CLASE AUXILIAR 23 DE AGOSTO DE 2010– EL605

Prof.: Agustín León T.
Aux.: Pablo Medina C.[1]

Las fases abiertas pueden ocurrir, entre otros casos, cuando:

- Un conductor se corta, ya sea por un accidente, eventos climáticos o actos vandálicos.
- Falla en el cierre de un interruptor o desconectador.
- Operación por una sobrecorriente de un fusible en media tensión o apertura de este por un operador.

Para modelar el sistema, se utiliza una forma general como la de la Figura 1:

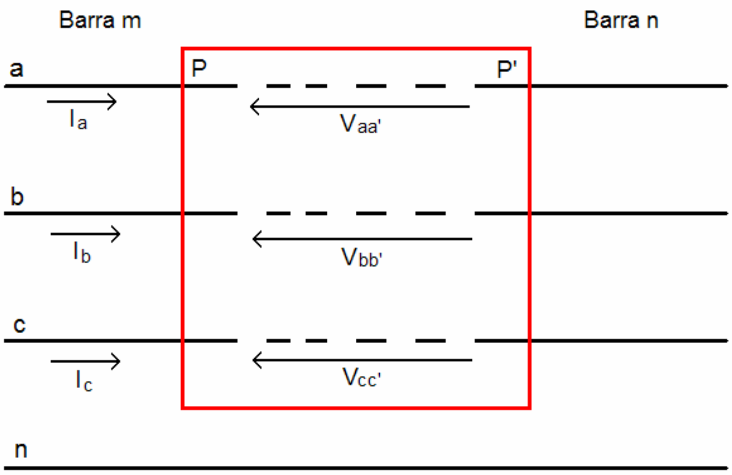

Figura 1: Modelo utilizado para fases abiertas.

La Figura 1 es similar al modelo de los “chicotes” utilizado para fallas de cortocircuito. De hecho, los puntos p y p’ son “barras virtuales”, las cuales se conectan de manera conveniente para dar cuenta del tipo de falla que se quiera calcular.

Para efectos de cálculos es conveniente suponer que:

- Es la fase “a” la que está abierta cuando se tiene el caso de “una fase abierta”.
- Son las fases “b” y “c” las que están abiertas cuando se tiene el caso de “dos fases abiertas”.

Lo anterior es para evitar que en las expresiones de corrientes y voltajes aparezcan los términos a y a^2.

¿Qué datos se necesitan?

- Impedancias de secuencia de la línea: Z_1, Z_2, Z_0.
- El modelo del resto del SEP visto desde la barra m:
    - $Z_m^{(1)}, Z_m^{(2)}, Z_m^{(0)}$.
    - V_m , que es la FEM de secuencia positiva tras $Z_m^{(1)}$.
- El modelo del resto del SEP visto desde la barra n:

[1] Le agradezco la cooperación a Nicolás López, quien transcribió esta clase.

- $Z_n^{(1)}, Z_n^{(2)}, Z_n^{(0)}$.
- V_n , que es la FEM de secuencia positiva tras $Z_n^{(1)}$.

Nunca se sabe en qué lugar se puede cortar una línea: se puede cortar en la mitad, al principio o al final, o en cualquier punto, pero es claro que un corte define dos porciones: una que corresponde a una fracción k del largo total de la línea, y la otra que es una fracción $(1-k)$ de largo total. Dado el modelo elegido se tendrá que $k \in [0,1]$.

Una línea cortada se representa como muestra la Figura 2. En esta figura se muestra la secuencia positiva, pero se modela de la misma manera en las otras secuencias.

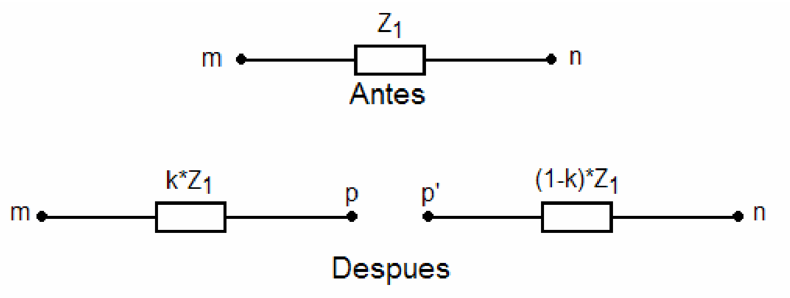

Figura 2: Fraccionamiento de una línea.

¿Cómo modelar la falla?

Antes que todo, se debe representar el sistema "visto" desde p y p', nuestras barras virtuales que se deben conectar de buena manera.

En la figura 3 se presenta la secuencia positiva del sistema. Para las otras mallas se procede de igual forma, pero siempre recordando que no existen fuentes de secuencia negativa y cero, y teniendo presente cómo están conectados los generadores y transformadores (delta, estrella, estrella aterrizada).

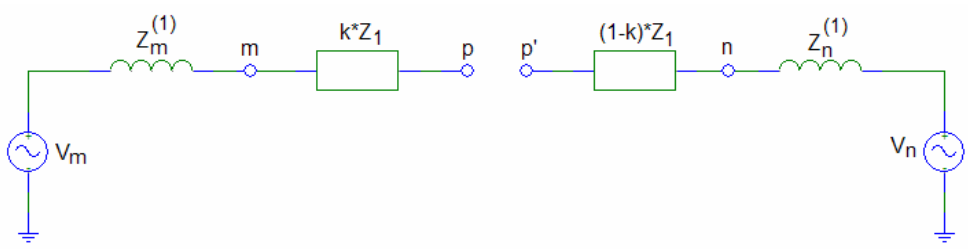

Figura 3: Secuencia positiva de una línea con una fase cortada.

En términos de operatoria, la conexión de p y p' se realiza *mediante las ecuaciones de Fortescue*, dependiendo de la falla que se quiera modelar.

a) Una fase abierta

Si la fase a está abierta, el voltaje $V_{aa'}$ (ver Figura 1) es distinto de cero (valor a determinar), mientras que las fases sanas cumplen que $V_{bb'}$ y $V_{cc'}$ son iguales a cero ya estos puntos están cortocircuitados. Así, la ecuación matricial que expresa los voltajes de las diferentes secuencias para la fase "a" se puede expresar de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} V_{aa'}^{(1)} \\ V_{aa'}^{(2)} \\ V_{aa'}^{(0)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_{aa'} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow V_{aa'}^{(1)} = V_{aa'}^{(2)} = V_{aa'}^{(0)} = \frac{1}{3} \cdot V_{aa'} \quad (1)$$

De igual forma, es posible calcular las corrientes de las tres secuencias en las fases sanas de manera similar.

$$\begin{bmatrix} 0 \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{aa'}^{(1)} \\ I_{aa'}^{(2)} \\ I_{aa'}^{(0)} \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow \quad I_{aa'}^{(1)} + I_{aa'}^{(2)} + I_{aa'}^{(0)} = 0 \quad (2)$$

De las ecuaciones (1) y (2) se puede concluir que las mallas de secuencia deben estar conectadas en paralelo, tal como muestra la figura 4.

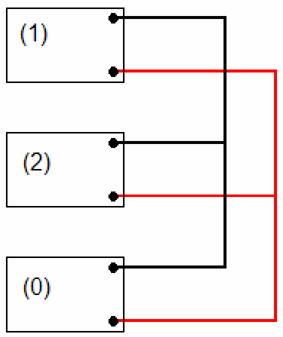

Figura 4: Conexión paralela de las secuencias de la fase “a”.

Si utilizamos la modelación del SEP, el problema queda como se puede ver en la Figura 5:

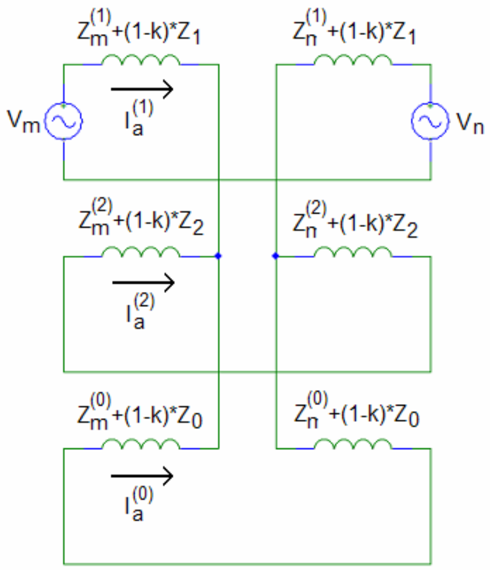

Figura 5: Resolución del problema mediante la modelación del SEP.

Nótese que las mallas de secuencias negativa y cero están en paralelo. Así, el circuito simplificado se muestra en la figura 6.

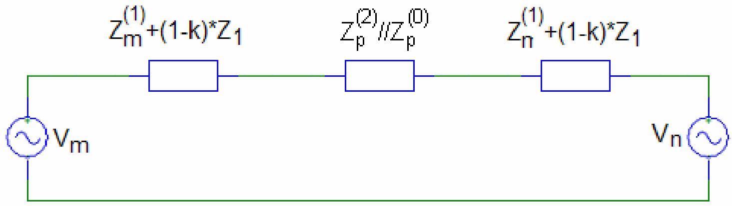

Figura 6: Circuito simplificado de la modelación del SEP.

Donde:

- $Z_p^{(0)} = Z_m^{(0)} + Z_n^{(0)} + Z_0$
- $Z_p^{(2)} = Z_m^{(2)} + Z_n^{(2)} + Z_2$

¿Cuánto valen V_m y V_n? Estos valores se determinan del análisis del sistema previo a la falla.

b) Caso dos fases abiertas

El análisis es análogo al caso de una fase abierta, por lo que iremos directamente a las ecuaciones matriciales.

$$\begin{bmatrix} I_a^{(1)} \\ I_a^{(2)} \\ I_a^{(0)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow I_a^{(1)} = I_a^{(2)} = I_a^{(0)} = \frac{1}{3} \cdot I_a \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ V_{bb'} \\ V_{cc'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_{aa'} \\ V_{bb'} \\ V_{cc'} \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow V_{aa'} + V_{bb'} + V_{cc'} = 0 \quad (4)$$

A partir de las ecuaciones (3) y (4) se puede concluir que las mallas de secuencias deben estar conectadas en serie, tal y como lo muestra la figura 7.

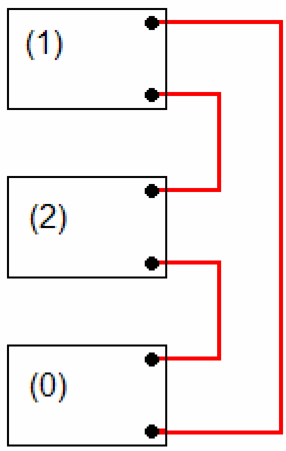

Figura 7: Conexión en serie de las secuencias.

El resto de la resolución del problema es totalmente análogo al ejercicio previamente realizado.