

En los últimos años se ha comprobado que el número de averías en sistemas *aislados*, con los adecuados niveles de aislamiento y sistemas de protección, no ha sido superior al de los sistemas *conectados a tierra*.

En EE.UU., la primera tendencia que se utilizó al conectar el neutro a tierra fue instalar resistencias, y en Europa, bobinas supresoras Petersen, con el objetivo, en ambos casos, de limitar el valor de las corrientes de cortocircuito a tierra, de forma que siendo detectables no llegasen a valores excesivos.

Con el creciente aumento de las tensiones de transporte (más de 400 kV), dicha

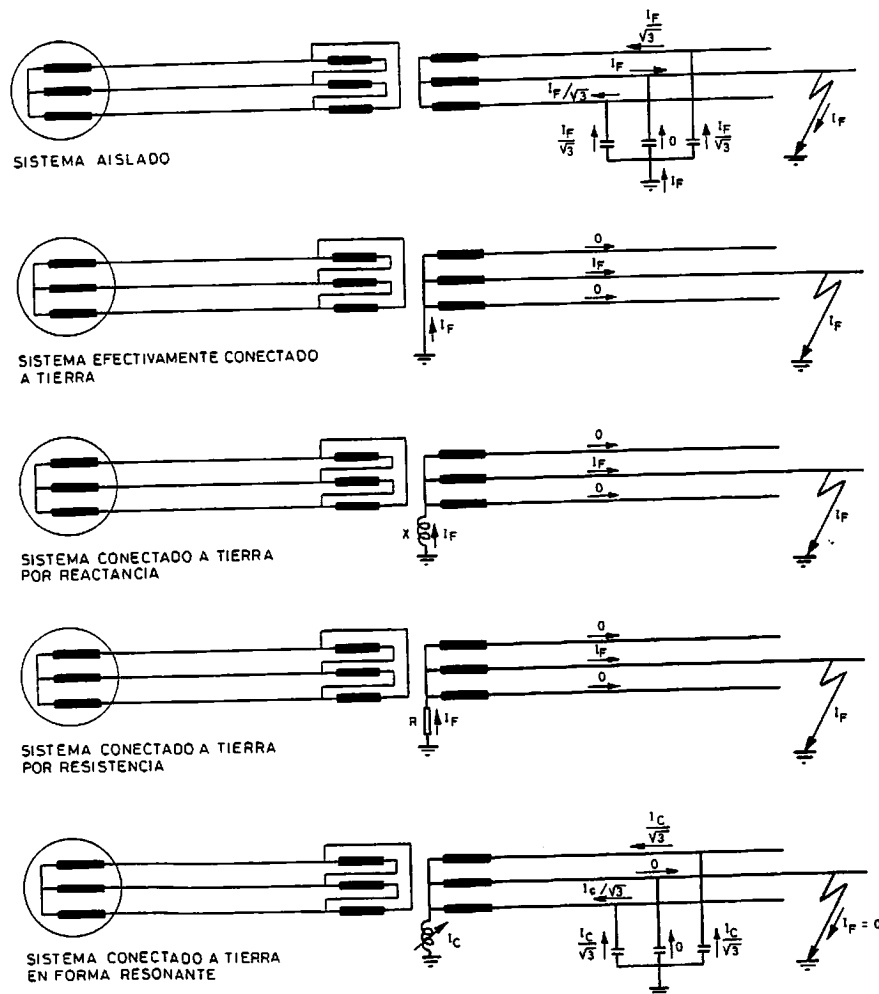


Fig. 1.14 Distribución de la corriente de falta a tierra.

tendencia, por consideraciones de coste del aislamiento, de protección y otras, condujo al uso de sistemas *rígidamente conectados a tierra*.

Resumiendo, el tratamiento del neutro puede ser:

- Aislado
- Rígidamente conectado a tierra
- Conectado a tierra por  $\begin{cases} \text{Reactancia C.1} \\ \text{Resistencia C.2} \end{cases}$
- Conectado a tierra en forma resonante

En la figura 1.14 se esquematizan las variantes anteriores.

El principio de funcionamiento del *sistema conectado a tierra en forma resonante* es sustancialmente distinto a los demás, cuya simplicidad no merece mayores detalles, y consiste en una reactancia ajustable por tomas, conectada entre el neutro del transformador y tierra.

Cuando una fase del sistema toma contacto con tierra, una corriente inductiva fluye de la reactancia hacia el transformador a través del contacto a tierra, al propio tiempo que una corriente capacitiva ( $I_C$ ) de la red fluye al contacto a tierra. Ambas corrientes están desfasadas  $180^\circ$ , con lo cual, si la reactancia del neutro del transformador está perfectamente adaptada a la reactancia capacitiva equivalente de la red, la diferencia entre ambas será nula y en el punto de contacto a tierra la corriente de falta será cero (fig. 1.14).

Se comprende que en redes cuya configuración cambia constantemente esta idea es difícilmente mantenible y, en consecuencia, este sistema no se usa en demasía.

Como recomendaciones finales cabe señalar que:

- El neutro aislado se recomienda para redes de media tensión (6 kV a 30 kV) en el caso de industrias, servicios auxiliares de centrales térmicas y otros en que las circunstancias de la continuidad de servicio sean vitales. También se utiliza en los generadores.
- El neutro rígidamente conectado a tierra se recomienda para redes de 110 kV y tensión superior -con las debidas precauciones en la elección de los sistemas de protección-, así como en redes de baja tensión (400 V).
- El neutro conectado a tierra a través de reactancia o resistencia se recomienda para redes de media tensión (6 kV a 30 kV) en el caso de distribución de energía con red suficientemente mallada, y en industrias o centrales térmicas donde la continuidad de servicio tenga elementos suficientes de reserva.
- El neutro conectado a tierra en forma resonante no se aconseja dado su elevado coste y sus limitaciones al exigir una red sin modificaciones frecuentes.

## 1.6 Cálculo de cortocircuitos

Para un correcto ajuste de los relés de protección es casi siempre imprescindible el conocimiento de los valores que pueden asumir las magnitudes de medida, tanto en condiciones normales de servicio como en determinadas situaciones, especialmente cortocircuitos.

## 18 Protecciones en las instalaciones eléctricas

El cálculo más usual –y más simple– es el correspondiente al cortocircuito trifásico, ya que a partir de los datos obtenidos se puede determinar la potencia de ruptura de los interruptores que hay que instalar. No obstante, en algunas aplicaciones será también necesario realizar cálculos de cortocircuitos desequilibrados (bifásico y monofásico).

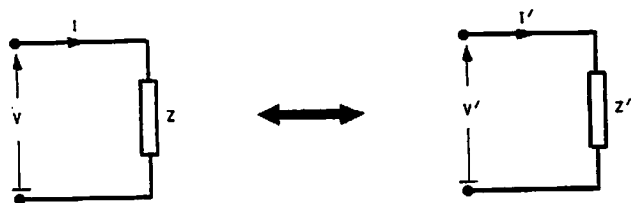
En todo caso, al producirse un cortocircuito en un sistema en condiciones de carga, las corrientes resultantes serán las producidas por el cortocircuito más las absorbidas por la carga en función de las tensiones impuestas por el cortocircuito. Para la mayoría de aplicaciones será suficiente considerar exclusivamente las corrientes debidas al cortocircuito; sin embargo, en especial en caso de faltas a tierra existiendo elemento limitador en el neutro y si se desea un cálculo preciso, será necesario considerar la corriente de carga.

El valor de la corriente de cortocircuito resulta del cociente entre la tensión de servicio y la impedancia del sistema, desde la fuente de tensión hasta el punto de cortocircuito. Así, si la tensión se expresa en voltios y la impedancia en ohmios, el resultado del cociente es el valor de la intensidad, en amperios. Sin embargo, como veremos, el cálculo empleando valores relativos presenta ciertas ventajas sobre el realizado con las magnitudes convencionales, especialmente cuando se trata de cálculo en redes que incluyen distintos niveles de tensión.

## 1.6.1 Cálculo en valores óhmicos

Cuando el sistema estudiado incluye distintos niveles de tensión, se hace necesario –previamente– reducir todas las impedancias a un mismo nivel de tensión.

Sea  $Z$  el valor de una impedancia situada en un punto de un sistema trifásico cuya tensión de servicio es  $U$ . Si se desea reflejar esta impedancia en otro nivel de tensión  $U'$  distinto, el nuevo valor de esta impedancia puede calcularse a partir de:



$$V = \frac{U}{\sqrt{3}}$$

$$V' = \frac{U'}{\sqrt{3}}$$

$$P = 3V \cdot I = 3V \cdot \frac{V}{Z} = \frac{3V^2}{Z} = \frac{3U^2}{3Z} = \frac{U^2}{Z}$$

$$P' = 3V' \cdot I' = 3V' \cdot \frac{V'}{Z'} = \frac{3V'^2}{Z'} = \frac{3U'^2}{3Z'} = \frac{U'^2}{Z'}$$

y de la condición

$$P = P'$$

resulta

$$\frac{U^2}{Z} = \frac{U'^2}{Z'}; \quad Z' = Z \left( \frac{U'}{U} \right)^2$$

Una vez realizada esta operación, pueden sumarse todas las impedancias para determinar la impedancia total. Para hallar la corriente de cortocircuito se calcula el cociente

$$I'_{cc} = \frac{U' / \sqrt{3}}{Z}$$

Naturalmente, el resultado obtenido será el valor de la corriente de cortocircuito referida a la tensión  $U'$ . Para hallar el valor de la corriente referida a la tensión  $U$ , deberá calcularse

$$I_{cc} = I'_{cc} \cdot \left( \frac{U}{U'} \right)$$

Obviamente, el valor de la potencia de cortocircuito es independiente del nivel de tensión.

$$P' = U' \cdot I'_{cc} \sqrt{3}$$

$$P = U \cdot I_{cc} \sqrt{3}$$

$$I_{cc} = I'_{cc} \frac{U'}{U}$$

con lo cual

$$P = U' I'_{cc} \sqrt{3}; \quad \boxed{P = P'}$$

## 1.6.2 Cálculo en valores relativos

Toda impedancia puede expresarse en valor relativo respecto a otra; de esta manera, por ejemplo, si

$$\begin{aligned} Z &= 5 \, \Omega \\ Z_B &= 20 \, \Omega \end{aligned}$$

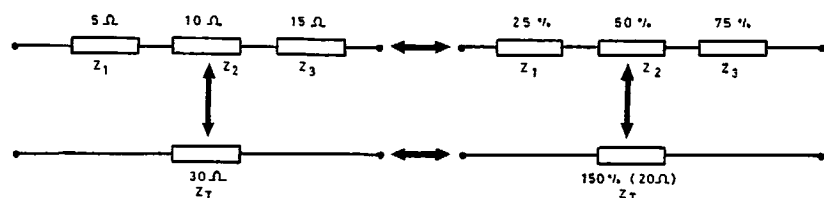
podemos decir que

$$Z = 0,25 Z_B; Z = 25 \% Z_B$$

$$z = \frac{Z}{Z_B} = 0,25$$

$z$  = valor relativo de  $Z$  respecto de  $Z_B$ .

Así, por ejemplo, es posible reducir las siguientes impedancias a una impedancia base de  $20 \Omega$ .

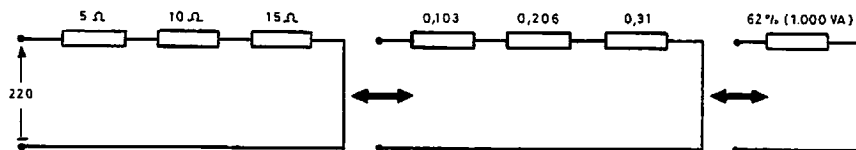


En lugar de establecer una impedancia de base, se puede establecer una potencia de base. La impedancia de base resulta

$$Z_B = \left( \frac{U^2}{P_B} \right)$$

siendo  $U$  la tensión del sistema.

Así, para la misma figura anterior, suponiendo  $U = 220 \text{ V}$ , se tiene, eligiendo una  $P_B = 1.000 \text{ VA}$



$$z = \frac{Z}{Z_B}; z = \frac{Z}{\frac{U^2}{P_B}} = Z \cdot \left( \frac{P_B}{U^2} \right)$$

$$z = (5 + 10 + 15) \cdot \frac{1.000}{220^2} = \frac{300}{22^2} = \frac{3}{4,84} = 0,619 \approx 62 \%$$

Cuando en el sistema existan diferentes niveles de tensión deberá referirse cada impedancia a la tensión en que esté conectada.

En el siguiente ejemplo, suponiendo una potencia  $P_B$  de 1 MVA, los valores obtenidos son:

$$z_A = 25 \cdot \frac{1}{30^2} = 2,7 \% 100 \text{ MVA}$$

$$z_B = 5 \cdot \frac{1}{10^2} = 5 \% 100 \text{ MVA}$$

y, por lo tanto:

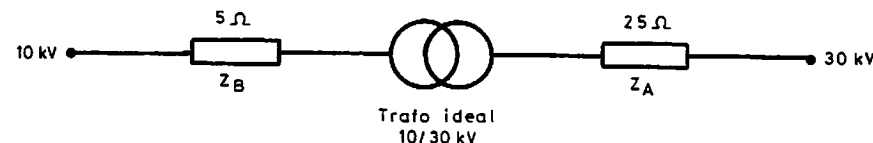
$$z_T = 7,7 \% 100 \text{ MVA}$$

Por consiguiente:

$$Z = \frac{7,7}{100} \cdot \frac{10^3}{1} = 7,7 \Omega \text{ (referidos a 10 kV)}$$

$$Z = \frac{7,7}{100} \cdot \frac{30^3}{1} = 70 \Omega \text{ (referidos a 30 kV)}$$

$$Z = z \cdot \frac{U^2}{P_B}$$



Si se efectúa el cálculo de los elementos del ejemplo, dispuestos del modo en que aparecen en la figura superior en valores óhmicos, se puede comprobar que:

$$Z_T = 5 \cdot \left( \frac{30}{10} \right)^2 + 25 = 45 + 25 = 70 \Omega \text{ (referidos a 30 kV)}$$

$$Z_T = 5 + 25 \left( \frac{10}{30} \right)^2 = 5 + 2,7 = 7,7 \Omega \text{ (referidos a 10 kV)}$$

Los fabricantes de transformadores, generadores, motores, y otras máquinas eléctricas, suelen suministrar los datos de la impedancia de estos equipos en valor porcentual, referido a la tensión nominal de la máquina. Así, un generador con los siguientes datos

$$U_n = 30 \text{ kV}$$

$$P_n = 120 \text{ MVA}$$

$$x_{ST} = 20 \%$$

implica una reactancia subtransitoria (a 30 kV) de

$$X = x \cdot \left( \frac{U^2}{P} \right) = 0,2 \cdot \frac{900}{120} = \frac{18}{12} = 1,5 \, \Omega$$

La tensión de cortocircuito o reactancia porcentual de un transformador es aquel porcentaje de la tensión nominal que hay que aplicar a un devanado para que circule por él la intensidad nominal estando cortocircuitado el otro devanado.

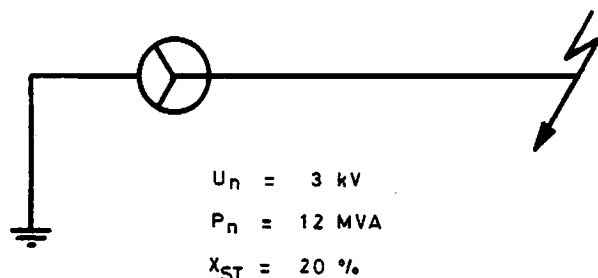
Los transformadores tienen dos tensiones de servicio, pero el dato porcentual de la reactancia es válido para cualquiera de las dos tensiones. Así, un trafo 110 / 25 kV, 30 MVA,  $u_{cc} = 12 \, \%$ , supone:

$$X = 0,12 \cdot \left( \frac{110^2}{30} \right) = 48,4 \, \Omega \text{ (a 110 kV)}$$

$$X = 0,12 \cdot \left( \frac{25^2}{30} \right) = 2,5 \, \Omega \text{ (a 25 kV)}$$

Evidentemente, resulta mucho más fácil recordar que, por ejemplo, «un trafo tiene una reactancia del 12 %», que recordar que «un trafo tiene una reactancia de 48  $\Omega$  visto desde el lado A.T». Por otro lado, al experto en protecciones, ya familiarizado con los cálculos de cortocircuito, le resulta muy fácil establecer mentalmente, en función de la potencia nominal y de la tensión de funcionamiento, el valor relativo de las impedancias de transformadores y máquinas rotativas. Por ejemplo, en alternadores de polos salientes es usual considerar una reactancia subtransitoria del  $20 \div 25 \, \%$  sin necesidad de leer la placa de características. Para trafos de dos arrollamientos, entre 15 y 40 MVA, puede suponerse una reactancia del orden  $8 \div 12 \, \%$ .

Además, el cálculo empleando valores relativos presenta algunas otras ventajas cuando se trata de determinar los valores de potencia e intensidad de cortocircuito. Para ilustrarlo, consideremos el siguiente ejemplo, en el que se trata de calcular la  $P_{cc}$  y la  $I_{cc}$  que puede dar el generador.



En valores óhmicos:

$$X = 0,2 \cdot \frac{3^2}{12} = \frac{1,8}{12} = 0,15 \, \Omega$$

$$I_{cc} = \frac{3.000}{\sqrt{3} \cdot 0,15} = 11,6 \, \text{kA}$$

$$P_{cc} = \sqrt{3} \cdot 3 \cdot 11,6 = 60 \, \text{MVA}$$

En valor relativo:

$$P_{cc} = \frac{12}{0,2} = 60 \, \text{MVA}$$

$$I_{cc} = \frac{60}{\sqrt{3} \cdot 3} = 11,6 \, \text{kA}$$

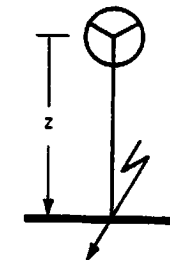
En efecto, conocida la impedancia, en valor relativo que presenta el sistema hasta el punto de cortocircuito, puede calcularse la  $P_{cc}$  según:

$$P_{cc} = \frac{P_B}{z}$$

ya que,

$$P_{cc} = \sqrt{3} \, U \cdot I_{cc}$$

$$P_B = \sqrt{3} \, U \cdot I_B$$



pero

$$I_{cc} = \frac{U}{\sqrt{3} \, Z_{cc}}$$

$$I_B = \frac{U}{\sqrt{3} \, Z_B}$$

con lo cual,

$$P_{cc} = \frac{U^2}{Z_{cc}}$$

$$P_B = \frac{U^2}{Z_B}$$

y como

$$Z_{cc} = z Z_B$$

entonces

$$P_{cc} = \frac{U^2}{z Z_B}$$

es decir,

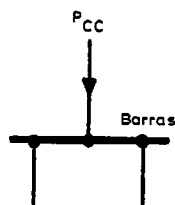
$$P_{cc} = \frac{U^2}{z \frac{U^2}{P_B}}; \quad \boxed{P_{cc} = \frac{P_B}{z}}$$

De la misma forma,

$$I_{cc} = \frac{U}{\sqrt{3} Z_{cc}} = \frac{U}{\sqrt{3} z Z_B} = \frac{1}{z} \cdot I_B; \quad \boxed{I_{cc} = \frac{I_B}{z}}$$

De modo similar, si por ejemplo una línea aporta una  $P_{cc}$  a un juego de barras, esta potencia de cortocircuito puede representarse por una impedancia, en valor relativo, referida a la potencia de base del cálculo:

$$\boxed{z = \frac{P_B}{P_{cc}}}$$

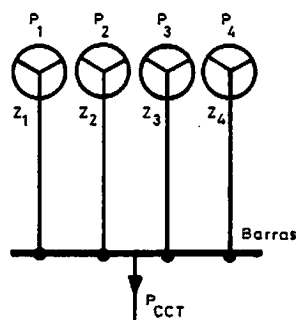


Así, si en un juego de barras confluyen 4 generadores de potencias  $P_1, P_2, P_3$  y  $P_4$ , e impedancias relativas  $z_1, z_2, z_3$  y  $z_4$ , se tendrá que

$$P_{cc} = P_{cc1} + P_{cc2} + P_{cc3} + P_{cc4}$$

$$P_{cc} = \frac{P_1}{z_1} + \frac{P_2}{z_2} + \frac{P_3}{z_3} + \frac{P_4}{z_4}$$

$$\boxed{P_{ccT} = \sum \frac{P_i}{z_i}}$$



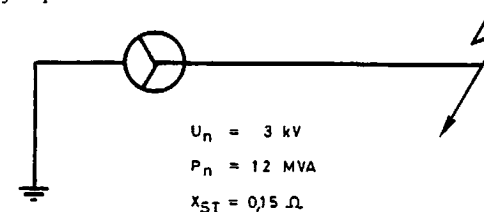
Sea  $Z$  el valor óhmico de una impedancia y  $z$  su valor relativo en función de una potencia determinada. Si se desea expresar esa impedancia en función de otra potencia base  $P'_B$  distinta, el valor relativo pasaría a ser  $z'$ :

$$Z = z \cdot \frac{U^2}{P_B}$$

$$Z = z' \cdot \frac{U^2}{P'_B}$$

$$\boxed{z' = z \cdot \frac{P'_B}{P_B}}$$

Volviendo al ejemplo anterior:



$$z = \frac{0,15 \cdot 12}{3^2} = \frac{0,15 \cdot 4}{3} = 0,2 \text{ base 12 MVA}$$

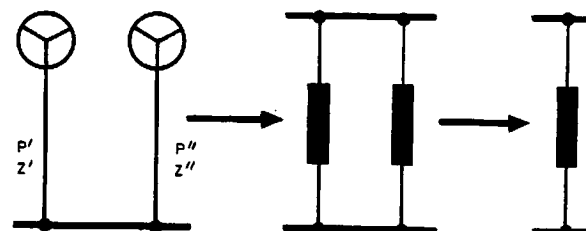
$$z = \frac{0,15 \cdot 100}{3^2} = \frac{15}{9} = \frac{5}{3} = 1,6 \text{ base 100 MVA}$$

$$P_{cc} = \frac{P_B}{z} = \frac{12}{0,2} = \frac{100}{1,6} = 60 \text{ MVA}$$

Sean  $z'$  y  $z''$  dos impedancias expresadas en valores relativos conectadas en paralelo. Si se desea sustituir ambas impedancias por una impedancia equivalente  $z$ , puede optarse por:

1. Expresarlas en valor relativo para la misma potencia de base. Este método es el más común.
2. Expresarlas en el mismo valor relativo, cambiando la potencia base de una de ellas.

Veamos cómo se procede en uno y otro caso.



1 Tomando como base  $P'$ 

$$z = \frac{z' \cdot z'' \left( \frac{P'}{P''} \right)}{z' + z'' \left( \frac{P'}{P''} \right)} \quad \text{referida a } P'$$

2 Tomando como base  $z'$ 

$z''$  valdría  $z'$  si estuviese referida a una potencia  $P''$

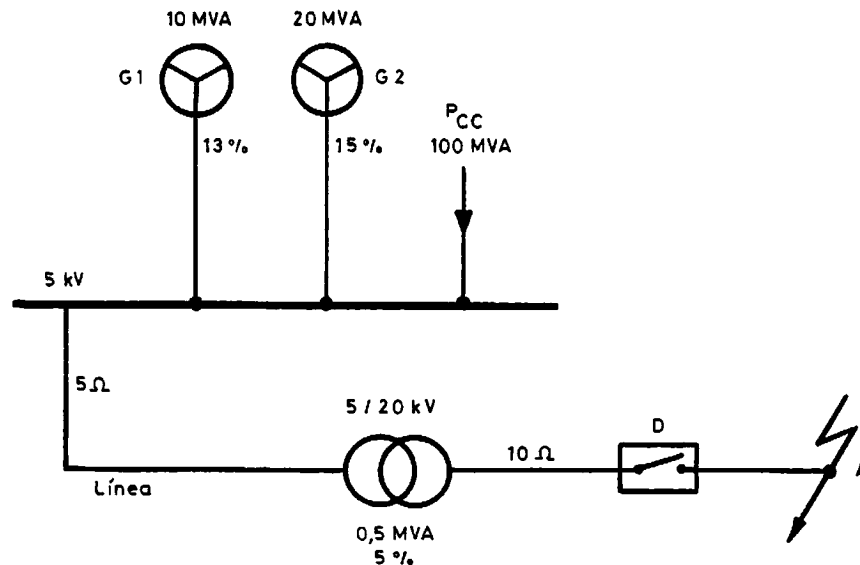
$$\frac{z''}{P''} = \frac{z'}{P'}$$

$$P'' = P' \left( \frac{z'}{z''} \right)$$

$$z = z' \quad \text{referida a } (P' + P'')$$

En el siguiente ejemplo se pretende hacer intervenir las variantes antes mencionadas:

Calcular la potencia y la corriente de cortocircuito que atravesará el interruptor  $D$  en caso de falta en el punto  $A$



## 1. En valores relativos

- los generadores

$$z = \frac{13 \cdot 15 \cdot \frac{10}{20}}{13 + 15 \cdot \frac{10}{20}} = 4,75 \% (10 \text{ MVA})$$

- la aportación exterior

$$z = \frac{P_B}{P_{CC}} = \frac{10}{100} \cdot 100 = 10 \% (10 \text{ MVA})$$

- el transformador

$$z = 5 \cdot \frac{10}{0,5} = 100 \% (10 \text{ MVA})$$

- la línea 5 kV

$$z = 100 \left( 5 \cdot \frac{10}{5^2} \right) = 200 \% (10 \text{ MVA})$$

- la línea 20 kV

$$z = 100 \left( 10 \cdot \frac{10}{20^2} \right) = 25 \% (10 \text{ MVA})$$

- la impedancia total será

$$z_T = \left( \frac{10 \cdot 4,75}{14,75} \right) + 100 + 200 + 25 = 328,22 \% (10 \text{ MVA})$$

- la corriente base, resulta:

$$I_B = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 20} = 288,675 \text{ A (red 20 kV)}$$

entonces:

$$P_{cca} = \frac{P_B}{z} = \frac{10}{3,2822} = 3,046 \text{ MVA}$$

$$I_{cca} = \frac{I_{BA}}{z} = \frac{288,675}{3,2822} = 88 \text{ A}$$

## 2. En valores óhmicos, 5 kV

$$Z_{G1} = 0,13 \cdot \frac{5^2}{10} = 0,325 \, \Omega$$

$$Z_{G2} = 0,15 \cdot \frac{5^2}{10} = 0,1875 \, \Omega$$

$$Z_{ext} = \frac{5^2}{100} = 0,25 \, \Omega$$

$$Z_{trafo} = 0,05 \cdot \frac{5^2}{0,5} = 2,5 \, \Omega$$

$$Z_{línea \, 5 \, kV} = 5 \, \Omega$$

$$Z_{línea \, 20 \, kV} = 10 \cdot \frac{5^2}{20^2} = 0,625 \, \Omega$$

$$Z_T = \frac{1}{\frac{1}{0,325} + \frac{1}{0,1875} + \frac{1}{0,25}} + 2,5 + 5 + 0,625$$

$$Z_T = \frac{1}{3,076 + 5,3 + 4} + 8,125 = \frac{1}{12,41} + 8,125 = 8,205 \, \Omega$$

$$I_{cc} = \frac{5,000}{8,2 \sqrt{3}} = 352 \, A \, (\text{red } 5 \, kV)$$

$$I_{ccA} = 352 \cdot \frac{5}{20} = 88 \, A$$

$$P_{ccA} = 5 \cdot 0,352 \sqrt{3} = 3,046 \, MVA$$

## 3. En valores óhmicos, 20 kV

$$Z_{G1} = 0,13 \cdot \frac{20^2}{10} = 5,2 \, \Omega$$

$$Z_{G2} = 0,15 \cdot \frac{20^2}{20} = 3 \, \Omega$$

$$Z_G = \frac{5,2 \cdot 3}{8,2} = 1,9 \, \Omega$$

$$Z_{ext} = \frac{20^2}{100} = 4 \, \Omega$$

$$Z_{trafo} = 0,05 \cdot \frac{20^2}{0,5} = 40 \, \Omega$$

$$Z_{línea \, 5 \, kV} = 5 \cdot \left(\frac{20}{5}\right)^2 = 80 \, \Omega$$

$$Z_{línea \, 20 \, kV} = 10 \, \Omega$$

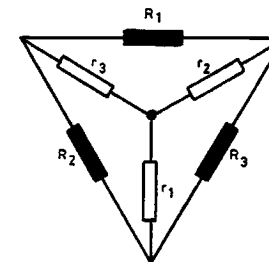
$$Z_T = \frac{1,9 \cdot 4}{5,9} + 40 + 80 + 10 = 131,288 \, \Omega$$

$$I_{ccA} = \frac{20.000}{3 \cdot 131,288} = 88 \, A$$

$$P_{ccA} = 0,088 \cdot 20 \cdot \sqrt{3} = 3,046 \, MVA$$

## 1.6.3 Transformaciones estrella-triángulo

Supuesto, por ejemplo, un triángulo de resistencia  $R_1$   $R_2$   $R_3$  y se desea convertirlo en una estrella de resistencias  $r_1$   $r_2$   $r_3$ , será necesario efectuar las siguientes operaciones:

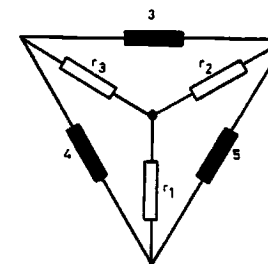


$$r_1 = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$r_2 = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$r_3 = \frac{R_2 \cdot R_1}{R_1 + R_2 + R_3}$$

Ejemplo:

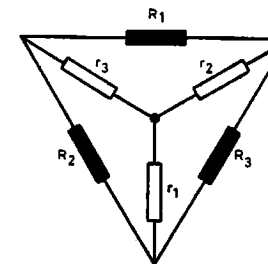


$$r_1 = (4 \cdot 5)/(3 + 4 + 5) = 20/12 = 1,6$$

$$r_2 = 3 \cdot 5/12 = 1,25$$

$$r_3 = 3 \cdot 4/12 = 1$$

Si se tiene una estrella de resistencias  $r_1$   $r_2$   $r_3$  y se desea convertirla en un triángulo de resistencias  $R_1$   $R_2$   $R_3$ , procederemos como sigue:

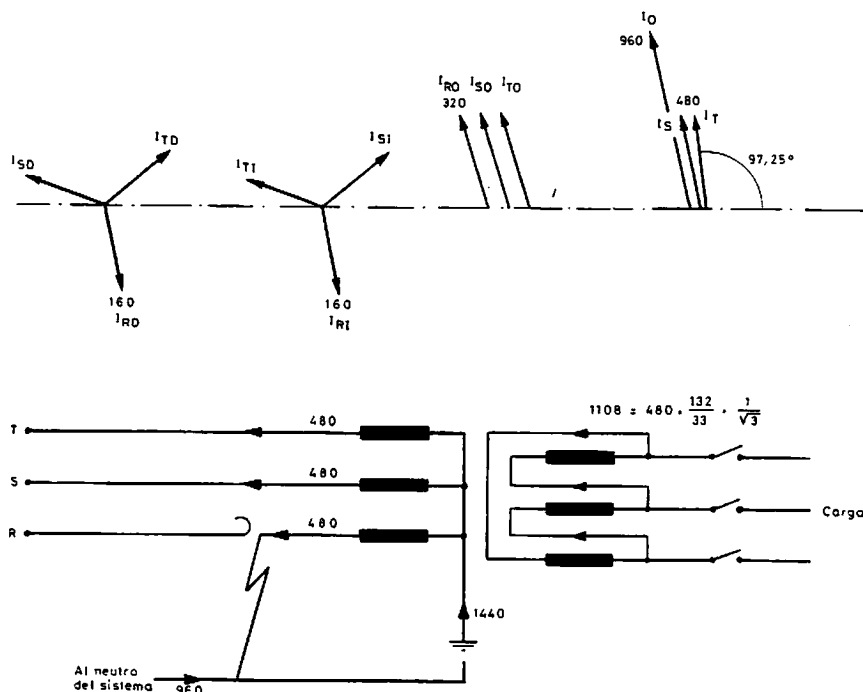


$$\frac{r_1 \cdot r_2 + r_1 \cdot r_3 + r_2 \cdot r_3}{r_1} = R_1$$

$$\frac{r_1 \cdot r_2 + r_1 \cdot r_3 + r_2 \cdot r_3}{r_2} = R_2$$

$$\frac{r_1 \cdot r_2 + r_1 \cdot r_3 + r_2 \cdot r_3}{r_3} = R_3$$

Con estas consideraciones, puede dibujarse la siguiente distribución de corrientes:



### 1.6.5 Tablas de valores

Para efectuar los cálculos de cortocircuito en una red eléctrica, así como para analizar las diferentes condiciones de funcionamiento, es necesario conocer las magnitudes más características.

Seguidamente, se ofrece una serie de tablas en donde se recogen los valores de resistencia, reactancia e impedancia en una serie de elementos fundamentales de la red, tales como:

- Líneas aéreas de alta tensión
- Cables tripolares bajo plomo
- Cables unipolares armados
- Cables unipolares no armados
- Condensadores síncronos
- Motores
- Transformadores
- Generadores

Es evidente que en dichas tablas no se pueden recoger todos los casos y situaciones que la práctica plantea. Por otro lado, en líneas y cables el valor de la reactancia ( $x$ ) depende muchísimo de la configuración del tendido, distancia entre conductores, distancias al suelo, etc. No obstante, los valores intermedios se podrán obtener grosso modo por interpolación y, en cualquier caso, servirán de referencia para aquellas situaciones desconocidas.

Cuando se efectúen cálculos complejos por el método de componentes simétricas debe tenerse en cuenta que con la excepción de los elementos rotativos, donde sólo existen ligeras diferencias, la impedancia de secuencia inversa asume el mismo valor que la de secuencia directa.

Líneas aéreas de alta tensión  
Conductores de cobre

| Sección<br>mm <sup>2</sup> | R<br>20<br>Ω/km<br>y por<br>fase | 45 kV          |                | 60 kV          |                | 80 kV          |                | 110 kV         |                | 150 kV         |                | 220 kV         |                |
|----------------------------|----------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                            |                                  | X              | Z              | X              | Z              | X              | Z              | X              | Z              | X              | Z              | X              | Z              |
|                            |                                  | Ω/km<br>y fase | Ω/km<br>y fase | Ω/km<br>y fase | Ω/km<br>y fase | Ω/km<br>y fase | Ω/km<br>y fase | Ω/km<br>y fase | Ω/km<br>y fase | Ω/km<br>y fase | Ω/km<br>y fase | Ω/km<br>y fase | Ω/km<br>y fase |
| 35                         | 0,53                             | 0,41           | 0,67           | 0,43           | 0,68           | -              | -              | -              | -              | -              | -              | -              | -              |
| 50                         | 0,36                             | 0,40           | 0,54           | 0,42           | 0,55           | 0,43           | 0,56           | 0,44           | 0,57           | -              | -              | -              | -              |
| 70                         | 0,27                             | 0,39           | 0,47           | 0,41           | 0,49           | 0,42           | 0,50           | 0,43           | 0,51           | 0,45           | 0,52           | -              | -              |
| 95                         | 0,19                             | 0,38           | 0,43           | 0,40           | 0,44           | 0,41           | 0,45           | 0,42           | 0,46           | 0,44           | 0,48           | 0,45           | 0,49           |
| 120                        | 0,15                             | 0,38           | 0,41           | 0,39           | 0,42           | 0,40           | 0,43           | 0,41           | 0,44           | 0,43           | 0,46           | 0,44           | 0,47           |
| 150                        | 0,12                             | 0,37           | 0,39           | 0,38           | 0,40           | 0,40           | 0,42           | 0,40           | 0,42           | 0,43           | 0,45           | 0,43           | 0,45           |
| 185                        | 0,098                            | 0,36           | 0,37           | 0,38           | 0,39           | 0,39           | 0,40           | 0,40           | 0,41           | 0,42           | 0,43           | 0,43           | 0,44           |
| 240                        | 0,074                            | 0,35           | 0,36           | 0,37           | 0,38           | 0,38           | 0,39           | 0,39           | 0,40           | 0,41           | 0,42           | 0,42           | 0,43           |
| 300                        | 0,06                             | 0,35           | 0,35           | 0,36           | 0,37           | 0,37           | 0,37           | 0,38           | 0,38           | 0,40           | 0,40           | 0,42           | 0,42           |

Conductores de aluminio

| Sección<br>mm <sup>2</sup> | R <sub>20</sub><br>Ω/km<br>y por<br>fase | 45 kV          |                | 60 kV          |                | 80 kV          |                | 110 kV         |                | 150 kV         |                | 220 kV         |                |
|----------------------------|------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                            |                                          | X              | Z              | X              | Z              | X              | Z              | X              | Z              | X              | Z              | X              | Z              |
|                            |                                          | Ω/km<br>y fase | Ω/km<br>y fase | Ω/km<br>y fase | Ω/km<br>y fase | Ω/km<br>y fase | Ω/km<br>y fase | Ω/km<br>y fase | Ω/km<br>y fase | Ω/km<br>y fase | Ω/km<br>y fase | Ω/km<br>y fase | Ω/km<br>y fase |
| 35                         | 0,84                                     | 0,41           | 0,93           | 0,43           | 0,95           | -              | -              | -              | -              | -              | -              | -              | -              |
| 50                         | 0,58                                     | 0,40           | 0,70           | 0,42           | 0,72           | 0,43           | 0,72           | 0,44           | 0,73           | -              | -              | -              | -              |
| 70                         | 0,44                                     | 0,39           | 0,59           | 0,41           | 0,60           | 0,42           | 0,61           | 0,43           | 0,61           | 0,45           | 0,63           | -              | -              |
| 95                         | 0,32                                     | 0,38           | 0,50           | 0,40           | 0,51           | 0,41           | 0,52           | 0,42           | 0,53           | 0,44           | 0,54           | 0,45           | 0,55           |
| 120                        | 0,24                                     | 0,38           | 0,45           | 0,39           | 0,46           | 0,40           | 0,47           | 0,41           | 0,48           | 0,43           | 0,49           | 0,44           | 0,50           |
| 150                        | 0,19                                     | 0,37           | 0,42           | 0,38           | 0,42           | 0,40           | 0,44           | 0,40           | 0,44           | 0,43           | 0,47           | 0,43           | 0,47           |
| 185                        | 0,16                                     | 0,36           | 0,39           | 0,38           | 0,41           | 0,39           | 0,42           | 0,40           | 0,43           | 0,42           | 0,45           | 0,43           | 0,46           |
| 240                        | 0,12                                     | 0,35           | 0,37           | 0,37           | 0,39           | 0,38           | 0,40           | 0,39           | 0,41           | 0,41           | 0,43           | 0,42           | 0,44           |
| 300                        | 0,10                                     | 0,35           | 0,36           | 0,36           | 0,37           | 0,37           | 0,38           | 0,38           | 0,39           | 0,40           | 0,41           | 0,42           | 0,43           |

## Conductores de Aldrey

| Sección<br>mm <sup>2</sup> | R <sub>30</sub><br>Ω/km<br>y por<br>fase | 45 kV               |                     | 60 kV               |                     | 80 kV               |                     | 110 kV              |                     | 150 kV              |                     | 220 kV              |                     |
|----------------------------|------------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                            |                                          | X<br>Ω/km<br>y fase | Z<br>Ω/km<br>y fase | X<br>Ω/km<br>y fase | Z<br>Ω/km<br>y fase | X<br>Ω/km<br>y fase | Z<br>Ω/km<br>y fase | X<br>Ω/km<br>y fase | Z<br>Ω/km<br>y fase | X<br>Ω/km<br>y fase | Z<br>Ω/km<br>y fase | X<br>Ω/km<br>y fase | Z<br>Ω/km<br>y fase |
| 35                         | 0,97                                     | 0,41                | 1,05                | 0,43                | 1,06                | -                   | -                   | -                   | -                   | -                   | -                   | -                   | -                   |
| 50                         | 0,68                                     | 0,40                | 0,79                | 0,42                | 0,80                | 0,43                | 0,81                | 0,44                | 0,81                | -                   | -                   | -                   | -                   |
| 70                         | 0,51                                     | 0,39                | 0,64                | 0,41                | 0,65                | 0,42                | 0,66                | 0,43                | 0,67                | 0,45                | 0,68                | -                   | -                   |
| 95                         | 0,36                                     | 0,38                | 0,52                | 0,40                | 0,54                | 0,41                | 0,55                | 0,42                | 0,55                | 0,44                | 0,57                | 0,45                | 0,58                |
| 120                        | 0,29                                     | 0,38                | 0,48                | 0,39                | 0,49                | 0,40                | 0,50                | 0,41                | 0,50                | 0,43                | 0,52                | 0,44                | 0,53                |
| 150                        | 0,23                                     | 0,37                | 0,44                | 0,38                | 0,45                | 0,40                | 0,46                | 0,40                | 0,46                | 0,43                | 0,49                | 0,43                | 0,49                |
| 185                        | 0,19                                     | 0,36                | 0,41                | 0,38                | 0,42                | 0,39                | 0,43                | 0,40                | 0,44                | 0,42                | 0,46                | 0,43                | 0,47                |
| 240                        | 0,14                                     | 0,35                | 0,38                | 0,37                | 0,39                | 0,38                | 0,40                | 0,39                | 0,42                | 0,41                | 0,43                | 0,42                | 0,44                |
| 300                        | 0,12                                     | 0,35                | 0,37                | 0,36                | 0,38                | 0,37                | 0,39                | 0,38                | 0,40                | 0,40                | 0,42                | 0,42                | 0,43                |

Cables tripolares bajo plomo, aislamiento compound  
Conductores de cobre

| Sección<br>mm <sup>2</sup> | R <sub>30</sub><br>Ω/km<br>y por fase | 30 kV               |                     | 45 kV               |                     | 60 kV               |                     |
|----------------------------|---------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                            |                                       | X<br>Ω/km<br>y fase | Z<br>Ω/km<br>y fase | X<br>Ω/km<br>y fase | Z<br>Ω/km<br>y fase | X<br>Ω/km<br>y fase | Z<br>Ω/km<br>y fase |
| 35                         | 0,53                                  | 0,160               | 0,55                | -                   | -                   | -                   | -                   |
| 50                         | 0,36                                  | 0,155               | 0,39                | 0,165               | 0,40                | -                   | -                   |
| 70                         | 0,27                                  | 0,145               | 0,31                | 0,160               | 0,31                | 0,172               | 0,32                |
| 95                         | 0,20                                  | 0,140               | 0,24                | 0,153               | 0,25                | 0,166               | 0,26                |
| 120                        | 0,16                                  | 0,137               | 0,21                | 0,150               | 0,22                | 0,162               | 0,23                |
| 150                        | 0,13                                  | 0,135               | 0,19                | 0,147               | 0,20                | 0,158               | 0,21                |
| 185                        | 0,11                                  | 0,130               | 0,17                | 0,143               | 0,18                | 0,155               | 0,19                |
| 240                        | 0,08                                  | 0,128               | 0,15                | 0,140               | 0,16                | 0,152               | 0,17                |
| 300                        | 0,07                                  | 0,125               | 0,14                | 0,138               | 0,15                | 0,150               | 0,17                |

## Conductores de aluminio

| Sección<br>mm <sup>2</sup> | R <sub>30</sub><br>Ω/km<br>y por fase | 30 kV               |                     | 45 kV               |                     | 60 kV               |                     |
|----------------------------|---------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                            |                                       | X<br>Ω/km<br>y fase | Z<br>Ω/km<br>y fase | X<br>Ω/km<br>y fase | Z<br>Ω/km<br>y fase | X<br>Ω/km<br>y fase | Z<br>Ω/km<br>y fase |
| 35                         | 0,88                                  | 0,160               | 0,89                | -                   | -                   | -                   | -                   |
| 50                         | 0,62                                  | 0,155               | 0,64                | 0,165               | 0,64                | -                   | -                   |
| 70                         | 0,44                                  | 0,145               | 0,46                | 0,160               | 0,47                | 0,172               | 0,47                |
| 95                         | 0,33                                  | 0,140               | 0,36                | 0,153               | 0,36                | 0,163               | 0,37                |
| 120                        | 0,27                                  | 0,137               | 0,30                | 0,150               | 0,31                | 0,160               | 0,31                |
| 150                        | 0,21                                  | 0,135               | 0,25                | 0,144               | 0,25                | 0,152               | 0,26                |
| 185                        | 0,18                                  | 0,130               | 0,22                | 0,140               | 0,23                | 0,145               | 0,23                |
| 240                        | 0,14                                  | 0,128               | 0,19                | 0,135               | 0,20                | 0,142               | 0,20                |
| 300                        | 0,11                                  | 0,125               | 0,17                | 0,130               | 0,17                | 0,136               | 0,18                |

Cables unipolares, armados, a temperatura ambiente  
Conductores de cobre

| Sección<br>mm <sup>2</sup> | 60 kV (aisl. compound)            |                     |                     | 60 kV (aisl. aceite)              |                     |                     | 110 kV (aisl. aceite)             |                     |                     | 220 kV (aisl. aceite)             |                     |                     |
|----------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|
|                            | R <sub>30</sub><br>Ω/km<br>y fase | X<br>Ω/km<br>y fase | Z<br>Ω/km<br>y fase | R <sub>30</sub><br>Ω/km<br>y fase | X<br>Ω/km<br>y fase | Z<br>Ω/km<br>y fase | R <sub>30</sub><br>Ω/km<br>y fase | X<br>Ω/km<br>y fase | Z<br>Ω/km<br>y fase | R <sub>30</sub><br>Ω/km<br>y fase | X<br>Ω/km<br>y fase | Z<br>Ω/km<br>y fase |
| 95                         | 0,31                              | 0,22                | 0,38                | 0,32                              | 0,20                | 0,38                | 0,32                              | 0,19                | 0,37                | -                                 | -                   | -                   |
| 120                        | 0,27                              | 0,21                | 0,34                | 0,28                              | 0,19                | 0,34                | 0,28                              | 0,18                | 0,33                | -                                 | -                   | -                   |
| 150                        | 0,24                              | 0,20                | 0,31                | 0,25                              | 0,19                | 0,31                | 0,25                              | 0,18                | 0,31                | 0,24                              | 0,18                | 0,30                |
| 185                        | 0,21                              | 0,20                | 0,29                | 0,22                              | 0,19                | 0,28                | 0,22                              | 0,18                | 0,28                | 0,21                              | 0,18                | 0,28                |
| 240                        | 0,19                              | 0,19                | 0,27                | 0,20                              | 0,18                | 0,27                | 0,20                              | 0,18                | 0,27                | 0,19                              | 0,17                | 0,26                |
| 300                        | 0,17                              | 0,18                | 0,25                | 0,18                              | 0,18                | 0,25                | 0,18                              | 0,17                | 0,25                | 0,17                              | 0,17                | 0,24                |
| 400                        | 0,16                              | 0,17                | 0,23                | 0,16                              | 0,17                | 0,23                | 0,16                              | 0,17                | 0,23                | 0,15                              | 0,17                | 0,23                |
| 500                        | -                                 | -                   | -                   | -                                 | -                   | -                   | 0,15                              | 0,16                | 0,22                | 0,14                              | 0,16                | 0,22                |

## Conductores de aluminio

| Sección<br>mm <sup>2</sup> | 60 kV (aisl. compound)            |                     |                     | 60 kV (aisl. aceite)              |                     |                     | 110 kV (aisl. aceite)             |                     |                     | 220 kV (aisl. aceite)             |                     |                     |
|----------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|
|                            | R <sub>30</sub><br>Ω/km<br>y fase | X<br>Ω/km<br>y fase | Z<br>Ω/km<br>y fase | R <sub>30</sub><br>Ω/km<br>y fase | X<br>Ω/km<br>y fase | Z<br>Ω/km<br>y fase | R <sub>30</sub><br>Ω/km<br>y fase | X<br>Ω/km<br>y fase | Z<br>Ω/km<br>y fase | R <sub>30</sub><br>Ω/km<br>y fase | X<br>Ω/km<br>y fase | Z<br>Ω/km<br>y fase |
| 95                         | 0,44                              | 0,22                | 0,49                | 0,46                              | 0,20                | 0,50                | 0,46                              | 0,19                | 0,50                | -                                 | -                   | -                   |
| 120                        | 0,37                              | 0,21                | 0,42                | 0,39                              | 0,19                | 0,43                | 0,39                              | 0,18                | 0,43                | -                                 | -                   | -                   |
| 150                        | 0,32                              | 0,20                | 0,38                | 0,34                              | 0,19                | 0,39                | 0,33                              | 0,18                | 0,38                | 0,32                              | 0,18                | 0,37                |
| 185                        | 0,28                              | 0,20                | 0,34                | 0,30                              | 0,19                | 0,36                | 0,30                              | 0,18                | 0,35                | 0,29                              | 0,18                | 0,34                |
| 240                        | 0,24                              | 0,19                | 0,31                | 0,25                              | 0,18                | 0,32                | 0,25                              | 0,18                | 0,31                | 0,24                              | 0,17                | 0,30                |
| 300                        | 0,22                              | 0,18                | 0,28                | 0,23                              | 0,18                | 0,29                | 0,22                              | 0,17                | 0,28                | 0,21                              | 0,17                | 0,27                |
| 400                        | 0,19                              | 0,17                | 0,26                | 0,20                              | 0,17                | 0,26                | 0,20                              | 0,17                | 0,26                | 0,19                              | 0,17                | 0,25                |
| 500                        | -                                 | -                   | -                   | -                                 | -                   | -                   | 0,18                              | 0,16                | 0,24                | 0,17                              | 0,16                | 0,23                |

Cables unipolares, no armados, a temperatura ambiente  
Conductores de cobre

| Sección<br>mm <sup>2</sup> | 60 kV (aisl. compound)            |                     |                     | 60 kV (aisl. aceite)              |                     |                     | 110 kV (aisl. aceite)             |                     |                     | 220 kV (aisl. aceite)             |                     |                     |
|----------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|
|                            | R <sub>30</sub><br>Ω/km<br>y fase | X<br>Ω/km<br>y fase | Z<br>Ω/km<br>y fase | R <sub>30</sub><br>Ω/km<br>y fase | X<br>Ω/km<br>y fase | Z<br>Ω/km<br>y fase | R <sub>30</sub><br>Ω/km<br>y fase | X<br>Ω/km<br>y fase | Z<br>Ω/km<br>y fase | R <sub>30</sub><br>Ω/km<br>y fase | X<br>Ω/km<br>y fase | Z<br>Ω/km<br>y fase |
| 95                         | 0,22                              | 0,23                | 0,32                | 0,23                              | 0,21                | 0,31                | 0,24                              | 0,20                | 0,31                | -                                 | -                   | -                   |
| 120                        | 0,18                              | 0,22                | 0,29                | 0,19                              | 0,20                | 0,28                | 0,19                              | 0,19                | 0,27                | -                                 | -                   | -                   |
| 150                        | 0,15                              | 0,21                | 0,26                | 0,16                              | 0,20                | 0,26                | 0,16                              | 0,19                | 0,25                | 0,17                              | 0,19                | 0,26                |
| 185                        | 0,12                              | 0,21                | 0,24                | 0,13                              | 0,20                | 0,24                | 0,13                              | 0,19                | 0,23                | 0,15                              | 0,19                | 0,24                |
| 240                        | 0,10                              | 0,20                | 0,22                | 0,11                              | 0,19                | 0,22                | 0,11                              | 0,19                | 0,22                | 0,12                              | 0,18                | 0,22                |
| 300                        | 0,09                              | 0,19                | 0,21                | 0,09                              | 0,29                | 0,21                | 0,09                              | 0,18                | 0,20                | 0,10                              | 0,18                | 0,21                |
| 400                        | 0,08                              | 0,18                | 0,20                | 0,08                              | 0,18                | 0,20                | 0,08                              | 0,18                | 0,20                | 0,09                              | 0,18                | 0,20                |
| 500                        | -                                 | -                   | -                   | -                                 | -                   | -                   | 0,07                              | 0,17                | 0,19                | 0,08                              | 0,17                | 0,19                |

### Conductores de aluminio

| Sección<br>mm <sup>2</sup> | 60 kV (aisl. compound) |                |                | 60 kV (aisl. aceite) |                |                | 110 kV (aisl. aceite) |                |                | 220 kV (aisl. aceite) |                |                |
|----------------------------|------------------------|----------------|----------------|----------------------|----------------|----------------|-----------------------|----------------|----------------|-----------------------|----------------|----------------|
|                            | R <sub>20°</sub>       | X              | Z              | R <sub>20°</sub>     | X              | Z              | R <sub>20°</sub>      | X              | Z              | R <sub>20°</sub>      | X              | Z              |
|                            | Ω/km<br>y fase         | Ω/km<br>y fase | Ω/km<br>y fase | Ω/km<br>y fase       | Ω/km<br>y fase | Ω/km<br>y fase | Ω/km<br>y fase        | Ω/km<br>y fase | Ω/km<br>y fase | Ω/km<br>y fase        | Ω/km<br>y fase | Ω/km<br>y fase |
| 95                         | 0,35                   | 0,23           | 0,42           | 0,38                 | 0,21           | 0,43           | 0,38                  | 0,20           | 0,43           | -                     | -              | -              |
| 120                        | 0,29                   | 0,22           | 0,36           | 0,30                 | 0,20           | 0,37           | 0,31                  | 0,19           | 0,36           | -                     | -              | -              |
| 150                        | 0,23                   | 0,21           | 0,31           | 0,25                 | 0,20           | 0,32           | 0,26                  | 0,19           | 0,32           | 0,27                  | 0,19           | 0,33           |
| 185                        | 0,20                   | 0,21           | 0,29           | 0,21                 | 0,20           | 0,29           | 0,22                  | 0,19           | 0,29           | 0,22                  | 0,19           | 0,29           |
| 240                        | 0,16                   | 0,20           | 0,26           | 0,16                 | 0,19           | 0,26           | 0,17                  | 0,19           | 0,25           | 0,18                  | 0,18           | 0,25           |
| 300                        | 0,13                   | 0,19           | 0,23           | 0,14                 | 0,19           | 0,24           | 0,14                  | 0,18           | 0,23           | 0,15                  | 0,18           | 0,23           |
| 400                        | 0,11                   | 0,18           | 0,21           | 0,11                 | 0,18           | 0,21           | 0,11                  | 0,18           | 0,21           | 0,12                  | 0,18           | 0,21           |
| 500                        | -                      | -              | -              | -                    | -              | -              | 0,10                  | 0,17           | 0,20           | 0,11                  | 0,17           | 0,20           |

### Reactancias de compensadores síncronos y motores eléctricos de tensiones superiores a 2.300 V

| <i>Tipo de máquina</i>  | <i>Reactancia subtransitoria en porcentaje</i> |                    | <i>Reactancia transitoria en porcentaje</i> |                    |
|-------------------------|------------------------------------------------|--------------------|---------------------------------------------|--------------------|
|                         | <i>Del orden de</i>                            | <i>Valor medio</i> | <i>Del orden de</i>                         | <i>Valor medio</i> |
| Compensadores síncronos | 20 a 35                                        | 30                 | -                                           | -                  |
| Motores síncronos       |                                                |                    |                                             |                    |
| De 600 r.p.m. o más     | 10 a 20                                        | 17                 | 15 a 35                                     | 25                 |
| De 500 r.p.m. o menos   | 20 a 35                                        | 30                 | 20 a 50                                     | 40                 |
| Motores asíncronos      | 15 a 25                                        | 25                 | -                                           | -                  |

### Valores de las reactancias de cortocircuitos de transformadores

| <i>Tensión en el devanado de alta<br/>kV</i>                 | <i>Potencia aparente<br/>KVA</i> | <i>Reactancia<br/>en porcentaje<br/>de cortocircuito</i> |
|--------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------|
| <b>TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN</b><br><i>Monofásicos</i> |                                  |                                                          |
| De 2,4 a 4,8                                                 | menor de 100                     | 1,7 a 3,4                                                |
|                                                              | de 150 a 500                     | 3,3 a 4,4                                                |
| De 6,9 a 13,8                                                | menor de 100                     | 1,7 a 4,8                                                |
|                                                              | de 150 a 500                     | 4,0 a 4,9                                                |
| De 22 a 33                                                   | igual o menor que 500            | 4,1 a 5,5                                                |
| De 44 a 66                                                   | igual o menor que 500            | 5,5 a 7,5                                                |

Valores de las reactancias de cortocircuito de autotransformadores con  
arrollamiento terciario en triángulo

| Relación de transformación | Reactancia en porcentaje de cortocircuito |             |             |          |          |          |
|----------------------------|-------------------------------------------|-------------|-------------|----------|----------|----------|
|                            | $X_{AT/MT}$                               | $X_{AT/BT}$ | $X_{MT/BT}$ | $X_{AT}$ | $X_{MT}$ | $X_{BT}$ |
| 120 MVA<br>275/132 kV      | 15.0                                      | 38.0        | 18.0        | 17.5     | -2.5     | 20.5     |
| 180 MVA<br>275/132 kV      | 14.6                                      | 40.2        | 19.8        | 17.5     | -2.9     | 22.7     |
| 240 MVA<br>275/132 kV      | 20.0                                      | 45.0        | 21.6        | 21.7     | -1.7     | 23.3     |
| 240 MVA<br>275/132 kV      | 20.0                                      | 32.5        | 11.5        | 20.5     | -0.5     | 12.0     |
| 500 MVA<br>400/275 kV      | 12.0                                      | 80.0        | 52.0        | 20.0     | -8.0     | 60.0     |
| 750 MVA<br>400/275 kV      | 12.0                                      | 85.0        | 60.0        | 18.5     | -6.5     | 66.5     |

Valores de las reactancias de cortocircuito de transformadores de dos arrollamientos

[illegible]

Valores de las reactancias de cortocircuito  
de generadores síncronos

| Tipo y características de máquina                   | Secuencia directa |       |       | Secuencia inversa | Secuencia homopolar |
|-----------------------------------------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|---------------------|
|                                                     | $X_{ST}$          | $X_T$ | $X_S$ | $X_1$             | $X_0$               |
| 11 kV polos salientes alternador sin amortiguadores | 22,0              | 33,0  | 110   | 22,0              | 6,0                 |
| 11,8 kV 75 MVA turbo-alternador                     | 12,5              | 17,5  | 201   | 13,5              | 6,7                 |
| 11,8 kV 70 MVA gas turbo-alternador                 | 10,0              | 14,0  | 175   | 13,0              | 5,0                 |
| 11,8 kV 87,5 MVA gas turbo-alternador               | 14,0              | 19,0  | 195   | 16,0              | 7,5                 |
| 13,8 kV 125 MVA turbo-alternador                    | 20,0              | 28,0  | 206   | 22,4              | 9,4                 |
| 16,0 kV 324 MVA turbo-alternador                    | 16,0              | 21,5  | 260   | 18,0              | 6,0                 |
| 18,5 kV 353 MVA turbo-alternador                    | 19,0              | 25,5  | 265   | 19,0              | 11,0                |
| 22 kV 588 MVA turbo-alternador                      | 20,5              | 28,0  | 255   | 20,0              | 6,0-12,0            |
| 23 kV 776 MVA turbo-alternador                      | 23,0              | 28,0  | 207   | 26,0              | 15,0                |

## CAPITULO 2

# EQUIPOS ASOCIADOS A LAS PROTECCIONES

Se consideran como tales aquellos que suministran la información o realizan las operaciones necesarias para que las protecciones puedan llevar a cabo su cometido.

### 2.1 Transformadores de medida

Para el control y protección de los sistemas eléctricos es necesario disponer de información de su estado, es decir, conocer el valor de la tensión y de la intensidad. Estas magnitudes se utilizan en relés, aparatos de medida, contadores, etc., que normalmente están montados en paneles o pupitres centralizados.

En general, las magnitudes que se deben controlar o medir son tensiones y corrientes elevadas. Los inconvenientes de utilizar directamente éstas son evidentes. Por ello, cuando se inició el uso de la corriente alterna se utilizaron transformadores de medida (1899) para obtener la separación galvánica de los circuitos, aparatos de medida y protecciones respecto a la alta tensión, y reducir los valores de la intensidad y la tensión a niveles más manejables. En función de su utilización se clasifican en:

- Transformadores de intensidad (T/I)
- Transformadores de tensión (T/T)

Las principales características que cabe considerar en la elección de un transformador de medida son:

1. Dimensionamiento del aislamiento para la tensión de utilización y la ubicación.
2. Precisión en la reproducción de la magnitud primaria.
3. Calentamiento del equipo y capacidad de sobrecargas.

De la correcta definición de estos parámetros dependerá el funcionamiento de los equipos de protección en los momentos críticos.