



5. ESTUDIO DE SISTEMAS (III): CORTOCIRCUITOS

1 MATRIZ DE IMPEDANCIAS DE NUDO

La matriz de impedancias de nudo no es más que la inversa de la matriz de admitancias de los nudos de la red:

$$[\bar{Z}] = [\bar{Y}]^{-1}$$

Esta inversión es relativamente costosa en términos computacionales pero ya no es un problema calcularla hoy día. En todos los libros de Álgebra se explican las técnicas para hacerlo y en manuales de cálculo por ordenador aparecen algoritmos que lo resuelven. Estos algoritmos están implementados en no pocas aplicaciones de más alto nivel como *Mathematica*TM o en el paquete de programación *R*, entre otros.

La utilidad de esta nueva matriz reside en que cada término de su diagonal principal es la impedancia de THÉVENIN de toda la red vista desde el nudo al que dicho término se refiere. Así, la impedancia de THÉVENIN del nudo k es el término \bar{Z}_{kk} de la diagonal de la matriz de impedancias de toda la red.

2 CORTOCIRCUITOS TRIFÁSICOS EQUILIBRADOS

Un caso particular de flujo de cargas es el que se produce en caso de cortocircuito trifásico franco, que es equilibrado. Es sencillo calcular la máxima intensidad de cortocircuito trifásico en un nudo de una determinada red de la que ya se conoce su matriz de admitancias:

- Hay que comenzar invirtiendo la matriz de admitancias para obtener la matriz de impedancias $[\bar{Z}] = [\bar{Y}]^{-1}$ de dicha red.
- Cada término de la diagonal principal de esa matriz de impedancias es la impedancia de THÉVENIN de toda la red vista desde el nudo al que dicho término se refiere: la impedancia de THÉVENIN del nudo k es el término \bar{Z}_{kk} de la diagonal de la matriz de impedancias de toda la red.
- La tensión \bar{U}_k de ese nudo justo antes del cortocircuito se calcula mediante un análisis típico de flujo de cargas.
- La intensidad de cortocircuito trifásico franco en el nudo k es, entonces,

$$\bar{I}_{cck} = -\frac{\bar{U}_k}{\bar{Z}_{kk}} \quad (1)$$

Conocida la intensidad de cortocircuito en el nudo k se pueden calcular las nuevas tensiones de los nudos de la red cuando el cortocircuito está activo. La tensión en el nudo k afectado por el cortocircuito se hace cero, y la tensión de otro nudo cualquiera i se ve disminuida en $\Delta\bar{U}_i$, es decir

$$\bar{U}_{cci} = \bar{U}_i + \Delta\bar{U}_i \quad (2)$$

donde cada término $\Delta\bar{U}_i$ se obtiene de la ecuación (3), en la que se ha multiplicado la intensidad de cortocircuito trifásico en el nudo k , calculada en la ecuación (1), por la columna k -ésima de la matriz de impedancias de la red:

$$\begin{bmatrix} \Delta\bar{U}_1 \\ \Delta\bar{U}_2 \\ \vdots \\ \Delta\bar{U}_k \\ \vdots \\ \Delta\bar{U}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta\bar{U}_1 \\ \Delta\bar{U}_2 \\ \vdots \\ -\bar{U}_k \\ \vdots \\ \Delta\bar{U}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Z}_{1k} \bar{I}_{cck} \\ \bar{Z}_{2k} \bar{I}_{cck} \\ \vdots \\ \bar{Z}_{kk} \bar{I}_{cck} \\ \vdots \\ \bar{Z}_{nk} \bar{I}_{cck} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Puede comprobarse que la ecuación (2) aplicada al nudo k con los valores de (3) determina efectivamente un valor de la tensión para ese nudo de

$$\bar{U}_{cck} = \bar{U}_k + \Delta\bar{U}_k = \bar{U}_k + (-\bar{U}_k) = 0; \text{ porque } \Delta\bar{U}_k = \bar{Z}_{kk} \bar{I}_{cck} = \bar{Z}_{kk} \left(-\frac{\bar{U}_k}{\bar{Z}_{kk}} \right) = -\bar{U}_k$$

De esta forma se pueden calcular qué valor pasan a tener las tensiones de todos los nudos de una red cuando ocurre un cortocircuito en uno de ellos. Y a partir de esas tensiones obtener la intensidad por cualquier rama solo requiere repetir el cálculo que ya vimos para el estado estacionario en el tema 3 apartado 3.6 Intensidades por las ramas y potencia que se entrega a cada rama, pág. 96. Así se puede determinar el calibre de los interruptores.

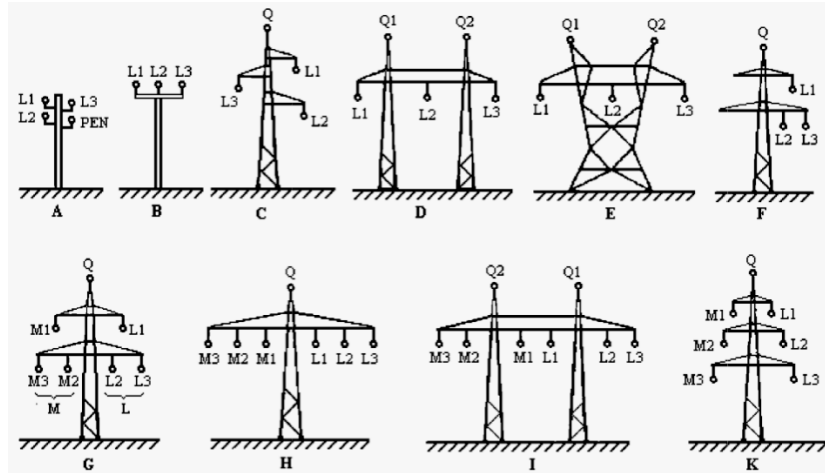
3 CORTOCIRCUITOS BIFÁSICOS Y FALLOS A TIERRA

El cálculo de las intensidades de los cortocircuitos desequilibrados (bifásico y uno o dos monofásicos a tierra), requiere describir la red mediante la matriz de admitancias $[Y]$ y su inversa de impedancias de nudo $[Z]$, empleando los parámetros de secuencia homopolar, que hay que obtener.

El informe UNE-IEC/TR 60909-2 *Corrientes de cortocircuito en sistemas trifásicos de corriente alterna. Parte 2: datos de equipos eléctricos para el cálculo de corrientes de cortocircuito*, contiene abundante información para estimar el valor de los parámetros característicos de muchos receptores eléctricos habituales:



- Máquinas síncronas y motores asíncronos.
- Transformadores de dos y tres devanados y autotransformadores
- Líneas y embarrados.



Nº	Tipo de línea/ número de circuitos (figura 9)	Tensión kV	Número de conductores/ subconductores, material, q_n	Número de hilos de tierra, material, q_n	Datos geométricos (véase 2.4 y figura 8)					Impedancia de secuencia directa ^{a)} $Z'_{(1)} =$ $R'_{(1)} + jX'_{(1)}$	Impedancia homopolar ^{a)} $Z'_{(0)} =$ $R'_{(0)} + jX'_{(0)}$	Comité nacional
					r	d	d_{mLIM2}	d_{Q1Q12}	d_{QL}			
					r_B	d_{LM}	d_{mLIM1}					
1	A/1	0,40	1 × Al 95	(PEN)	6,25	0,6	–	–	–	0,31+j0,302	0,63+j0,941	Austria
2	B/1	20	1 × Cu 25	–	3,15	1,23	–	–	–	0,746+j0,396	0,854+j1,643	Italia
3	D/1	66	1 × Al/St Condor	Al/St 25	13,86	3,77	–	3,0	4,9	0,072+j0,365	0,410+j0,882	Noruega
4	F/1	110	1 × Al/St 240/40	1 × St 50	10,95	4,06	–	–	10,8	0,119+j0,387	0,309+j1,382	Alemania
5	C/1	110	1 × Al/St 185/25	1 × St 50	9,2	4,61	–	–	4,33	0,156+j0,395	0,370+j1,34	Bulgaria
6	C/1	132	1 × Al/St 525/68	1 × Al/St 138/68	15,8	5,81	–	–	12	0,061+j0,387	0,202+j0,931	Dinamarca
7	E/1	220	1 × Al/St 291/37,2	2 × St 50	11,75	6,39	–	5,8	6,99	0,108+j0,411	0,352+j1,242	China
8	C/ ^{b)}	220	1 × Al/St 400/51	1 × St 70	13,75	8,0	–	–	11,6	0,075+j0,420	0,250+j1,340	ex-URSS
9	G/2	220	2 × Al/St 240/40	1 × Al/St 240/40	10,95	6,24	15,8	–	16,3	0,06+j0,299	0,273+j1,479	Alemania
10	K/2	275	4 × Al/St 610/79,4	1 × AS 160	17,1	9,85	16,39	13,0	16,84	0,015+j0,239	0,111+j1,708	Japón (50 Hz)
11	K/2	380	2 × Al/St 680/85 ^{c)}	1 × Al/St 240/40	18,0	11,5	19,2	–	21,6	0,0215+j0,303	0,243+j1,400	Austria
12	D/1	500	4 × Al/St 291/37,2	2 × Al/St 120/22	11,75	17,64	–	24,0	18,08	0,031+j0,286	0,233+j0,715	Australia
13	K/2	500	4 × Al/St 814 / 56	2 × Al/St 150 / 87	38,4	15,13	25,23	20,4	26,92	0,009+j0,304	0,356+j1,224	Japón (60 Hz)
					287,3		19,38					

^{a)} Impedancias por circuito y resistencias a una temperatura de 20 °C.

^{b)} Diseño especial. Dos líneas separadas en un único derecho de paso.

^{c)} Desde 2006, es típica una nueva configuración de conductores: 3×Al/St 635/117.

Figura 9 y tabla 5 del informe UNE-IEC/TR 60909-2
 con datos de líneas reales para el modelo de línea corta

Las intensidades de esos otros cortocircuitos se obtienen también a través de las matrices de impedancias de la red, obtenidas de la inversión tanto de la matriz de admitancias directas (las del modelo de red compuesto por redes de secuencia directa de cada rama) como la matriz de admitancias homopolares (las del modelo compuesto por las redes de secuencia cero u homopolar):

$$\bar{I}_{cc2k} = \frac{\bar{U}_k}{2\bar{Z}_{kk}} \text{ cortocircuito bifásico en el nudo } k$$

$$\bar{I}_{cc0k} = \frac{\bar{U}_k}{2\bar{Z}_{kk} + \bar{Z}_{0kk}} \text{ cortocircuito monofásico a tierra en } k$$

Profundizar en estas cuestiones queda ya fuera de los objetivos de esta asignatura.