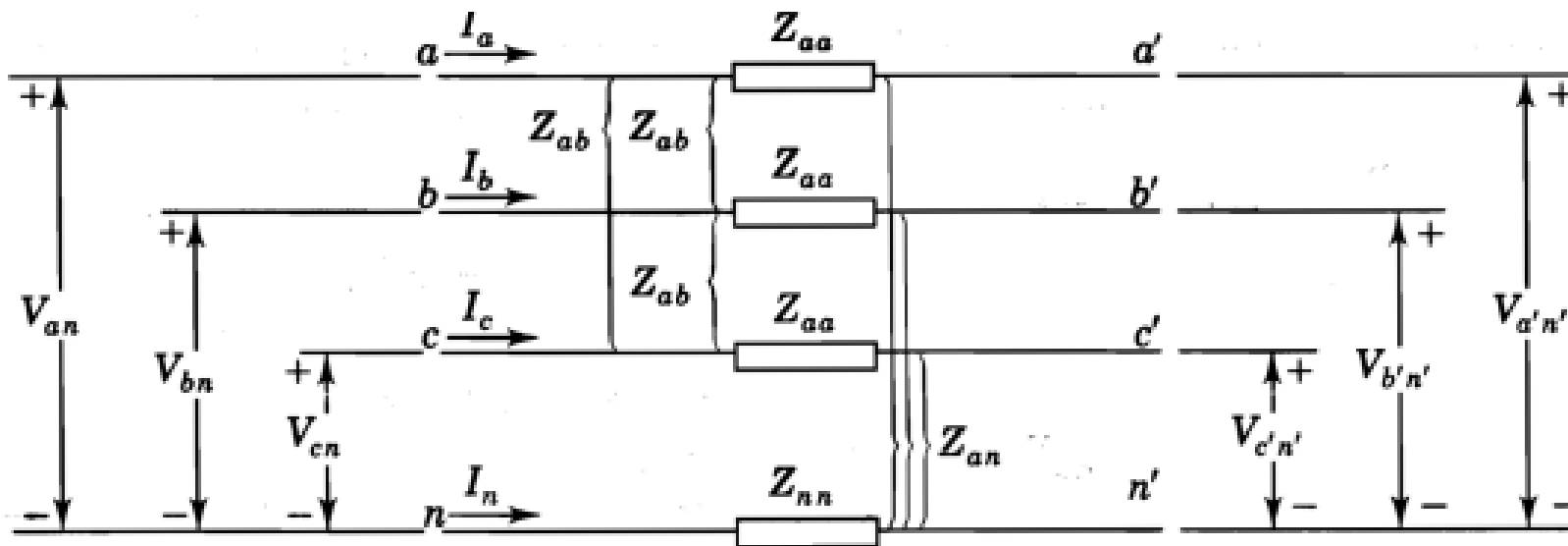
Secuencia positiva



Secuencia negativa

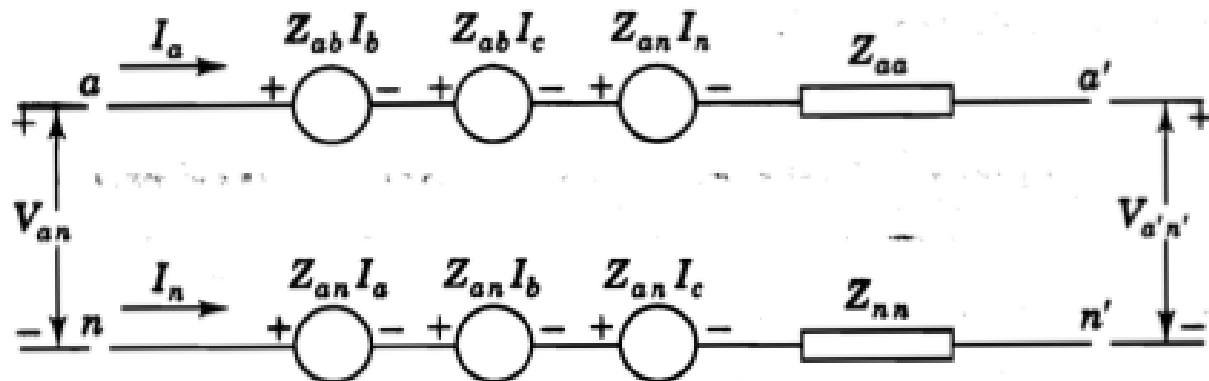


CIRCUITOS DE SECUENCIA DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN SIMÉTRICA



$$V_{an} = Z_{aa}I_a + Z_{ab}I_b + Z_{ab}I_c + Z_{an}I_n + V_{a'n'} - (Z_{nn}I_n + Z_{an}I_c + Z_{an}I_b + Z_{an}I_a)$$

Circuitos de secuencia de impedancias Y& Δ



$$Z_s \triangleq Z_{aa} + Z_{nn} - 2Z_{an}$$

$$Z_m \triangleq Z_{ab} + Z_{nn} - 2Z_{an}$$

$$V_{an} - V_{a'n'} = (Z_{aa} - Z_{an})I_a + (Z_{ab} - Z_{an})(I_b + I_c) + (Z_{an} - Z_{nn})I_n$$

$$V_{bn} - V_{b'n'} = (Z_{aa} - Z_{an})I_b + (Z_{ab} - Z_{an})(I_a + I_c) + (Z_{an} - Z_{nn})I_n$$

$$V_{cn} - V_{c'n'} = (Z_{aa} - Z_{an})I_c + (Z_{ab} - Z_{an})(I_a + I_b) + (Z_{an} - Z_{nn})I_n$$

$$I_n = -(I_a + I_b + I_c)$$

$$\begin{bmatrix} V_{aa'} \\ V_{bb'} \\ V_{cc'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{an} - V_{a'n'} \\ V_{bn} - V_{b'n'} \\ V_{cn} - V_{c'n'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_s & Z_m & Z_m \\ Z_m & Z_s & Z_m \\ Z_m & Z_m & Z_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

$$V_{aa'} \triangleq V_{an} - V_{a'n'}$$

$$V_{bb'} \triangleq V_{bn} - V_{b'n'}$$

$$V_{cc'} \triangleq V_{cn} - V_{c'n'}$$



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

Circuitos de secuencia de impedancias Y Δ



Ingeniería
Eléctrica

$$Z_0 = Z_s + 2Z_m = Z_{aa} + 2Z_{ab} + 3Z_{nn} - 6Z_{an}$$

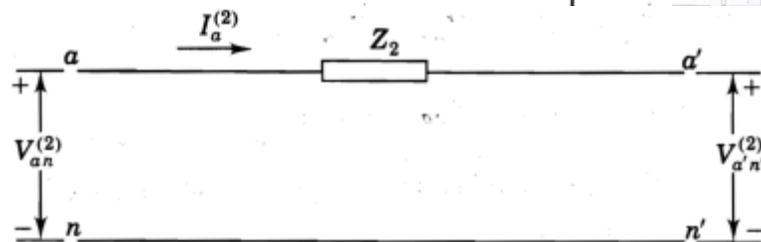
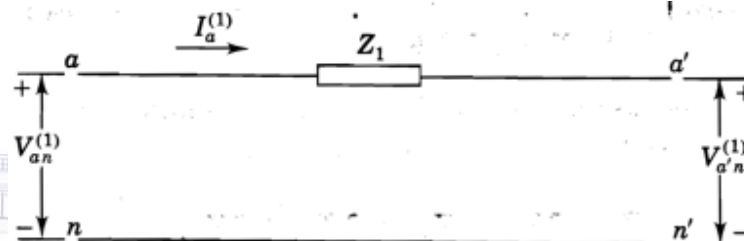
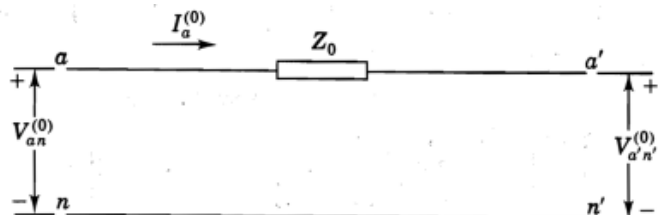
$$Z_1 = Z_s - Z_m = Z_{aa} - Z_{ab}$$

$$Z_2 = Z_s - Z_m = Z_{aa} - Z_{ab}$$

$$V_{aa'}^{(0)} = V_a^{(0)} - V_{a'n'}^{(0)} = Z_0 I_a^{(0)}$$

$$V_{aa'}^{(1)} = V_a^{(1)} - V_{a'n'}^{(1)} = Z_1 I_a^{(1)}$$

$$V_{aa'}^{(2)} = V_a^{(2)} - V_{a'n'}^{(2)} = Z_2 I_a^{(2)}$$



$$V_{aa'}^{(0)} = V_a^{(0)} - V_{a'}^{(0)} = Z_0 I_a^{(0)}$$

$$V_{aa'}^{(1)} = V_a^{(1)} - V_{a'}^{(1)} = Z_1 I_a^{(1)}$$

$$V_{aa'}^{(2)} = V_a^{(2)} - V_{a'}^{(2)} = Z_2 I_a^{(2)}$$



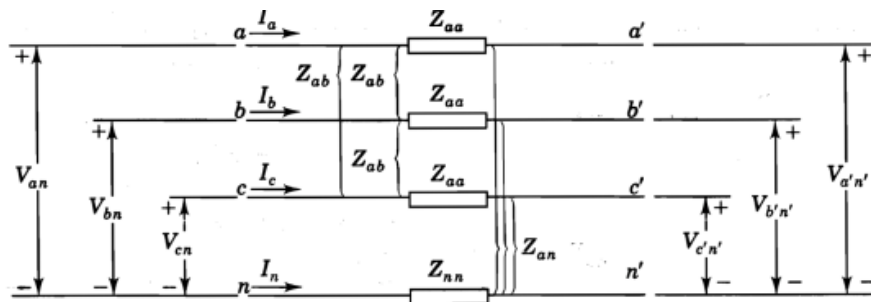
Universidad
Técnica de
Cotopaxi

Circuitos de secuencia de impedancias Y Δ



Ingeniería
Eléctrica

Los voltajes en las terminales izquierda y derecha de la línea de la figura están dados por



$$V_{an} = 182.0 + j70.0 \text{ kV}$$

$$V_{a'n'} = 154.0 + j28.0 \text{ kV}$$

$$V_{bn} = 72.24 - j32.62 \text{ kV}$$

$$V_{b'n'} = 44.24 - j74.62 \text{ kV}$$

$$V_{cn} = -170.24 + j88.62 \text{ kV}$$

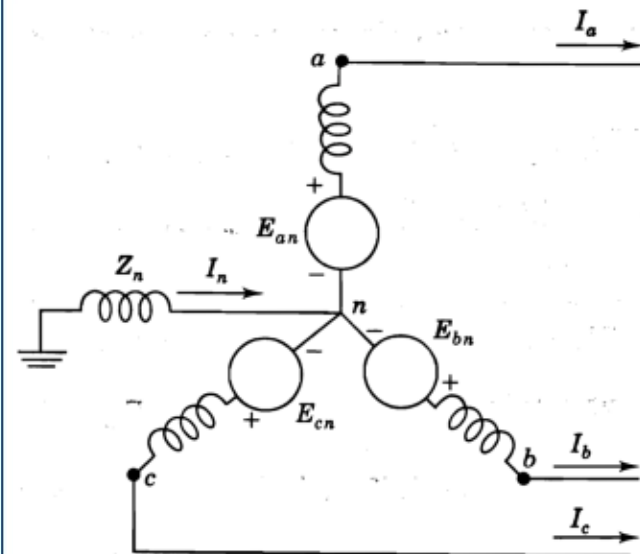
$$V_{c'n'} = -198.24 + j46.62 \text{ kV}$$

Las impedancias de la línea en ohms son

$$Z_{aa} = j60 \quad Z_{ab} = j20 \quad Z_{nn} = j80 \quad Z_{an} = 0$$

Determine las Corrientes de línea I_a , I_b , e I_c mediante las componentes imétricas.
Repita el problema sin usar las componentes simétricas.

CIRCUITOS DE SECUENCIA DE LA MÁQUINA SINCRÓNICA



$$v_{an} = -Ri_a - (L_s + M_s) \frac{di_a}{dt} + e_{an}$$

$$V_{an} = -RI_a - j\omega(L_s + M_s)I_a + E_{an}$$

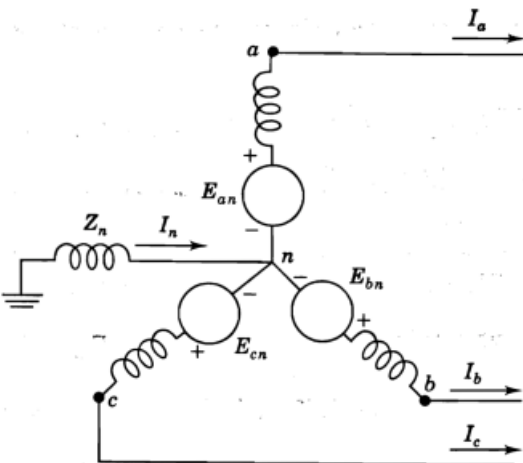
$$v_{an} = -Ri_a - L_s \frac{di_a}{dt} + M_s \frac{d}{dt}(i_b + i_c) + e_{an}$$

$$V_{an} = -RI_a - j\omega L_s I_a + j\omega M_s(I_b + I_c) + E_{an}$$

$$V_{bn} = -RI_b - j\omega L_s I_b + j\omega M_s(I_a + I_c) + E_{bn}$$

$$V_{cn} = -RI_c - j\omega L_s I_c + j\omega M_s(I_a + I_b) + E_{cn}$$

CIRCUITOS DE SECUENCIA DE LA MÁQUINA SINCRÓNICA



$$\begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} = -[R + j\omega(L_s + M_s)] \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} + j\omega M_s \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} E_{an} \\ E_{bn} \\ E_{cn} \end{bmatrix}$$

$$V_{an}^{(0)} = -RI_a^{(0)} - j\omega(L_s - 2M_s)I_a^{(0)}$$

$$V_{an}^{(1)} = -RI_a^{(1)} - j\omega(L_s + M_s)I_a^{(1)} + E_{an}$$

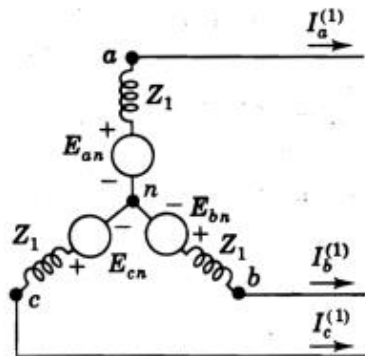
$$V_{an}^{(2)} = -RI_a^{(2)} - j\omega(L_s + M_s)I_a^{(2)}$$

$$V_{an}^{(0)} = -I_a^{(0)}[R + j\omega(L_s - 2M_s)] = -I_a^{(0)}Z_{g0}$$

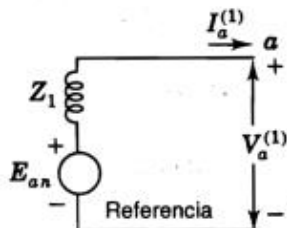
$$V_{an}^{(1)} = E_{an} - I_a^{(1)}[R + j\omega(L_s + M_s)] = E_{an} - I_a^{(1)}Z_1$$

$$V_{an}^{(2)} = -I_a^{(2)}[R + j\omega(L_s + M_s)] = -I_a^{(2)}Z_2$$

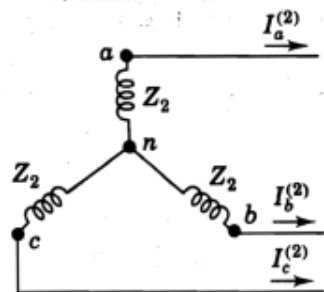
CIRCUITOS DE SECUENCIA DE LA MÁQUINA SINCRÓNICA



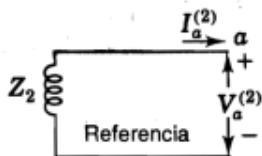
a) Trayectorias de la corriente de secuencia positiva



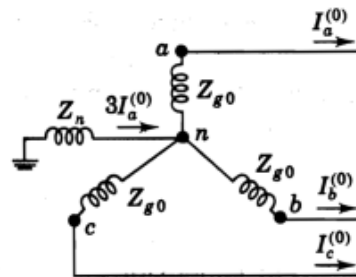
b) Red de secuencia positiva



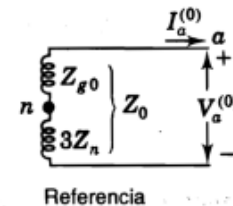
c) Trayectorias de la corriente de secuencia negativa



d) Red de secuencia negativa



e) Trayectorias de la corriente de secuencia cero



f) Red de secuencia cero



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CIRCUITOS DE SECUENCIA DEL TRANSFORMADOR TRIFÁSICO



Ingeniería
Eléctrica

CASO	SÍMBOLOS	DIAGRAMAS DE CONEXIÓN	CIRCUITOS EQUIV DE SECUENCIA CERO
1			
2			
3			
4			
5			

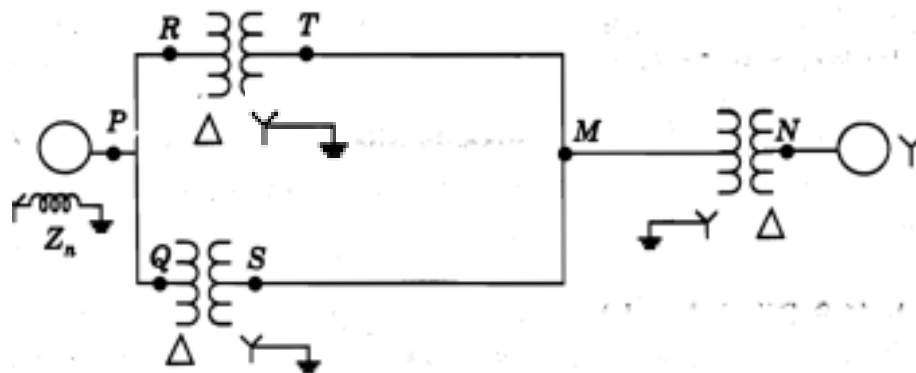


Universidad
Técnica de
Cotopaxi

Representación de las componentes de secuencia



Ingeniería
Eléctrica



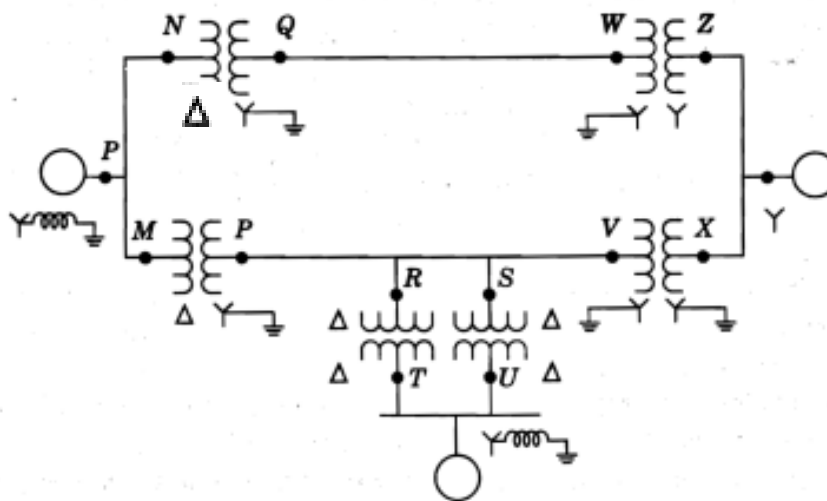


Universidad
Técnica de
Cotopaxi

Representación de las componentes de secuencia



Ingeniería
Eléctrica





Universidad
Técnica de
Cotopaxi

FALLAS EN UN SEP



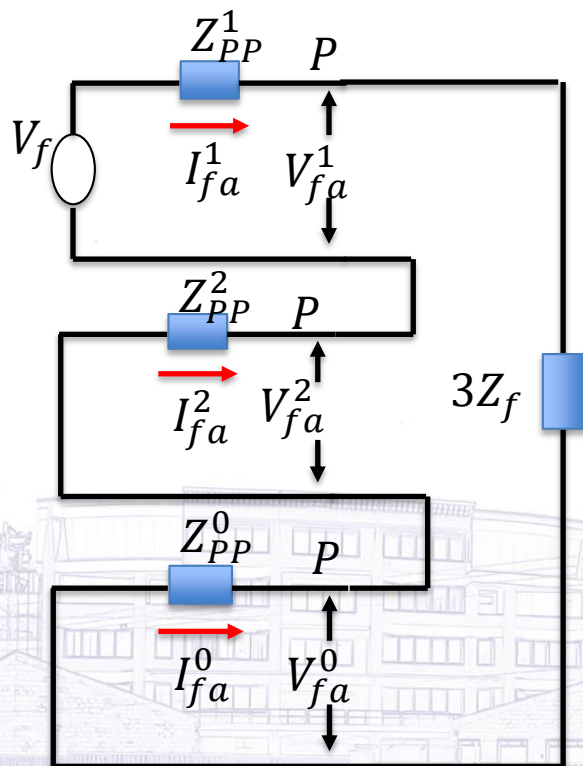
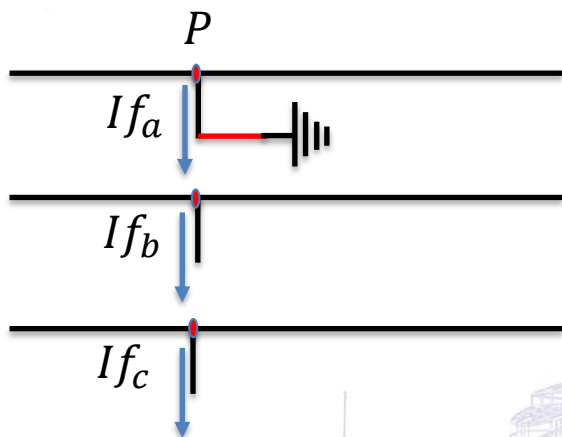
Ingeniería
Eléctrica

En un sistema eléctrico de potencia es muy importante proteger a los equipos de fallas en vista de que estos pueden ocasionar grandes corrientes que pueden dañar a los equipos del sistema.

Las fallas pueden ser de los siguientes tipos:

1. Falla trifásica, tres fases se interconectan entre sí.
2. Falla bifásica, dos fases se conectan entre sí.
3. Falla bifásica a tierra, ídem al segundo caso pero con la presencia de tierra.
4. Falla monofásica, una fase se conecta a tierra.

FALLA MONOFÁSICA



$$I_{fa}^1 = I_{fa}^2 = I_{fa}^0$$

$$I_{fa}^0 = \frac{V_f}{Z_{PP}^1 + Z_{PP}^2 + Z_{PP}^0 + 3Z_F}$$

$$\begin{bmatrix} I_{fa} \\ I_{fb} \\ I_{fc} \end{bmatrix} = [Ts] \begin{bmatrix} I_{fa}^0 \\ I_{fa}^0 \\ I_{fa}^0 \end{bmatrix} = 3I_{fa}^0$$

FALLA MONOFÁSICA

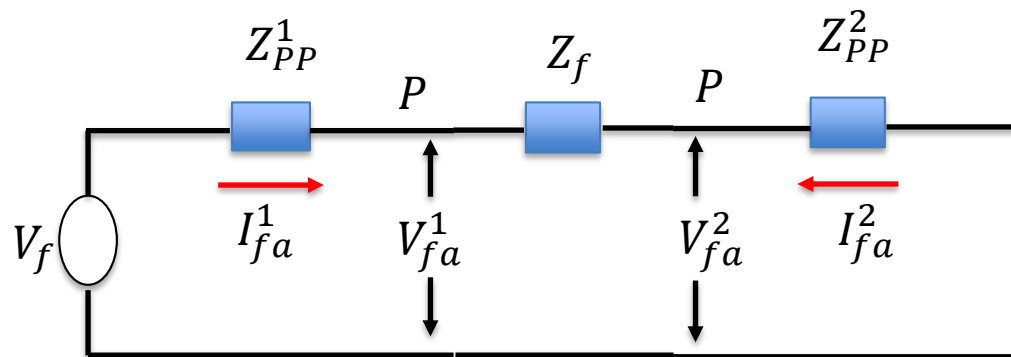
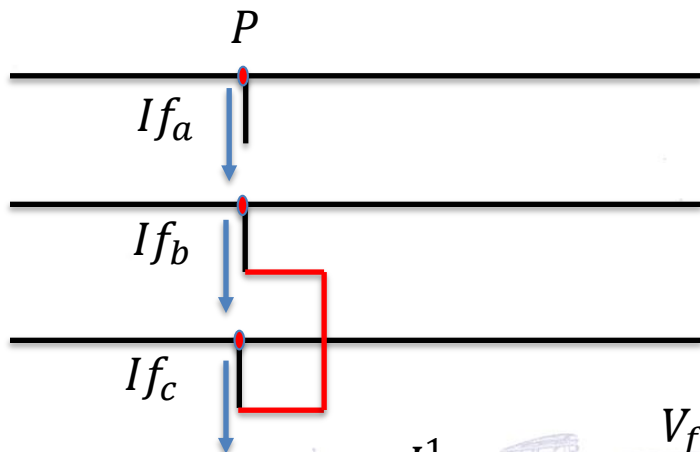
Dos máquinas síncronas se conectan a través de transformadores trifásicos a la línea de transmisión que se muestra en la figura. Los valores nominales y las reactancias de las máquinas y de los transformadores son

Máquinas 1 y 2: 100 MVA, 20 kV; $X_d'' = X_1 = X_2 = 20\%$; Transformadores T_1 y T_2 : 100 MVA, 20Y/345Y kV; $X = 8\%$
 $X_0 = 4\%$, $X_n = 5\%$



Ambos transformadores están-sólidamente aterrizados en los dos lados. Sobre la base de 100 , MVA y 345 kV en el circuito de la línea de transmisión, las reactancias son $X_1 = X_2 = 15\%$ y $X_0 = 50\%$. El sistema está operando a voltaje nominal sin corrientes prefalla cuando una falla monofásica a tierra, ocurre en la fase A en la barra 3. Determine la corriente subtransitoria a tierra en la falla y la corriente subtransitoria que sale de la fase c de la máquina 2, por medio de la matriz de impedancias de barra para cada una de las tres redes de secuencia.

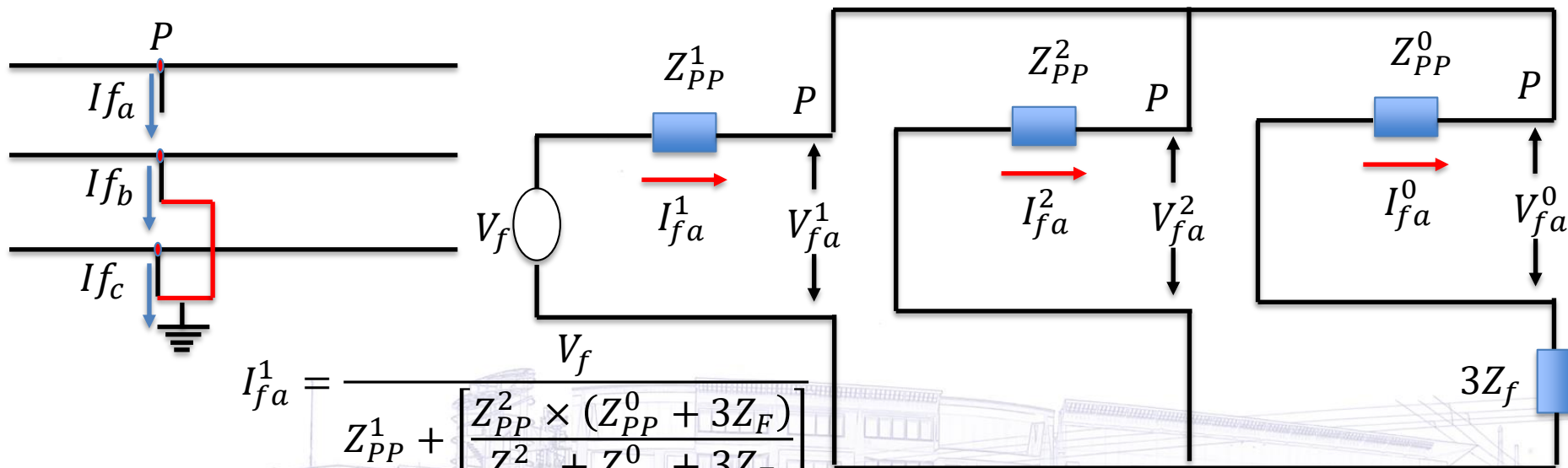
FALLA BIFÁSICA



$$I_{fa}^1 = \frac{V_f}{Z_{PP}^1 + Z_{PP}^2 + Z_f} \quad I_{fa}^2 = -I_{fa}^1$$

$$\begin{bmatrix} I_{fa} \\ I_{fb} \\ I_{fc} \end{bmatrix} = [Ts] \begin{bmatrix} 0 \\ I_{fa}^1 \\ -I_{fa}^1 \end{bmatrix}$$

FALLA BIFÁSICA A TIERRA



$$I_{fa}^1 = \frac{V_f}{Z_{PP}^1 + \left[\frac{Z_{PP}^2 \times (Z_{PP}^0 + 3Z_F)}{Z_{PP}^2 + Z_{PP}^0 + 3Z_F} \right]}$$

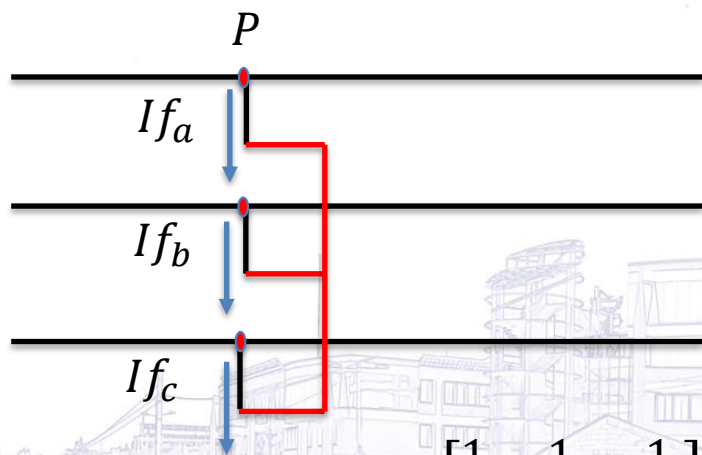
$$I_{fa}^2 = -I_{fa}^1 \frac{Z_{PP}^0 + 3Z_F}{Z_{PP}^2 + Z_{PP}^0 + 3Z_F}$$

$$I_{fa}^0 = -I_{fa}^1 \frac{Z_{PP}^2}{Z_{PP}^2 + Z_{PP}^0 + 3Z_F}$$

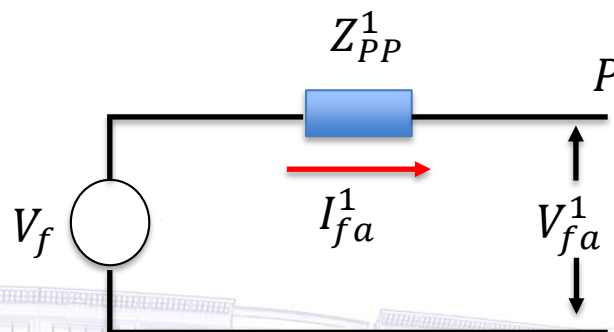
$$\begin{bmatrix} I_{fa} \\ I_{fb} \\ I_{fc} \end{bmatrix} = [Ts] \begin{bmatrix} I_{fa}^0 \\ I_{fa}^1 \\ I_{fa}^2 \end{bmatrix}$$

FALLA TRIFÁSICA

La falla trifásica es la única que es simétrica, por tal motivo se puede decir que en el cálculo de la misma no se tomara en cuenta los diagramas de secuencia positiva ni negativa



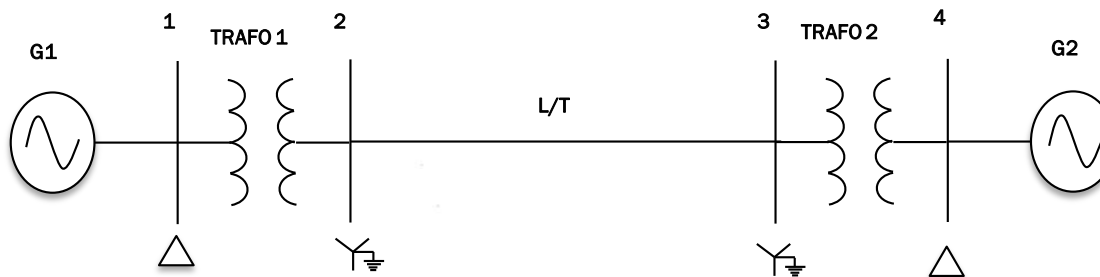
$$[Ts] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$$



$$I_{fa}^1 = \frac{V_f}{Z_{PP}^1}$$

$$\begin{bmatrix} I_{fa} \\ I_{fb} \\ I_{fc} \end{bmatrix} = [Ts] \begin{bmatrix} 0 \\ I_{fa}^1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

EJEMPLO



ELEMENTO	BASE	REACTANCIAS
Generador 1 y 2	100 MVA, 20 kV	$X_1 = X_2 = 20\%$; $X_0 = 5\%$
Transformador 1 y 2	100MVA, 20 Δ /345 Υ kV	$X_1 = X_2 = X_0 = 8\%$
Línea de Transmisión	100 MVA, 345 kV	$X_1 = X_2 = 15\%$; $X_0 = 50\%$

CALCULAR LA CORRIENTE DE FALLA BIFÁSICA A TIERRA EN UN PUNTO P, QUE SE ENCUENTRA A $\frac{1}{4}$ DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN EN EL TRAYECTO 2-3

CALCULAR LA CORRIENTE QUE APORTA EL GENERADOR 1 DEBIDO A ESTA FALLA



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

PASOS DE RESOLUCIÓN



Ingeniería
Eléctrica

- 1.- Se debe ubicar todos los valores en por unidad y en una misma base
- 2.- Realizar los diagramas de secuencia, positiva, negativa y cero
- 3.- Calcular el equivalente thevenin en el punto de falla de cada secuencia
- 4.- Realizar las conexiones de los equivalentes según el tipo de falla
- 5.- Calcular la corriente de falla
- 6.- Aplicando la matriz T_s para transformar los valores de secuencia a valores de fase.
- 7.- Pasar de por unidad a valores en kA

Para calcular los parámetros de corrientes y voltajes en el resto de elementos, se debe realiza a través de los diagramas de secuencia utilizando como dato la corriente de falla de cada secuencia que se calcula en los pasos anteriores