

Una instalación eléctrica de BT (400 V) se conecta a la red de MT (20 kV) mediante un CT propio, para ser cedido a Compañía.

La línea general LG que parte del CT al CGBT, tienen una longitud de 200 m siendo su resistencia de 2 mΩ/Km y su reactancia de 0.08mΩ/Km.

El CT se ha instalado sobre un terreno de resistividad 100 Ω.m, siendo su resistencia de puesta a tierra de las masas de 7.5 Ω, tomando las oportunas medidas de seguridad, tales como instalar mallazo y evitando que todo elemento metálico que de al exterior pueda quedar a tensión.

La ST que alimenta al CT está situada a 2 Km del mismo y se unen mediante una línea trifásica enterrada bajo tubo, realizada con cable de aluminio aislados con HEPR.

Esta línea debe poder transportar 2MW con fdp 0.9 inductivo.

La puesta a tierra del neutro de la ST tiene de valor $j23\Omega$.

La corriente de cortocircuito trifásico de la red de MT es 15 kA durante 1 segundo.

Las protecciones de falta a tierra actúan en 0.7 segundos.

Desde el cuadro general de BT parte una línea L1, de 300 m de longitud que alimenta una parte de la instalación compuesta por:

1 motor de 400/230 V, 50 kW, fdp=0.89, rendimiento del 94 %
3 motores de 690/400 V, 25 kW, fdp=0.85, rendimiento del 92 %
Resistencias de caldeo, trifásicas, de 400 V, 15 kW

- 1.- Diseñar el CT en el supuesto que tenga que suministrar a un conjunto de industrias y oficinas una potencia de 1800 kW.
- 2.- Si se produce una falta a tierra en el interior del CT, determinar la corriente de defecto a tierra, así como la ddp entre las masas del CT y un punto muy alejado del mismo.
Si la pat de servicio de BT se encuentra a 30 m, y la pat de protección de las masas de BT a 300 m, ¿está bien diseñada la pat de protección de MT?
Suponer para el cálculo de tensiones transferidas que el electrodo es semiesférico y está en el centro del CT.
- 3.- Calcular las tensiones de contacto y de paso máximas, en el interior y exterior del CT. ¿Es reglamentariamente admisible?
Las dimensiones del CT son: 3500 x 3000 mm y las distancias se pueden calcular desde en centro geométrico del mismo. Suponer para el cálculo de tensiones que se distribuyen según la expresión $V(r) = V(\infty) \cdot r_0/r$
- 4.- Diseñar la línea de MT por calentamiento y por caída de tensión, utilizando Normas Particulares de Compañía Distribuidora. ¿Qué valor tiene la intensidad máxima admisible?
- 5.- Intensidad de diseño de la línea L1.

- 6.- Poder de corte mínimo de los fusibles situados en el origen de la línea LG.
Suponer para este apartado que el transformador del CT es de 20/0.4 kV
2MVA,ucc=uxcc=5%, y que la red de MT tiene una Scc= 250 MVA.

En funcionamiento normal, el conjunto de cargas (BT) descritas se puede asimilar a una carga de 220 A, fdp=0.85 (ind), funcionando 4500 h/año.

- 7.- Pérdidas anuales en la línea L1.

Suponer $RL=10/S$ (S en mm^2 RL en Ω) siendo $S= 300 mm^2$

- 8.- Ahorro de energía que supondría utilizar la sección de cable inmediatamente superior

La sección actual es $S= 240 mm^2$, siendo la sección siguiente $300 mm^2$.

- 9.- Considerando un coste de la energía de 0.05 euros/kWh y el coste de los cables para las secciones consideradas 170 euros/ mm^2 Km, ¿En cuantos años se amortizará la diferencia de precio entre las dos secciones?.

- 10.- Para el grupo de cargas que alimenta la línea L1, determinar la batería de condensadores comercial necesaria para que el fdp sea de 0.95 (ind).

Suponer la carga de 220 A, con fdp=0.85 (ind)

SOLUCIÓN.

- 1.- Como va a suministrar a oficinas e industrias, el factor de simultaneidad es 0.5 y el factor de potencia 0.9.

La potencia es de 1800 kW, luego:

$$S_{\text{diseño}} = 1800 \times 0.5 / 0.9 = 1000 \text{ kVA}$$

lo que implica

CT de interior,

2X630 kVA, 2L+2P (por cada transformador, una celda de protección).

- 2.- La corriente de defecto a tierra en un fallo en el interior del CT es:

$$I_d = \frac{U_{ar} / \sqrt{3}}{\sqrt{R_{i,cr}^2 + X_{a,m}^2}} = \frac{20000 / \sqrt{3}}{\sqrt{7.5^2 + 25^2}} = 477.3 \text{ A}$$

siendo la diferencia de potencial entre las masas de pat y un punto muy alejado:

$$V_{\infty} = 7.5 \times 477.3 = 3579.75 \text{ V}$$

Considerando que el electrodo de la pat de protección del CT es semiesférico y está situado en el centro del CT, a 30 y 300 metros la tensión transferida resulta ser:

$$V(30) = 100 \times 477.3 / 2 \pi \times 30 = 253.21 \text{ V} < 1000 \text{ V}$$

$$V(300) = 25.32 \text{ V} < 50 \text{ V} \text{ (ITC-BT 19)}$$

lo que confirma que es reglamentaria.

3.- En el interior $V_{cm}=V_{pm}=0$

En el exterior $V_{cm}=0$ (ya que es imposible que desde fuera suframos contacto porque se ha evitado que todo elemento metálico del CT que de al exterior quede a tensión).

$V_{pm}=V_{\infty} \cdot 1.5 / (1.5 - 1/2.5) = 1431.9 \text{ V}$ (a un metro de la entrada del CT, considerando 1.5 m la distancia desde el centro a la salida del CT).

Para ver si es reglamentariamente admisible, calculamos la tensión de paso admisible:

$$V_{p adm} = V_{pa adm} \left(1 + \frac{\epsilon_p}{1000} \right) = 10 \frac{K}{t} \left(1 + \frac{\epsilon_p}{1000} \right) = 1645.71 \text{ V}$$

donde $K=72$ $n=1$ ya que el tiempo de actuación es $0.7 \text{ s} < 0.9 \text{ s}$

resultando que si es admisible ya que $V_{pm} < V_{p adm}$.

4.- Para Normas Particulares de Compañía en MT subterráneas:

Térmico:

$$I_B = \frac{2 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 20000 \cdot 0.9} = 64.15 \text{ A} \rightarrow \frac{I_a}{f_r} = \frac{64.15}{0.8} = 80.18 \text{ A} \rightarrow S = 150 \text{ mm}^2 \quad I_{20} = 330 \text{ A}$$

Caída de tensión:

$$u(\%) = \frac{\sqrt{3} (R \cos \varphi + X \sin \varphi) I}{U} \cdot 100 = 0.33 \%$$

ya que

$$U = 20000 \text{ V} \quad I = 64.15 \text{ A} \quad R = 0.277 \Omega/\text{Km} \quad X = 0.112 \Omega/\text{Km} \quad l = 2 \text{ Km}$$

siendo menor del 5%.

Cortocircuito:

$I_{cc adm}(1s) = 14.1 \text{ kA}$ para $S = 150 \text{ mm}^2$ que es menor que $I_{cc}(1s) = 15 \text{ kA}$ en MT, luego no cumple y debemos aumentar a $S = 240 \text{ mm}^2$.

Los demás criterios se cumplen al aumentar la sección.

Luego la solución es 240 mm^2 $I_{z0} = 435 \text{ A} \rightarrow I_z = f_c I_{z0} = 348 \text{ A}$ que es la máxima corriente admisible en las condiciones del problema.

5.- Según la ITC-BT 47 la corriente de diseño para la línea L1 es:

$$I_b = 1.25 \left(\frac{50000/0.94}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.89} (-\arccos 0.89) \right) + 3 \left(\frac{25000/0.92}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.85} (-\arccos 0.85) \right) + \frac{1500}{\sqrt{3} \cdot 400} (0^\circ) = 265.07(-27.41) \text{ A}$$

luego 265.07 A.

6.- El poder de corte mínimo es el valor de la corriente de cortocircuito máxima que el dispositivo vería:

$$I_{ccm\acute{a}x} = \frac{E_{zap}}{\text{Abs}(\sum \vec{Z}_i)}$$

Como se trata de los fusibles que están en el origen de la línea general, el equivalente de Thevenin sólo incluye la red de media y el transformador:

$$S_{cc}(MT) = 250 \text{ MA} \rightarrow \vec{Z}_{e2} = (0.07 + j0.7) \text{ m}\Omega$$

Para el transformador $E_{02} = 420/\sqrt{3} \text{ V}$ y el valor de la impedancia, que es sólo inductiva ya que $U_{cc} = U_{xcc}$ es:

$$I_{2N} = \frac{S_{2N}}{\sqrt{3} U_{2N}} = \frac{2.10^6}{\sqrt{3} \cdot 400} = 2887 \text{ A}$$

$$u_{xcc} (\%) = \frac{X_{e2} I_{2N}}{U_{2N}} 100 = 5$$

$$\text{resultando: } \vec{Z}_{e2} = j3.99 \text{ m}\Omega$$

y el poder de corte mínimo:

$$P_{dcmin} = \frac{\frac{420}{\sqrt{3}}}{\sqrt{(0.07)^2 + (0.7 + 3.99)^2}} = 51.69 \text{ kA}$$

7.- Las pérdidas anuales se calculan en Kwh :

$$W = 3 R_L I_L^2 t(h) = 3 (10/240) 220^2 4500 = 27225 \text{ Kwh/año}$$

8.- El ahorro de energía será la diferencia entre el consumo con la sección de 240 y la de 300 mm²:

$$\text{Ahorro de energía} = 27225 - 27225 (240/300) = 5445 \text{ Kwh/año}$$

9.- Para calcular el tiempo de amortización, valoramos el gasto por incremento de sección y anualmente cuanto ahorraríamos en euros:
(Recordemos que la longitud de la línea es de 300 m y que es trifásica)

$$\text{Gasto por incremento de sección} = 3 \cdot (300-240) \cdot 170 \cdot 0'3 = 21420 \text{ euros}$$

$$\text{Ahorro de energía por año} = 0'05 \cdot 5445 = 272.25 \text{ euros /año}$$

$$\text{Tiempo de amortización} = 21420 / 272.25 = 78.67 \text{ años.}$$

10.- La potencia activa que consumen las cargas es:

$$P = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 220 \cdot 0.85 = 129.55 \text{ kW}$$

los factores de potencia son dato,

y para mejorar utilizamos condensadores que suministren reactiva según:

$$Q_c = P(\text{tg}\varphi - \text{tg}\varphi')$$

resultando 37.69 kVar.

Elegimos una batería comercial de 35 kVar.