## 3.6 ECUACIONES DE LA RED TOTAL EXTERNA A LA FALTA (0,1,2)

### 3.6.1 Introducción

Comenzaremos obteniendo las Matrices de Impedancia de Barras de la Red Total Externa a la Falta, Z(0,1,2), para a continuación establecer las Ecuaciones de la Red Total Externa a la Falta, vista desde los Puntos en Falta, que serán una parte de la Matriz de Cálculo.

Consideraremos separadamente que la Línea con Circuitos sobre los mismos Apoyos sea Doble o Triple.

En el primer caso, estando constituida la Red Total Externa a la Falta por la Red General Externa a la Línea Doble, la Línea Doble y las Posiciones de Falta (Simple, Doble o Intercircuito), la determinación de Z(0,1,2) la derivaremos del Procedimiento siguiente:

- Cálculo del Sistema Equivalente $z_s$ (0,1,2), $z_{sr}$ (0,1,2), $z_r$ (0,1,2) (ó $z_s, z_r$ si $z_{sr} = \infty$ ) de la Red General Externa a la Línea Doble, deducidas de Z'(0,1,2).

  Z'(0,1,2) = Matrices de Impedancia de Barras de la Red General Externa a la Línea Doble

- Datos de la Línea Doble
  Para el Esquema involucrando Líneas a Diferente Tensión, Datos de los Transformadores ligando estas Tensiones en S y R.

- Posiciones de Falta (Simple m, Doble m,p o Intercircuito m=p)

- Determinación del Sistema Equivalente de la Red Total Externa a la Falta.
  En el caso especial de Falta Simple sobre un Circuito de la Línea Doble, estando el otro abierto y Puesto a Tierra en ambos Extremos, el cálculo implica particularidades que, como anticipamos en 3.2.4, serán tratadas posteriormente.

- Obtención de Z(0,1,2)

En el segundo caso, Línea Triple, la determinación de Z(0,1,2) se obtendría por un Procedimiento análogo al anterior, que para Falta Triple quedaría en la forma:

- Cálculo del Sistema Equivalente $z_s$ (0,1,2), $z_{sr}$ (0,1,2), $z_r$ (0,1,2) (ó $z_s, z_r$ si $z_{sr} = \infty$ ) de la Red General Externa a la Línea Triple, deducidas de Z'(0,1,2).

  Z'(0,1,2) = Matrices de Impedancia de Barras de la Red General Externa a la Línea Triple

- Datos de la Línea Triple

- Posiciones de Falta (m,p,q)

- Determinación del Sistema Equivalente de la Red Total Externa a la Falta.

- Obtención de Z(0,1,2)

### 3.6.2 Cálculo de $z_s(0,1,2), z_{sr}(0,1,2), z_r(0,1,2)$, Equivalente Fuente-Transferencia de la Red General Externa a la Línea Múltiple (Doble o Triple)

La Red General Externa a la Línea Múltiple constará en general de un número alto de Elementos y convendrá que sea sustituida por un Equivalente para el estudio localizado de Faltas en la Línea Múltiple. Así podrán evitarse las Técnicas de las Redes de Gran Tamaño.

Todo lo que establezcamos para la Red General Externa a la Línea Doble es idéntico a lo que estableceríamos para la Red General Externa a la Línea Triple. Con objeto de no duplicar innecesariamente la exposición, el desarrollo del Equivalente de Red Externa a la Línea Triple no será realizado, remitiéndonos a lo que se exponga para la Línea Doble.

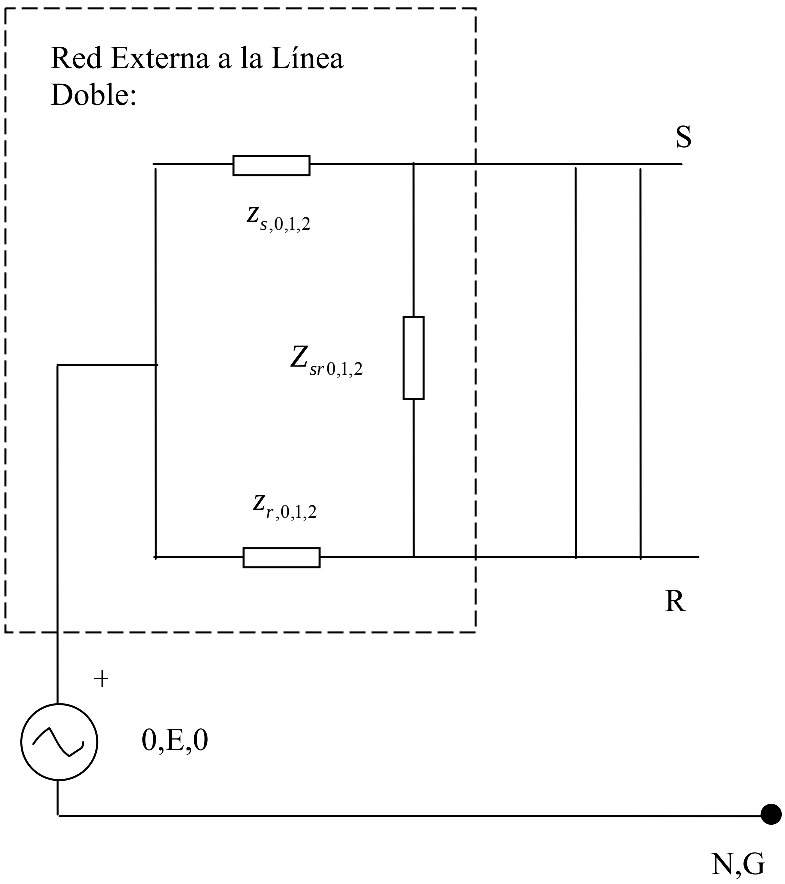



Fig 3.6.a

La Red General Externa a la Línea Doble (0,1,2) será sustituida por su Sistema Equivalente de Impedancias Fuente-Transferencia $z_s(0,1,2), z_{sr}(0,1,2), z_r(0,1,2)$.

Estos valores serán obtenidos supuestas conocidas las Matrices de Impedancia de Barras de la Red General Externa a la Línea Doble $Z_0^{'}, Z_1^{'}, Z_2^{'}$.

$Z_0^{'}, Z_1^{'}, Z_2^{'}$ pueden obtenerse, en los casos prácticos, de los Datos de la Red Externa a la Línea Doble, según se indica en el Apéndice 1.

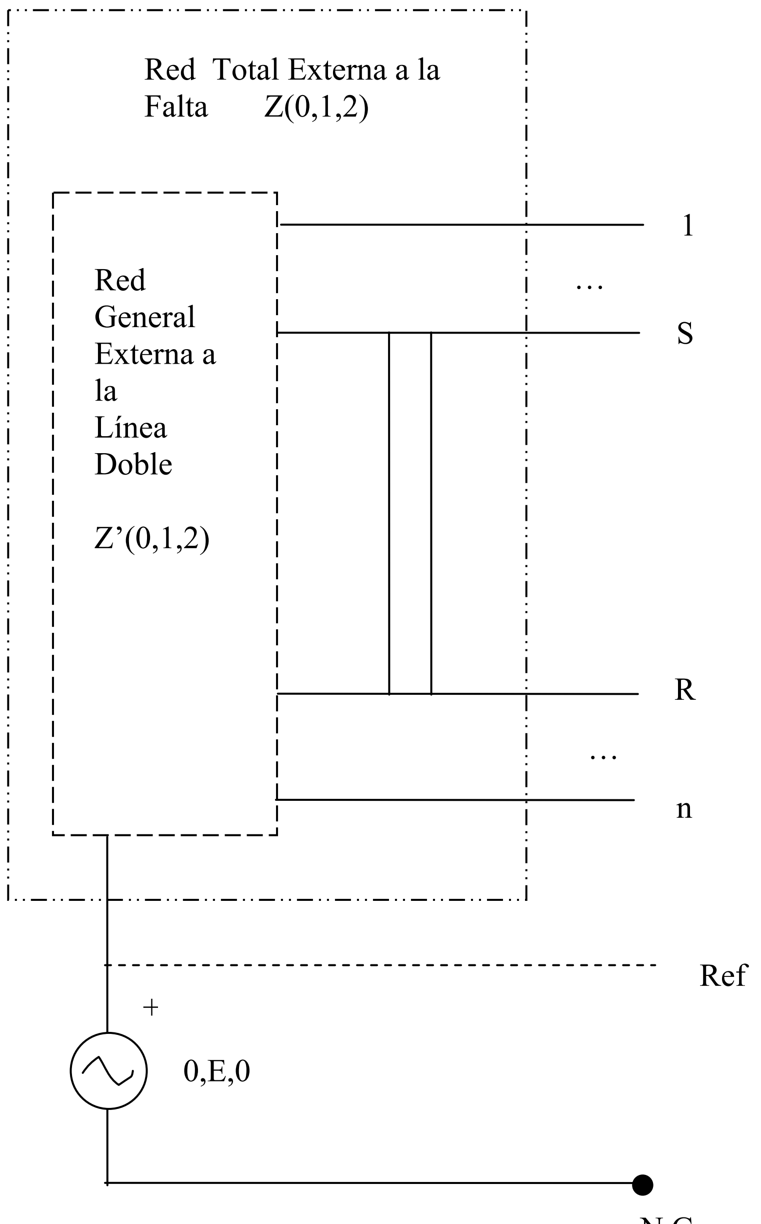



Fig. 3.6.b

Observación: el número de Barras del Sistema, incluyendo los Puntos en Falta, se ha supuesto ser n en la Fig. 3.6.b. Sin embargo, supuesto ser n el número correspondiente a las Secuencias 1 y 2, el número de Barras en el Esquema de Secuencia 0 puede ser distinto de n, al aparecer, por ejemplo, Nudos Ficticios en la representación en Secuencia 0 de los Transformadores de 3 Devanados. Ello no supone dificultad añadida al planteamiento general, consistente en el análisis separado de los 3 Sistemas de Secuencia 0,1,2 y adecuada interpretación y superposición posterior .

Procedimiento de obtención de $z_s(0,1,2), z_{sr}(0,1,2), z_r(0,1,2)$ :

- Numerar las Barras de la Red General Externa a la Línea Doble

Secuencia 0 :

$Z_0^{'}$ = Matriz de Impedancia de Barras de la Red General Externa a la Línea Doble, Secuencia 0

$Z_0^{'}.I_0^{'} = V_0^{'}$ Nudo de Referencia = Tierra

Inyectando $I_{S0}$ y $I_{R0}$ en las Barras S y R :

$$\begin{bmatrix} Z_0^{'}(1,1) & ... & Z_0^{'}(1,S) & ... & Z_0^{'}(1,R) & ... & Z_0^{'}(1,n) \\ ... & ... & ... & ... & ... & ... & ... \\ Z_0^{'}(S,1) & ... & Z_0^{'}(S,S) & ... & Z_0^{'}(S,R) & ... & Z_0^{'}(S,n) \\ ... & ... & ... & ... & ... & ... & ... \\ Z_0^{'}(R,1) & ... & Z_0^{'}(R,S) & ... & Z_0^{'}(R,R) & ... & Z_0^{'}(R,n) \\ ... & ... & ... & ... & ... & ... & ... \\ Z_0^{'}(n,1) & ... & Z_0^{'}(n,S) & ... & Z_0^{'}(n,R) & ... & Z_0^{'}(n,n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ ... \\ I_{S0} \\ ... \\ I_{R0} \\ ... \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{10} \\ ... \\ V_{S0} \\ ... \\ V_{R0} \\ ... \\ V_{n0} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} Z_0^{'}(S,S) & Z_0^{'}(S,R) \\ Z_0^{'}(R,S) & Z_0^{'}(R,R) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{S0} \\ I_{R0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{S0} \\ V_{R0} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} Z_0^{'}(S,S) & Z_0^{'}(S,R) \\ Z_0^{'}(R,S) & Z_0^{'}(R,R) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} V_{S0} \\ V_{R0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{S0} \\ I_{R0} \end{bmatrix}$$

$$\frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} Z_0^{'}(R,R) & -Z_0^{'}(S,R) \\ -Z_0^{'}(R,S) & Z_0^{'}(S,S) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{S0} \\ V_{R0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{S0} \\ I_{R0} \end{bmatrix}$$

$$\Delta = Z_0^{'}(S,S) Z_0^{'}(R,R) - Z_0^{'}(R,S)^2$$

resultado que compararemos con el obtenido con el mismo proceso aplicado al Equivalente Fuente-Transferencia de la Red Externa a la Línea Doble.

Red Equivalente (Fuente-Transferencia) de la Red General Externa a la Línea Doble:

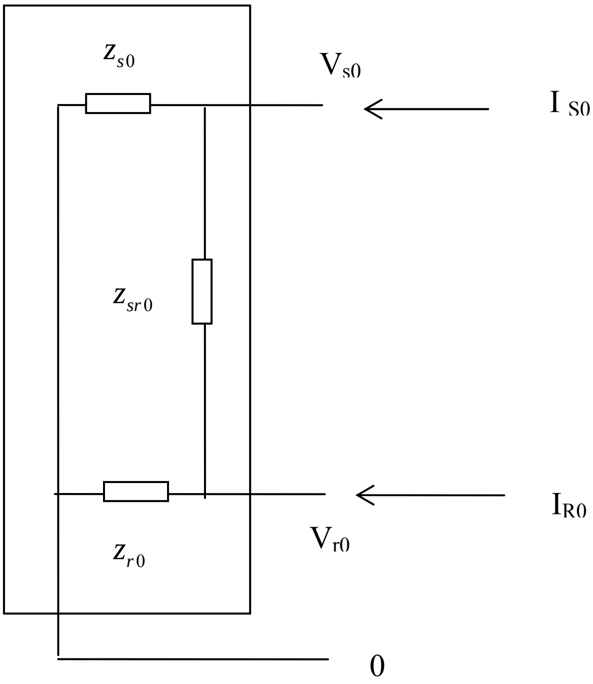



Fig 3.6.c

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{z_{s0}}+\frac{1}{z_{sr0}} & -\frac{1}{z_{sr0}} \\ -\frac{1}{z_{sr0}} & \frac{1}{z_{r0}}+\frac{1}{z_{sr0}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{S0} \\ V_{R0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{S0} \\ I_{R0} \end{bmatrix}$$

Identificando con las Ecuaciones obtenidas con la Red General Externa a la Línea Doble:

$$z_{s0} = \frac{\Delta}{Z_0^{'}(R,R) - Z_0^{'}(S,R)}$$

$$z_{sr0} = \frac{\Delta}{Z_0^{'}(S,R)}$$

$$z_{r0} = \frac{\Delta}{Z_0^{'}(S,S) - Z_0^{'}(S,R)}$$

Secuencia 1: El cálculo de $z_{s1}, z_{sr1}, z_{r1}$ es análogo al realizado para la Secuencia 0.

Secuencia 2: El cálculo de $z_{s2}, z_{sr2}, z_{r2}$ es análogo al realizado para la Secuencia 0.

### 3.6.3 Determinación del Sistema Equivalente a la Red Total Externa a la Falta

Conocidos:
- Sistema Equivalente a la Red Externa a la Línea Múltiple, Secuencias 0,1,2

- Esquema de la Línea Múltiple ( sobre las mismas Barras en sus 2 Extremos, etc...)

- Tipo de Falta: Línea Doble: (Simple, Doble o Intercircuito) y su Posición.
  Línea Triple: (Triple) y su Posición

Se tienen datos suficientes del Sistema Equivalente a la Red Total Externa a la Falta y, por tanto, del Esquema de Cálculo.

### 3.6.4 Obtención de Z(0,1,2), Matriz de Impedancia de Barras de la Red Total Externa a la Falta

Se efectúa sobre el Sistema Equivalente a la Red Total Externa a la Falta el Procedimiento siguiente, para cada una de las Secuencias 0,1,2:

- Numerar las Barras (n), incluyéndose los Puntos en Falta como nuevas Barras

  Nudo de Referencia: Secuencia 0 = Tierra
  Secuencia 1 = Punto común de las Impedancias de Generadores
  Secuencia 2 = Neutro

- Numerar y Orientar los Elementos (e)

- Obtención de la Matriz de Incidencia Elemento-Barra (exn), Minc(0,1,2)

- Obtención de la Matriz de Impedancia Primitiva (exe), $z_e$(0,1,2)

- Obtención de la Matriz de Admitancia de Barras (nxn), Y(0,1,2)

$$Y = M_{inc}^{t} y_e M_{inc}$$

$M_{inc}$ = Matriz de Incidencia Elemento-Barra (e x n) (0,1,2)

$y_e$ = Matriz Primitiva de Admitancia (Elemento-Elemento), (nxn) (0,1,2) $y_e = z_e^{-1}$

$z_e$ = Matriz Primitiva de Impedancia (Elemento-Elemento). ( e x e) (0,1,2)
Incluye las Impedancias Propias y Mutuas de los distintos Elementos.
Las Impedancias Mutuas aparecerán exclusivamente en Líneas sobre los mismos apoyos. Al ser poco importante el valor de las Impedancias Mutuas de Secuencias Positiva y Negativa, consideraremos exclusivamente el valor de Secuencia Cero.
El tratamiento de la Impedancia Mutua de Secuencia 0 entre Líneas de Diferente Tensión será efectuado a continuación.

- Obtención de la Matriz de Imp. de Barras Z(0,1,2).

$$Z = Y^{-1} = \left( M_{inc}^{t} y_e M_{inc} \right)^{-1} \quad \text{(nxn)}$$

### 3.6.4.1 Tratamiento de la Impedancia Mutua de Secuencia 0 entre Líneas de Diferente Tensión

En el caso de Líneas de Diferente Tensión sobre los mismos Apoyos resulta necesario analizar la utilización de la Impedancia Mutua de Secuencia 0.

Al existir más de una Tensión en la Red es práctica conveniente expresar las Ecuaciones de Red en pu. Ello repercutía en el establecimiento de las Ecuaciones Locales de Falta.

En las Ecuaciones de la Red Externa a la Falta, la Impedancia Mutua de Secuencia 0 aparece en la Matriz de Impedancia Primitiva y, de aquí, en Z(0,1,2).

En la Matriz de Impedancia Primitiva se utilizarán los valores pu de los Elementos de la Red de cada Tensión, obtenidos dividiendo sus valores en Ohm por la Impedancia Base correspondiente a esa Tensión. La cuestión se presenta al considerar las Impedancias Mutuas de Secuencia 0 entre 2 Líneas de Diferente Tensión. Esta Impedancia Mutua, al igual que en el caso de Líneas de la Misma Tensión, depende exclusivamente de las posiciones de los conductores en el Apoyo y de la Resistividad del Terreno.

Según Apéndice 2:

$$Z_{0m} = 0{,}1482 + j0{,}4341.\log_{10} 93.09 \frac{\sqrt{\rho}}{DGM_{abc,a'b'c'}} \left(\Omega / km\right)$$

$$DGM_{abc,a'b'c'} = \sqrt[9]{D_{11'}.D_{12'}.D_{13'}.D_{21'}.D_{22'}.D_{23'}.D_{31'}.D_{32'}.D_{33'}}$$

El valor resultante de la Fórmula es en Ohm/ km, de forma que las Tensiones inducidas sobre una y otra Línea se deducirían de la forma siguiente, para el caso de un tramo de Línea Doble de L km a Tensiones AT y BT:

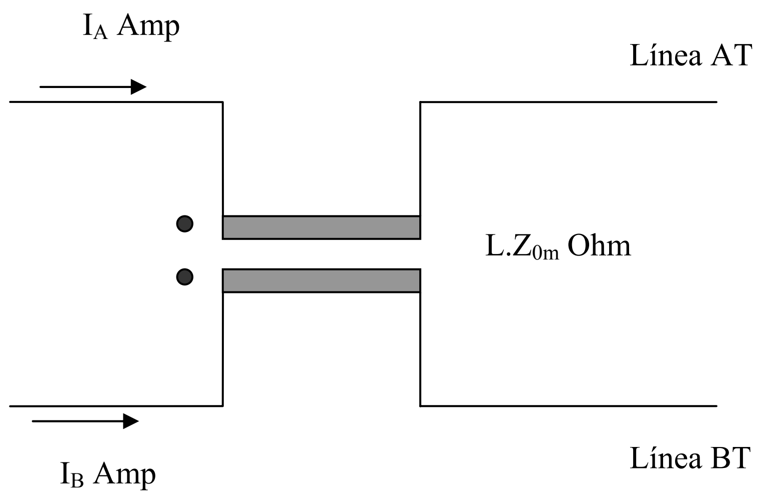



Fig. 3.6.d

$V_A = L.Z_{0m}.I_B$

$V_A$ kV inducidos en el Circuito de AT
L km de Línea
$Z_{0m}$ Ohm/km según Fórmula
$I_B$ kA por Circuito de BT

$V_B = L.Z_{0m}.I_A$

$V_B$ kV inducidos en el Circuito de BT
L km de Línea
$Z_{0m}$ Ohm/km según Fórmula
$I_A$ kA por Circuito de AT

Bases:

$MVA_{base}$

$U_{Abase}$ (kV), $z_{Abase} = \dfrac{(U_{Abase})^2}{MVA_{base}}$ (Ohm)

$U_{Bbase}$ (kV), $z_{Bbase} = \dfrac{(U_{Bbase})^2}{MVA_{base}}$ (Ohm)

Se cumple:

$$V_A = L.Z_{0m}.I_B$$

$$V_{Abase} = z_{Abase}.I_{Abase}$$

$$\frac{V_A}{V_{Abase}} = \frac{L.Z_{0m}.I_B}{z_{Abase}.I_{Abase}}$$

$$V_{Abase}.I_{Abase} = V_{Bbase}.I_{Bbase}$$

$$\frac{V_A}{V_{Abase}} = \frac{L.Z_{0m}.I_B}{z_{Abase}\dfrac{V_{Bbase}.I_{Bbase}}{V_{Abase}}} = \frac{L.Z_{0m}}{\dfrac{(U_{Abase})^2}{MVA_{base}}\dfrac{V_{Bbase}}{V_{Abase}}}\frac{I_B}{I_{Bbase}} = \frac{L.Z_{0m}}{\dfrac{(U_{Abase})^2}{MVA_{base}}\dfrac{U_{Bbase}}{U_{Abase}}}\frac{I_B}{I_{Bbase}}$$

$$\frac{V_A}{V_{Abase}} = \frac{L.Z_{0m}}{\dfrac{U_{Abase}U_{Bbase}}{MVA_{base}}}\frac{I_B}{I_{Bbase}}$$

$$V_A(pu) = \frac{L.Z_{0m}}{\dfrac{U_{Abase}U_{Bbase}}{MVA_{base}}}I_B(pu)$$

Análogamente:

$$V_B\left(pu\right) = \frac{L.Z_{0m}}{\frac{U_{Abase}U_{Bbase}}{MVA_{base}}} I_A\left(pu\right)$$

Por consiguiente, los valores de Impedancia Mutua de Secuencia 0 en Ohm se dividirán por una misma cantidad $\frac{U_{Abase}U_{Bbase}}{MVA_{base}}$ para obtener sus valores a utilizar en pu en los Circuitos de AT y BT , que resultan ser iguales.

Al expresar la Matriz de Impedancia Primitiva en valores pu, en los términos que incluyan Impedancias Mutuas entre Líneas de Tensión Diferente se tendrá en cuenta lo anterior para su evaluación.

3.6.4.2 Disparo Secuencial

Al aparecer una Falta sobre una Línea lo más normal es que no coincidan los instantes de apertura de ambos Extremos. Por ejemplo, si la Falta es vista en 1ª Zona desde un Extremo y en 2ª desde el otro.

La repercusión sobre el Extremo que retrasa consiste en la variación de sus magnitudes de alimentación en Tensión y Corriente y, por tanto, en el caso de la Protección 21 en la distancia medida.

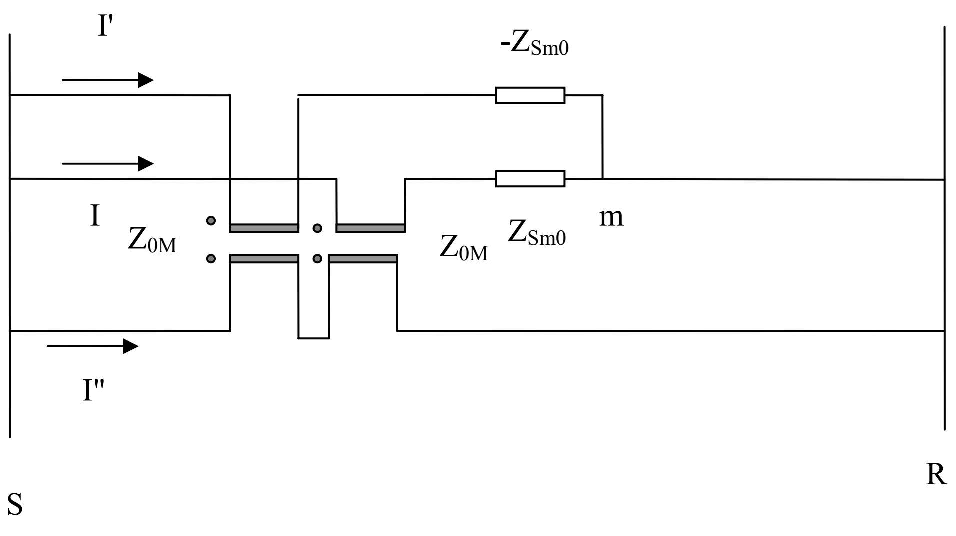
Sea S, salida m la Posición que abre primero.
Dentro del procedimiento general adoptado existen dos métodos de reflejar esta apertura.

- Quitar la Línea Sm, con sus repercusiones sobre las Matrices de Incidencia e Impedancia Primitiva.

- Simular la apertura de Sm con la conexión de una Línea en paralelo, de Impedancia igual y contraria a Sm (0,1,2) y con Mutuas de Secuencia 0 iguales a las de Sm. (Solución adoptada).

Ejemplo:

Secuencia 0:




$V_S - V_m = Z_{Sm0} I + Z_{0M} I''$

$V_S - V_m = -Z_{Sm0} I' + Z_{0M} I''$

$I + I' = 0$ Sin repercusión exterior en S y m.

El efecto sobre SR es nulo.

Secuencias 1 y 2: al no haber Mutua, $Z_{Sm1}$ en paralelo con $-Z_{Sm1}$ es $\infty$.

### 3.6.5 Ecuaciones de la Red Total Externa a la Falta (0,1,2)

Conocidos $Z_0$, $Z_1$, $Z_2$, Matrices de Impedancia de Barras de la Red Total Externa a la Falta (0,1,2), deduciremos las Ecuaciones de la Red Total Externa a la Falta (0,1,2). Estas Ecuaciones constituirán una parte de la Matriz de Cálculo.

En todos los casos:

$$V_{0,1,2} = Z_{0,1,2} I_{0,1,2}$$

$$Z_{0,1,2} = \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{bmatrix}$$

$$I_{0,1,2} = \begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$ = Vector de Corrientes Inyectadas en las Barras (0,1,2)

$I_0$ (n x 1): Valores nulos excepto en las Barras representativas de los Puntos en Falta.
$I_1$ (n x 1): " " " " " " " " " " " "
$I_2$ (n x 1): " " " " " " " " " " " "

$$V_{0,1,2} = \begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$ = Vector de Tensiones Barras-Nudo de Referencia (0,1,2)

$V_0$ (n x 1): Tensiones de Secuencia 0 de las Barras del Sistema, incluidas las de Falta
$V_1$ (n x 1): " " " " " " " " " " " "
$V_2$ (n x 1): " " " " " " " " " " " "

Nudo de Referencia:
Secuencia 0 = Tierra
Secuencia 1 = Punto común entre E y las Impedancias de Generadores
Secuencia 2 = Neutro

A continuación utilizaremos Z(0,1,2) de los diversos casos y obtendremos las Ecuaciones de la Red Total Externa a la Falta correspondientes.

3.6.5.1 <u>Línea Doble SR: Falta Simple (m)</u>

Secuencia 0 :

Vector de Corriente Inyectada:

$$I_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ \dots \\ -I_{m0} \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$Z_0 . I_0 = V_0$$

Nudo de Referencia de $V_0$ = Tierra

$$\begin{bmatrix} Z_0(1,1) & \dots & Z_0(1,m) & \dots & Z_0(1,n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_0(m,1) & \dots & Z_0(m,m) & \dots & Z_0(m,n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_0(n,1) & \dots & Z_0(n,m) & \dots & Z_0(n,n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \dots \\ -I_{m0} \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{10} \\ \dots \\ V_{m0} \\ \dots \\ V_{n0} \end{bmatrix}$$

$$Z_0(m,m).(-I_{m0}) = V_{m0}$$

$\boxed{Z_0(m,m) I_{m0} + V_{m0} = 0}$ Ecuación a incorporar a la Matriz de Cálculo

Secuencia 1 :

Vector de Corriente Inyectada:

$$I_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ ... \\ -I_{m1} \\ ... \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$Z_1 . I_1 = \left(V_1\right)_I$$

$\left(V_1\right)_I$ = Tensiones de Barras en el Régimen I

Régimen I = Régimen de Cortocircuito a superponer al Previo a la Falta

Nudo de Referencia de $\left(V_1\right)_I$ = Punto común a las Impedancias de Generadores

Régimen Previo a la Falta = Régimen II (Corrientes = 0, Tensiones de Barras = E)

Régimen de Falta = Régimen I + Régimen II

$V_1$ = Tensiones de Barras en el Régimen de Falta

Nudo de Referencia de $V_1$ = Neutro del Sistema

$$V_1 = \left(V_1\right)_I + E$$

$$\begin{bmatrix} Z_1(1,1) & ... & Z_1(1,m) & ... & Z_1(1,n) \\ ... & ... & ... & ... & ... \\ Z_1(m,1) & ... & Z_1(m,m) & ... & Z_1(m,n) \\ ... & ... & ... & ... & ... \\ Z_1(n,1) & ... & Z_1(n,m) & ... & Z_1(n,n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ ... \\ -I_{m1} \\ ... \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{11} \\ ... \\ V_{m1} \\ ... \\ V_{n1} \end{bmatrix}_I$$

$$Z_1(m,m).\left(-I_{m1}\right) = \left(V_{m1}\right)_I$$

$$\begin{bmatrix} V_{11} \\ ... \\ V_{m1} \\ ... \\ V_{n1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{11} \\ ... \\ V_{m1} \\ ... \\ V_{n1} \end{bmatrix}_I + \begin{bmatrix} E \\ ... \\ E \\ ... \\ E \end{bmatrix}$$

$$V_{m1} = \left(V_{m1}\right)_I + E$$

$$V_{m1} = Z_1\left(m,m\right).\left(-I_{m1}\right) + E$$

$\boxed{Z_1\left(m,m\right) I_{m1} + V_{m1} = E}$ Ecuación a incorporar a la Matriz de Cálculo

Secuencia 2 :

Vector de Corriente Inyectada:

$$I_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ ... \\ -I_{m2} \\ ... \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$Z_2.I_2 = V_2$$

Nudo de Referencia de $V_2$ = Neutro del Sistema

$$\begin{bmatrix} Z_2(1,1) & ... & Z_2(1,m) & ... & Z_2(1,n) \\ ... & ... & ... & ... & ... \\ Z_2(m,1) & ... & Z_2(m,m) & ... & Z_2(m,n) \\ ... & ... & ... & ... & ... \\ Z_2(n,1) & ... & Z_2(n,m) & ... & Z_2(n,n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ ... \\ -I_{m2} \\ ... \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{12} \\ ... \\ V_{m2} \\ ... \\ V_{n2} \end{bmatrix}$$

$$Z_2(m,m).(-I_{m2}) = V_{m2}$$

$\boxed{Z_2(m,m).I_{m2} + V_{m2} = 0}$ Ecuación a incorporar a la Matriz de Cálculo

### 3.6.5.2 Línea Doble: Falta Doble ó Falta Intercircuito entre Líneas de Igual o Diferente Tensión

Si las Líneas son de Igual Tensión los valores de Z(0,1,2) pueden venir en Ohm o pu indistintamente.

Sin embargo, si las Líneas son de Diferente Tensión los valores de Z(0,1,2) estarán normalmente en pu (3.3.4), y por tanto las Matrices de Impedancia Primitiva vendrán también en pu.

Secuencia 0 :

Vector de Corriente Inyectada:

$$I_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ \ldots \\ -I_{m0} \\ \ldots \\ -I_{p0} \\ \ldots \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$Z_0.I_0 = V_0$$

Nudo de Referencia de $V_0$ = Tierra

$$\begin{bmatrix} Z_0(1,1) & \ldots & Z_0(1,m) & \ldots & Z_0(1,p) & \ldots & Z_0(1,n) \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ Z_0(m,1) & \ldots & Z_0(m,m) & \ldots & Z_0(m,p) & \ldots & Z_0(m,n) \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ Z_0(p,1) & \ldots & Z_0(p,m) & \ldots & Z_0(p,p) & \ldots & Z_0(p,n) \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ Z_0(n,1) & \ldots & Z_0(n,m) & \ldots & Z_0(n,p) & \ldots & Z_0(n,n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \ldots \\ -I_{m0} \\ \ldots \\ -I_{p0} \\ \ldots \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{10} \\ \ldots \\ V_{m0} \\ \ldots \\ V_{p0} \\ \ldots \\ V_{n0} \end{bmatrix}$$

$$Z_0(m,m).(-I_{m0}) + Z_0(m,p).(-I_{p0}) = V_{m0}$$

$$Z_0(p,m).(-I_{m0}) + Z_0(p,p).(-I_{p0}) = V_{p0}$$

$\boxed{Z_0(m,m)I_{m0} + V_{m0} + Z_0(m,p)I_{p0} = 0}$ Ecuación a incorporar a la Matriz de Cálculo

$\boxed{Z_0(p,m)I_{m0} + Z_0(p,p)I_{p0} + V_{p0} = 0}$ Ecuación a incorporar a la Matriz de Cálculo

Secuencia 1 :

Vector de Corriente Inyectada:

$$I_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ \dots \\ -I_{m1} \\ \dots \\ -I_{p1} \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$Z_1.I_1 = (V_1)_I$$

Nudo de Referencia de $(V_1)_I$ = Punto común a las Impedancias de Generadores

$$V_1 = (V_1)_I + E$$

Nudo de Referencia de $V_1$ = Neutro del Sistema

$$\begin{bmatrix} Z_1(1,1) & \dots & Z_1(1,m) & \dots & Z_1(1,p) & \dots & Z_1(1,n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_1(m,1) & \dots & Z_1(m,m) & \dots & Z_1(m,p) & \dots & Z_1(m,n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_1(p,1) & \dots & Z_1(p,m) & \dots & Z_1(p,p) & \dots & Z_1(p,n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_1(n,1) & \dots & Z_1(n,m) & \dots & Z_1(n,p) & \dots & Z_1(n,n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \dots \\ -I_{m1} \\ \dots \\ -I_{p1} \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{11} \\ \dots \\ V_{m1} \\ \dots \\ V_{p1} \\ \dots \\ V_{n1} \end{bmatrix}_I$$

$$Z_1(m,m).(-I_{m1}) + Z_1(m,p).(-I_{p1}) = (V_{m1})_I$$

$$Z_1(p,m).(-I_{m1}) + Z_1(p,p).(-I_{p1}) = (V_{p1})_I$$

$$\begin{bmatrix} V_{11} \\ \dots \\ V_{m1} \\ \dots \\ V_{p1} \\ \dots \\ V_{n1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{11} \\ \dots \\ V_{m1} \\ \dots \\ V_{p1} \\ \dots \\ V_{n1} \end{bmatrix}_I + \begin{bmatrix} E \\ \dots \\ E \\ \dots \\ E \\ \dots \\ E \end{bmatrix}$$

$$V_{m1} = \left(V_{m1}\right)_I + E$$

$$V_{p1} = \left(V_{p1}\right)_I + E$$

$\boxed{Z_1\left(m,m\right)I_{m1} + V_{m1} + Z_1\left(m,p\right)I_{p1} = E}$ Ecuación a incorporar a la Matriz de Cálculo

$\boxed{Z_1\left(p,m\right)I_{m1} + Z_1\left(p,p\right)I_{p1} + V_{p1} = E}$ Ecuación a incorporar a la Matriz de Cálculo

Secuencia 2 :

Vector de Corriente Inyectada:

$$I_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ ... \\ -I_{m2} \\ ... \\ -I_{p2} \\ ... \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$Z_2.I_2 = V_2$$

Nudo de Referencia de $V_2$ = Neutro del Sistema

$$\begin{bmatrix} Z_2(1,1) & ... & Z_2(1,m) & ... & Z_2(1,p) & ... & Z_2(1,n) \\ ... & ... & ... & ... & ... & ... & ... \\ Z_2(m,1) & ... & Z_2(m,m) & ... & Z_2(m,p) & ... & Z_2(m,n) \\ ... & ... & ... & ... & ... & ... & ... \\ Z_2(p,1) & ... & Z_2(p,m) & ... & Z_2(p,p) & ... & Z_2(p,n) \\ ... & ... & ... & ... & ... & ... & ... \\ Z_2(n,1) & ... & Z_2(n,m) & ... & Z_2(n,p) & ... & Z_2(n,n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ ... \\ -I_{m2} \\ ... \\ -I_{p2} \\ ... \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{12} \\ ... \\ V_{m2} \\ ... \\ V_{p2} \\ ... \\ V_{n2} \end{bmatrix}$$

$$Z_2(m,m).(-I_{m2}) + Z_2(m,p).(-I_{p2}) = V_{m2}$$

$$Z_2(p,m).(-I_{m2}) + Z_2(p,p).(-I_{p2}) = V_{p2}$$

$\boxed{Z_2(m,m)I_{m2} + V_{m2} + Z_2(m,p)I_{p2} = 0}$ Ecuación a incorporar a la Matriz de Cálculo

$\boxed{Z_2(p,m)I_{m2} + Z_2(p,p)I_{p2} + V_{p2} = 0}$ Ecuación a incorporar a la Matriz de Cálculo

### 3.6.5.3 Línea Doble SR: Falta Simple (m), sobre un Circuito, estando el otro abierto y Puesto a Tierra en ambos Extremos

Como hemos anticipado, este caso implica consideraciones especiales en el establecimiento de la Matriz de Impedancia Primitiva, parte del proceso de obtención de Z(0,1,2).

Obtención de Z(0,1,2)

Se efectúa sobre el Sistema Equivalente a la Red Total Externa a la Falta el Procedimiento siguiente

Secuencias 1,2:

- Ignorar la presencia de la Línea puesta a Tierra por ambos Extremos.

- Numerar las Barras (n), incluyéndose el Punto en Falta m como nueva Barra

  Nudo de Referencia:
  Secuencia 1 = Punto común de las Impedancias de Generadores
  Secuencia 2 = Neutro

- Numerar y Orientar los Elementos (e)

- Obtención de la Matriz de Incidencia Elemento-Barra (exn), Minc(1,2)

- Obtención de la Matriz de Impedancia Primitiva (exe), $z_e$(1,2)

- Obtención de la Matriz de Admitancia de Barras (nxn), Y(1,2)

$$Y = M_{inc}^{t} y_e M_{inc}$$

$M_{inc}$ = Matriz de Incidencia Elemento-Barra (e x n)

$z_e$ = Matriz Primitiva de Impedancia (Elemento-Elemento), ( e x e Diagonal)

$y_e$ = Matriz Primitiva de Admitancia (Elemento-Elemento), (nxn) $y_e = z_e^{-1}$

- Obtención de la Matriz de Impedancia de Barras Z(1,2).

$$Z = Y^{-1} = \left(M_{inc}^{t} y_e M_{inc}\right)^{-1} \quad \text{(nxn)}$$

Secuencia 0:

Ignorar la presencia de la Línea puesta a Tierra por ambos Extremos en los puntos siguientes:

- Numerar las Barras (n), incluyéndose el Punto en Falta m como nueva Barra

  Nudo de Referencia: Tierra

- Numerar y Orientar los Elementos (e)

- Obtención de la Matriz de Incidencia Elemento-Barra (exn), Minc(0)

Considerar ahora la Red completa incluyendo la Línea puesta a Tierra en ambos Extremos.

- Obtención de la Matriz de Impedancia Primitiva

$$\begin{bmatrix} V_{e0} \\ - \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_0 & | & N_0 \\ - & - & - \\ P_0 & | & Q_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{e0} \\ - \\ I_{t0} \end{bmatrix}$$

$M_0$ = Matriz de Impedancia Primitiva, Secuencia 0, prescindiendo de la Línea Puesta a Tierra
$I_{t0}$ = Corriente que circula por la Línea puesta a Tierra

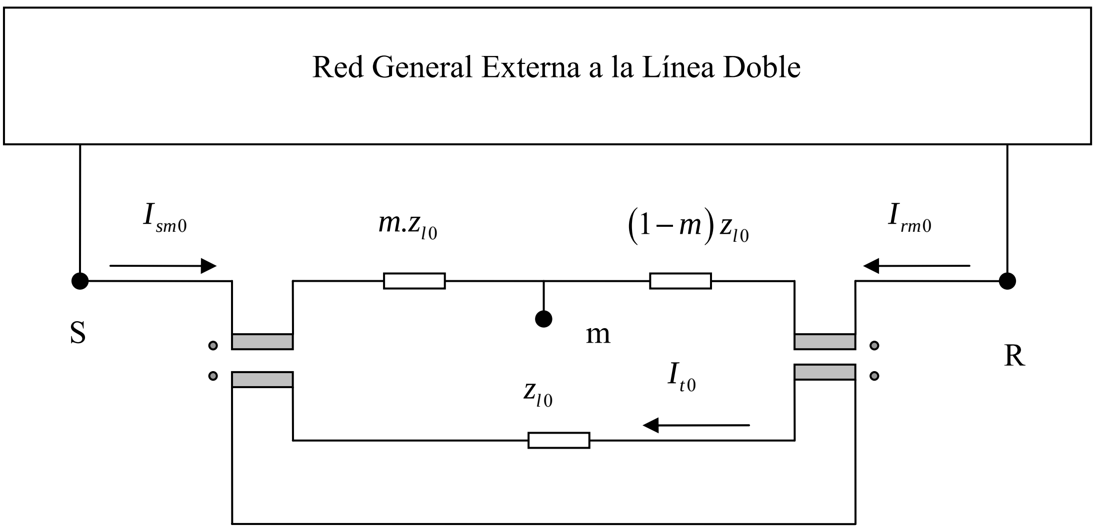



Fig. 3.6.e

$$V_{S0} - V_{m0} = m.z_{l0}.I_{sm0} - m.z_{Ml0}.I_{t0}$$
$$V_{R0} - V_{m0} = (1-m).z_{l0}.I_{rm0} + (1-m).z_{Ml0}.I_{t0}$$
$$0 = -m.z_{Ml0}.I_{sm0} + (1-m).z_{Ml0}.I_{rm0} + z_{l0}I_{t0}$$

$$\begin{bmatrix} \cdots \\ V_{S0}-V_{m0} \\ \cdots \\ V_{R0}-V_{m0} \\ \cdots \\ -- \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & | & 0 \\ 0 & m.z_{l0} & 0 & 0 & 0 & | & -m.z_{Ml0} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & | & 0 \\ 0 & 0 & 0 & (1-m)z_{l0} & 0 & | & (1-m)z_{Ml0} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & | & 0 \\ - & - & - & - & - & - & - \\ 0 & -m.z_{Ml0} & 0 & (1-m)z_{Ml0} & 0 & | & z_{l0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cdots \\ I_{sm0} \\ \cdots \\ I_{rm0} \\ \cdots \\ -- \\ I_{t0} \end{bmatrix}$$

Donde se aprecian $M_{0,}N_0, P_0, Q_0$.

Volviendo a la expresión general:

$$\begin{bmatrix} V_{e0} \\ - \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_0 & | & N_0 \\ - & - & - \\ P_0 & | & Q_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{e0} \\ - \\ I_{t0} \end{bmatrix}$$

$$V_{e0} = M_0 I_{e0} + N_0 I_{t0}$$

$$0 = P_0 I_{e0} + Q_0 I_{t0}$$

$$V_{e0} = M_0 I_{e0} + N_0\left(-Q_0^{-1} P_0 I_{e0}\right) = \left(M_0 - N_0 Q_0^{-1} P_0\right) I_{e0}$$

$$V_{e0} = z_{e0} I_{e0}$$

siendo $z_{e0}$ la Matriz de Impedancia Primitiva, Secuencia 0, que liga las Tensiones y Corrientes de los Elementos de la Red, sin la Línea Puesta a Tierra por ambos Extremos, aunque si se refleja su influencia.

$$z_{e0} = M_0 - N_0 Q_0^{-1} P_0$$

$$y_{e0} = z_{e0}^{-1}$$

- Obtención de la Matriz de Admitancia de Barras de Secuencia 0 (nxn)

$$Y_0 = M_{inc}^t y_{e0} M_{inc}$$

$M_{inc0}$ = Matriz de Incidencia Elemento-Barra (e x n)

- Obtención de la Matriz de Impedancia de Barras Z(0).

$$Z_0 = Y_0^{-1} = \left(M_{inc0}^t y_{e0} M_{inc0}\right)^{-1} \quad \text{(nxn)}$$

A continuación se procede análogamente al caso de Falta Simple.

Secuencia 0 :

Vector de Corriente Inyectada:

$$I_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ \dots \\ -I_{m0} \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$Z_0.I_0 = V_0$$

Nudo de Referencia de $V_0$ = Tierra

$$\begin{bmatrix} Z_0(1,1) & \dots & Z_0(1,m) & \dots & Z_0(1,n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_0(m,1) & \dots & Z_0(m,m) & \dots & Z_0(m,n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_0(n,1) & \dots & Z_0(n,m) & \dots & Z_0(n,n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \dots \\ -I_{m0} \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{10} \\ \dots \\ V_{m0} \\ \dots \\ V_{n0} \end{bmatrix}$$

$$Z_0(m,m).(-I_{m0}) = V_{m0}$$

$\boxed{Z_0(m,m)\,I_{m0} + V_{m0} = 0}$ Ecuación a incorporar a la Matriz de Cálculo

Secuencia 1 :

Vector de Corriente Inyectada:

$$I_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ \dots \\ -I_{m1} \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$Z_1.I_1 = (V_1)_I$$

$(V_1)_I$ = Tensiones de Barras en el Régimen I

Régimen I = Régimen de Cortocircuito a superponer al Previo a la Falta

Nudo de Referencia de $(V_1)_I$ = Punto común a las Impedancias de Generadores

Régimen Previo a la Falta = Régimen II (Corrientes = 0, Tensiones de Barras = E)

Régimen de Falta = Régimen I + Régimen II

$V_1 =$ Tensiones de Barras en el Régimen de Falta

Nudo de Referencia de $V_1$ = Neutro del Sistema

$$V_1 = \left(V_1\right)_I + E$$

$$\begin{bmatrix} Z_1(1,1) & \cdots & Z_1(1,m) & \cdots & Z_1(1,n) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ Z_1(m,1) & \cdots & Z_1(m,m) & \cdots & Z_1(m,n) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ Z_1(n,1) & \cdots & Z_1(n,m) & \cdots & Z_1(n,n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \cdots \\ -I_{m1} \\ \cdots \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{11} \\ \cdots \\ V_{m1} \\ \cdots \\ V_{n1} \end{bmatrix}_I$$

$$Z_1(m,m).\left(-I_{m1}\right) = \left(V_{m1}\right)_I$$

$$\begin{bmatrix} V_{11} \\ \cdots \\ V_{m1} \\ \cdots \\ V_{n1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{11} \\ \cdots \\ V_{m1} \\ \cdots \\ V_{n1} \end{bmatrix}_I + \begin{bmatrix} E \\ \cdots \\ E \\ \cdots \\ E \end{bmatrix}$$

$$V_{m1} = \left(V_{m1}\right)_I + E$$

$$V_{m1} = Z_1(m,m).\left(-I_{m1}\right) + E$$

$\boxed{Z_1(m,m)\, I_{m1} + V_{m1} = E}$ Ecuación a incorporar a la Matriz de Cálculo

Secuencia 2 :

Vector de Corriente Inyectada:

$$I_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ ... \\ -I_{m2} \\ ... \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$Z_2.I_2 = V_2$$

Nudo de Referencia de $V_2$ = Neutro del Sistema

$$\begin{bmatrix} Z_2(1,1) & ... & Z_2(1,m) & ... & Z_2(1,n) \\ ... & ... & ... & ... & ... \\ Z_2(m,1) & ... & Z_2(m,m) & ... & Z_2(m,n) \\ ... & ... & ... & ... & ... \\ Z_2(n,1) & ... & Z_2(n,m) & ... & Z_2(n,n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ ... \\ -I_{m2} \\ ... \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{12} \\ ... \\ V_{m2} \\ ... \\ V_{n2} \end{bmatrix}$$

$$Z_2(m,m).(-I_{m2}) = V_{m2}$$

$\boxed{Z_2(m,m).I_{m2} + V_{m2} = 0}$ Ecuación a incorporar a la Matriz de Cálculo

3.6.5.4 Línea Triple: Falta Triple entre Líneas de Igual Tensión

Secuencia 0 :

Vector de Corriente Inyectada:

$$I_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ \cdots \\ -I_{m0} \\ -I_{p0} \\ -I_{qo} \\ \cdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$Z_0.I_0 = V_0$$

Nudo de Referencia de $V_0$ = Tierra

$$\begin{bmatrix} Z_0(1,1) & \cdots & Z_0(1,m) & Z_0(1,p) & Z_0(1,q) & \cdots & Z_0(1,n) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ Z_0(m,1) & \cdots & Z_0(m,m) & Z_0(m,p) & Z_0(m,q) & \cdots & Z_0(m,n) \\ Z_0(p,1) & \cdots & Z_0(p,m) & Z_0(p,p) & Z_0(p,q) & \cdots & Z_0(p,n) \\ Z_0(q,1) & \cdots & Z_0(q,m) & Z_0(q,p) & Z_0(q,q) & \cdots & Z_0(q,n) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ Z_0(n,1) & \cdots & Z_0(n,m) & Z_0(n,p) & Z_0(n,q) & \cdots & Z_0(n,n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \cdots \\ -I_{m0} \\ -I_{p0} \\ -I_{q0} \\ \cdots \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{10} \\ \cdots \\ V_{m0} \\ V_{p0} \\ V_{q0} \\ \cdots \\ V_{n0} \end{bmatrix}$$

$$Z_0(m,m).(-I_{m0}) + Z_0(m,p).(-I_{p0}) + Z_0(m,q).(-I_{q0}) = V_{m0}$$

$$Z_0(p,m).(-I_{m0}) + Z_0(p,p).(-I_{p0}) + Z_0(p,q).(-I_{q0}) = V_{p0}$$

$$Z_0(q,m).(-I_{m0}) + Z_0(q,p).(-I_{p0}) + Z_0(q,q).(-I_{q0}) = V_{q0}$$

Ecuaciones a incorporar a la Matriz de Cálculo:

$$\boxed{Z_0(m,m)I_{m0} + V_{m0} + Z_0(m,p)I_{p0} + Z_0(m,q)I_{q0} = 0}$$

$$\boxed{Z_0(p,m)I_{m0} + Z_0(p,p)I_{p0} + V_{p0} + Z_0(p,q)I_{q0} = 0}$$

$$\boxed{Z_0(q,m)I_{m0} + Z_0(q,p)I_{p0} + Z_0(q,q)I_{q0} + V_{q0} = 0}$$

Secuencia 1 :

Vector de Corriente Inyectada:

$$I_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ \dots \\ -I_{m1} \\ -I_{p1} \\ -I_{q1} \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$Z_1.I_1 = (V_1)_I$$

Nudo de Referencia de $(V_1)_I$ = Punto común a las Impedancias de Generadores

$$V_1 = (V_1)_I + E$$

Nudo de Referencia de $V_1$ = Neutro del Sistema

$$\begin{bmatrix} Z_1(1,1) & \dots & Z_1(1,m) & Z_1(1,p) & Z_1(1,q) & \dots & Z_1(1,n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_1(m,1) & \dots & Z_1(m,m) & Z_1(m,p) & Z_1(m,q) & \dots & Z_1(m,n) \\ Z_1(p,1) & \dots & Z_1(p,m) & Z_1(p,p) & Z_1(p,q) & \dots & Z_1(p,n) \\ Z_1(q,1) & \dots & Z_1(q,m) & Z_1(q,p) & Z_1(q,q) & \dots & Z_1(q,n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_1(n,1) & \dots & Z_1(n,m) & Z_1(n,p) & Z_1(n,q) & \dots & Z_1(n,n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \dots \\ -I_{m1} \\ -I_{p1} \\ -I_{q1} \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{11} \\ \dots \\ V_{m1} \\ V_{p1} \\ V_{q1} \\ \dots \\ V_{n1} \end{bmatrix}_I$$

$$Z_1(m,m).(-I_{m1}) + Z_1(m,p).(-I_{p1}) + Z_1(m,q).(-I_{q1}) = (V_{m1})_I$$

$$Z_1(p,m).(-I_{m1}) + Z_1(p,p).(-I_{p1}) + Z_1(p,q).(-I_{q1}) = (V_{p1})_I$$

$$Z_1(q,m).(-I_{m1}) + Z_1(q,p).(-I_{p1}) + Z_1(q,q).(-I_{q1}) = (V_{q1})_I$$

$$\begin{bmatrix} V_{11} \\ \ldots \\ V_{m1} \\ V_{p1} \\ V_{q1} \\ \ldots \\ V_{n1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{11} \\ \ldots \\ V_{m1} \\ V_{p1} \\ V_{q1} \\ \ldots \\ V_{n1} \end{bmatrix}_I + \begin{bmatrix} E \\ \ldots \\ E \\ E \\ E \\ \ldots \\ E \end{bmatrix}$$

$$V_{m1} = \left(V_{m1}\right)_I + E$$

$$V_{p1} = \left(V_{p1}\right)_I + E$$

$$V_{q1} = \left(V_{q1}\right)_I + E$$

Ecuaciones a incorporar a la Matriz de Cálculo:

$$\boxed{Z_1\left(m,m\right)I_{m1} + V_{m1} + Z_1\left(m,p\right)I_{p1} + Z_1\left(m,q\right)I_{q1} = E}$$

$$\boxed{Z_1\left(p,m\right)I_{m1} + Z_1\left(p,p\right)I_{p1} + V_{p1} + Z_1\left(p,q\right)I_{q1} = E}$$

$$\boxed{Z_1\left(q,m\right)I_{m1} + Z_1\left(q,p\right)I_{p1} + Z_1\left(q,q\right)I_{q1} + V_{q1} = E}$$

Secuencia 2 :

Vector de Corriente Inyectada:

$$I_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ \dots \\ -I_{m2} \\ -I_{p2} \\ -I_{q2} \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$Z_2.I_2 = V_2$$

Nudo de Referencia de $V_2$ = Neutro del Sistema

$$\begin{bmatrix} Z_2(1,1) & \dots & Z_2(1,m) & Z_2(1,p) & Z_2(1,q) & \dots & Z_2(1,n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_2(m,1) & \dots & Z_2(m,m) & Z_2(m,p) & Z_2(m,q) & \dots & Z_2(m,n) \\ Z_2(p,1) & \dots & Z_2(p,m) & Z_2(p,p) & Z_2(p,q) & \dots & Z_2(p,n) \\ Z_2(q,1) & \dots & Z_2(q,m) & Z_2(q,p) & Z_2(q,q) & \dots & Z_2(q,n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_2(n,1) & \dots & Z_2(n,m) & Z_2(n,p) & Z_2(n,q) & \dots & Z_2(n,n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \dots \\ -I_{m2} \\ -I_{p2} \\ -I_{q2} \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{12} \\ \dots \\ V_{m2} \\ V_{p2} \\ V_{q2} \\ \dots \\ V_{n2} \end{bmatrix}$$

$$Z_2(m,m).(-I_{m2}) + Z_2(m,p).(-I_{p2}) + Z_2(m,q).(-I_{q2}) = V_{m2}$$

$$Z_2(p,m).(-I_{m2}) + Z_2(p,p).(-I_{p2}) + Z_2(p,q).(-I_{q2}) = V_{p2}$$

$$Z_2(q,m).(-I_{m2}) + Z_2(q,p).(-I_{p2}) + Z_2(q,q).(-I_{q2}) = V_{q2}$$

Ecuaciones a incorporar a la Matriz de Cálculo:

$$\boxed{Z_2(m,m)I_{m2} + V_{m2} + Z_2(m,p)I_{p2} + Z_2(m,q)I_{q2} = 0}$$

$$\boxed{Z_2(p,m)I_{m2} + Z_2(p,p)I_{p2} + V_{p2} + Z_2(p,q)I_{q2} = 0}$$

$$\boxed{Z_2(q,m)I_{m2} + Z_2(q,p)I_{p2} + Z_2(q,q)I_{q2} + V_{q2} = 0}$$