Ejercicio 7

Dimensionamiento eléctrico de una línea de transporte de corta longitud

Una línea trifásica, cuyos conductores están situados en un mismo plano horizontal, con una distancia entre conductores contiguos de 5 m, enlaza una subestación de distribución con un cetro de consumo industrial distante de ella 85 km. La potencia absorbida por el centro de consumo es de 30 MW, cos φ = 0,9 inductivo, a 132 kV. Supuesto que el conductor es LA 280 y que la máxima temperatura que va a alcanzar es de 50ºC, determinar:

1.- Si en la situación a plena carga supera una caída de tensión del 5%.

2.- Si se puede hacer el transporte en las condiciones anteriores en el caso de que el consumo aumente a 40 MW, con el mismo factor de potencia. En caso negativo, analizar la situación que resulta del empleo de un conductor dúplex formado por dos conductores **LA-280** separados 40 cm.

3.- En ambos casos, comprobar si se supera la máxima intensidad admisible.

4.- Calcular las pérdidas en % en las condiciones dadas en el punto 2, supuesta la línea con conductor dúplex.

5.- Comprobar el efecto corona en ambos casos.

6.- Determinar las características mínimas de los aisladores a utilizar (coordinación de aislamiento).

Datos constructivos

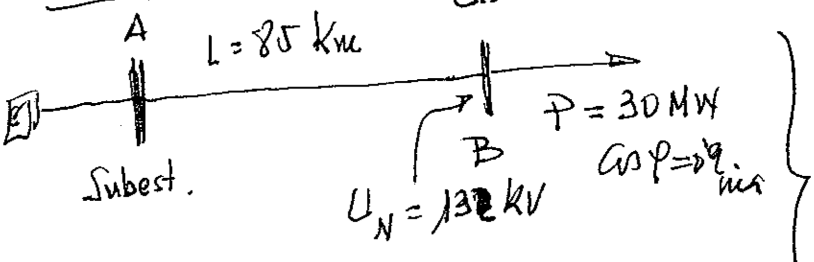
Conductor

- LA-280 ; 242AL1 39ST1A
- $T_{max} = 50°C$
- $R_{20°cc} = 0{,}1195\ \Omega/km$
- Radio medio $= 21{,}6/2$ m
- Composición 26+7

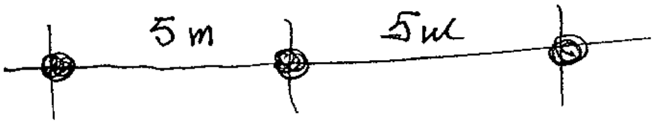
- Sección de Al $= 241{,}7\ mm^2$
- " de Ac $= 29{,}4\ mm^2$
- Sección total $281{,}1\ mm^2$

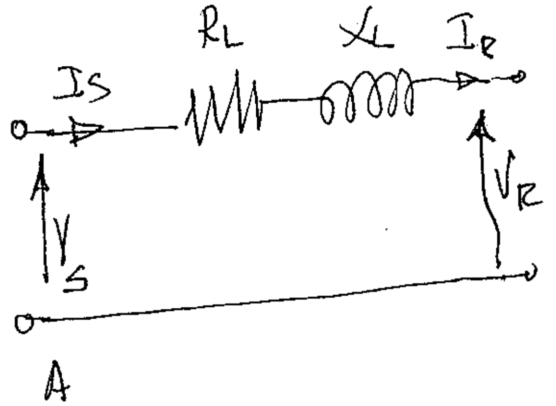
HAWK

Línea



Línea de 1ª Categoría
Línea corta $L < 100$ km





Circuito equivalente por fase

- T^a^ de servicio prevista 50º C
- T^a^ reglementaria máxima 85º C en r.p., 100 r.t

CALCULO DE LAS CTES PRIMARIAS DEL CIRCUITO EQUIVALENTE

- R_L

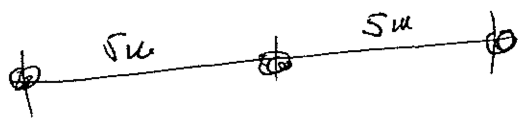
$$R_{50º} = R_{20}\left(1+\alpha_{20}\left(t(50º)-20\right)\right) \quad (1) \quad ó \quad \frac{R_2}{R_1} = \frac{T_0+\theta_2}{T_0+\theta_1} \quad (2)$$

$$r_L = 0'1194\,(1+0'00393\,(50-20)) = \boxed{0'1335}\ \Omega/Km$$

(no se tiene en cuenta efecto skin ni proximidad)

$$\begin{cases} T_{0_{Cu}} = 234{,}5\ C \\ T_{0_{Al}} = 228{,}4\ C \end{cases} \qquad \begin{cases} \alpha_{Al_{20}} = 0'00393\ C^{-1} \\ \alpha_{Cu_{20}} = 0'00403\ C^{-1} \end{cases}$$

- X_L



$$X_L = \omega L = 2\pi f \cdot L$$

$$L = 2\cdot 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{r'}\ H/m$$

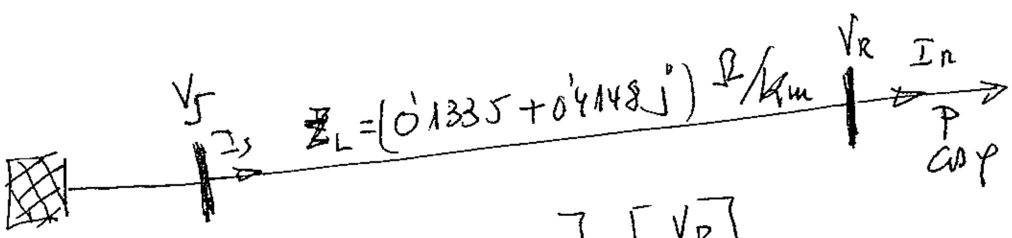
$$D_{eq} = \sqrt[3]{5\cdot 5\cdot 10}$$

$$r' = 0'7788\cdot r$$

$$r = 10'9\ mm$$

$$X_L = 2\cdot 10^{-4}\cdot \ln\frac{D_{eq}}{r'}\cdot 2\cdot\pi\cdot 50\ \Omega/Km$$

$$\boxed{X_L = 0'4148\ \Omega/Km}$$



$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z_L \\ 0 & 1 \end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \longleftarrow$$

Se verifica

$$\left.\begin{aligned} |V_S| &\simeq |V_R| + |I|\cdot R_L l\cos\varphi + X_L l\,\text{sen}\,\varphi \\ \Delta V &= \frac{|V_S|-|V_R|}{|V_R|}\times 100 \end{aligned}\right\} \Rightarrow \Delta V\% = \frac{|I|\,|r_L\cos\varphi + x_L\,\text{sen}\,\varphi|\cdot l\cdot V_R}{V_R\cdot V_R}\times 100$$

$$\Delta V = |I|\,R_L l\cos\varphi + X_L l\,\text{sen}\,\varphi$$

$$\Delta V = \left(r_L + x_L\cdot tg\varphi\right)\cdot P\cdot l$$

$$\Delta U = \frac{\overbrace{[\underbrace{0'1335}_{R_L} + \underbrace{0'4148}_{X_L} \cdot \underbrace{0'4843}_{tg\varphi}]}^{A}\ 85\ \Omega/km \cdot 30}{(132)^2} = 0'0489$$

$\cos\varphi = 0'9 \Rightarrow tg\,\varphi = 0'48$

$$\Delta U\% = \frac{\Delta V}{(V_n)} \times 100 = 4,89\%$$

$A = 0'3344$

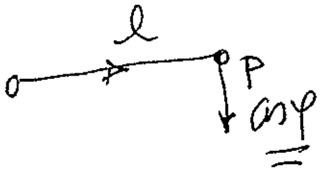
NO SE SUPERA

2) Si la carga aumenta a 40 MW

$$\Delta U = \frac{A \cdot P \cdot l}{V_L^2} \Rightarrow P \cdot l = \frac{\Delta u \cdot V^2}{A} = \frac{0'05\,(132)^2}{0'3344}$$

$\boxed{Pl = \text{Momento electrico}} \rightarrow P \cdot l = 2605,26$ (MW x Km);

Si $l = 85$ km $\Rightarrow$ $P = \frac{2605,26}{85} = \boxed{30,65 \text{ MW}}$



- En esta linea se pueden transportar con una caida máxima del 5% 30,65 MW. NO SE PUEDEN TRANSPORTAR 40 MW
- Si $\cos\varphi = 1$ La Pmax que se puede transportar es de:

$$P = \frac{\Delta u \cdot V^2}{A' \, l} = \frac{0'05 \cdot 132^2}{0'1335} = \boxed{76,77 \text{ MW}}$$

$$\cos\varphi = 1 \Rightarrow \left. \begin{array}{l} A' = 0'1335 \\ R_L' + \underbrace{X_L\, tg\,\varphi'}_{0} = R_L \end{array} \right\}$$

- Cálculo del factor de potencia límite que permite transportar los 40 MW

$$R_L + X_L\, tg\,\varphi = \frac{\Delta V \times V^2}{P \cdot l} \Rightarrow 0'1335 \cdot 0'4148 \cdot tg\,\varphi = \frac{0'05 \cdot 132^2}{40 \cdot 85}$$

$$tg\,\varphi = 0'2959 \Rightarrow \boxed{\cos\varphi = 0'9589}$$

Se puede conseguir colocando condensadores en el nudo donde está colocada la carga.

• Repotenciación de la línea utilizando conductores duplex

$DMG = \sqrt[3]{d \cdot d \cdot 2d}$

$RMG = \sqrt[2]{s \, r'}$

$S = 40$ cm

$$R_L = \frac{1}{2} \times 0'1335 = 0'066 \; \Omega/km$$

$$X_L = \omega \cdot L = 314 \left[2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{\sqrt{s \, r'}} \right] \cdot 10^{+3} \; H/km = 0'2939 \; \Omega/km$$

$$\Delta U = \frac{\overbrace{(R_L + X_L \, tg\varphi)}^{A' = 0'209} \cdot P \cdot l}{V_L^2} = 4,07 \%$$

• Pmax a $\cos\varphi = 0'9$ } $\Rightarrow$ $P = \dfrac{0'05 \times (132)^2}{85 \cdot 0'209} = 49$ MW ¡no es el doble!

3.- Intensidad máxima admisible (ITC-LAT-07) apdo 4

$S_{total} = 281,1 \; mm^2$

$$\sigma_{adm} = \begin{cases} S = 250 \, mm^2 \rightarrow \sigma = 2'3 \; A/mm^2 \\ S = 300 \, mm^2 \rightarrow \sigma = 2'15 \; A/mm^2 \end{cases}$$ para la sección de $Al = 281,1 \; mm^2$

interpolando $\sigma_d = 2'2067 \; A/mm^2$

La composición de este cable es 26+7 =

$$\sigma_{ad\,total} = 0'937 \cdot 2'2067 = 2'0676 \; A/mm^2$$

Por lo tanto para este conductor $\Rightarrow$ $I_{ad\,max} = 581,4$ A

~~Pmax = √3 132 581 · [illegible] = 264 MW~~

(3) Linea simplex con $P = 30\ MW$, $\cos\varphi = 0'9$

$$P = \sqrt{3}\, V_R \cdot I \cdot \cos\varphi$$

$$I = \frac{30 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 132 \cdot 10^3 \cdot 0'9} = 145\ A.$$

(NO SE SUPERA) $< 581\ A.$

Linea duplex con $P = 40\ MW$, $\cos\varphi = 0'9$

$$I_T = \frac{40 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 132 \cdot 10^3 \cdot 0'9} = 194.4\ A$$

$$I_{conductor} = \frac{194.4}{2} = 97\ A$$

HOLGADA

En la linea simplex

$$P_{adm} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cos\varphi = \sqrt{3} \cdot 132 \cdot 581{,}4 = \underline{\underline{132\ MW}}$$

Por capacidad del conductor es mucho mayor que la prevista. y mucho mayor que por máxima caida de tension.

En la linea duplex

$$P_{ad} = (\sqrt{3} \cdot V \cdot I) \cdot \cos\varphi \cdot 2 = \underline{\underline{264\ MW}}$$

¿Qué longitud máxima podria tener la linea para transportar las potencias del criterio de máxima densidad de corriente, respetando al mismo tiempo la ΔV máxima?

a) Linea simplex

$$\frac{P \cdot l\,(R_L + X_L \operatorname{tg}\varphi)}{V^2} = \Delta u \qquad l = \frac{0'05 \cdot 132^2}{0'334 \cdot 132{,}4} = \underline{\underline{19{,}67\ Km}}$$

b) Line duplex

$$l = \frac{0'05 \cdot 132^2}{0'209 \cdot 264} = \underline{\underline{15{,}7\ Km}}$$

Conclusion:

A la vista de estos calculos se puede decir

- Para $l <$ que las calculadas el criterio mas exigente es el de máxima densidad de corriente: la potencia a transportar no puede aumentar aunque disminuya l
- Por encima de estas longitudes el criterio mas restrictivo es el de ΔV maximo. La potencia a transportar sigue la ley

$$P l = cte \qquad \uparrow l \rightarrow P \downarrow$$

4.- Cálculo de Perdidas

Línea duplex

$$\Delta P\% = \frac{P \cdot R_L}{V_L^2 \cdot \cos^2\varphi} \times 100 = \frac{40 \cdot 0'06675}{(132)^2 \cdot 0'9^2} \times 100 = 0'0189\% / Km$$

$P = 40 MW$

$$\Delta P_{Total} = 0'0189\%/Km \times 85 = \underline{1'6065\%}$$ ¿Son aceptables?

Si se transporta la máxima potencia según el criterio de máxima densidad de corriente admisible.

$$P'_p = \frac{264 \cdot 0'06675}{132^2 \cdot (0'9)^2} = 0'113\% / Km$$

Para 85 Km $\Rightarrow P_p = 85 \times 0'113 = 9'56\%$

Superior al habitual que es el $3\% / 100 Km$

- Limite de perdidas de potencia

$$\boxed{3\% / 100 Km}$$

5.- Verificación del efecto corona en ambos casos

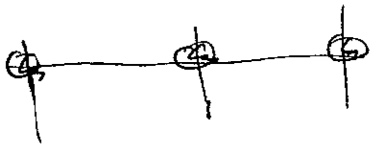
Línea duplex y simplex $P = 30 MW$

5: Comprobación del efecto corona

Calculamos la V_c (tensión crítica disruptiva)

$P =$ nivel del mar

Linea simplex



$$\delta = \frac{273+20}{273+50} \cdot \frac{P = 760}{760} = 0'9$$

$$DMG = \sqrt[3]{5 \cdot 5 \cdot 10} = \underline{6,29\, m}$$

$$RMG = \frac{21'6}{2} \cdot 10^{-3}\, m = \underline{10,8 \cdot 10^{-3}}\, m$$

$$\boxed{V_c = 21,2 \cdot \delta\, r \ln \frac{DMG}{RMG}\, n\, K_r \cdot K_m\, K_g}$$

$r = 10,8 \cdot 10^{-1}$ cm $= 1,08$ cm

$n = 1$

$K_r = 1$

$K_m = 1$ (seco)

$K_g =$ factor de cableado

$\underline{K_g = 0'76}$

Suponemos linea en ambiente seco y al nivel del mar

$$V_c = 21,2 \cdot 0'9 \cdot 1'08 \cdot \ln \frac{6,29}{10,8 \cdot 10^{-3}} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0'76 \simeq 100\, \underline{KV}$$

$$P_c = \frac{244}{0'9} \cdot (50+25) \cdot \sqrt{\frac{10,8 \cdot 10^{-5}}{6,29}} \left(V_s - V_c\right)^2 \cdot 10^{-5} \simeq 0$$

$V_s < V_c$

$$P_c = \frac{244}{\delta}(f+25) \cdot \sqrt{\frac{RMG}{DMG}} (V_s - V_c)^2 \cdot 10^{-5}$$

$\frac{132}{\sqrt{3}}$

Linea duplex

$\delta = 0'9$

$DMG \simeq 6,29\, m$

$RMG = \sqrt{r' s} = \sqrt{10,8 \cdot 10^{-3} \cdot 40 \cdot 10^{-2}} = 0'058\, m$

$\times 0'7788$

$r = 1'08$ cm

$n = 2$ $\quad K_g = 0'76$

$K_r = 1$

$K_m\ 1$

$$V_c = (21,2) \cdot 0'9 \cdot 1'08 \ln \frac{6,29}{0'058} \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0'75 =$$

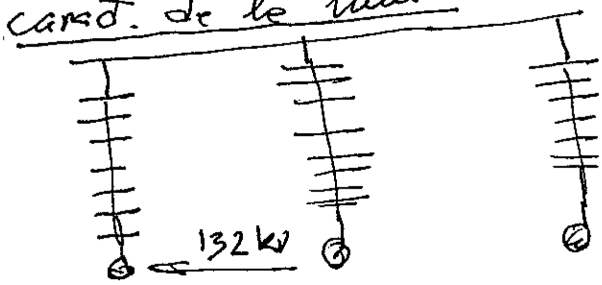
$V_c = \underline{150\, KV}$.

$V_s = \frac{132}{\sqrt{3}} < 150\, KV \Rightarrow P_c = 0$.

6: Elección de la cadena de aisladores

- Criterio eléctrico (coordinación de la cadena de aislamiento)

carat. de la línea



$U_N = 132$ kV $U_{Nf} = 76$ kV

$f = 50$ Hz

$U_m = 145$ kV; $U_{mf} = 83$ kV

Zona a nivel del mar sin contaminac

• NIVELES BÁSICO DE AISLAMIENTO (RAT)

Para la línea (NO)

U_m (145 kV)
U_N (132 kV)

= Sobretensión de maniobra (230 kV f-f, 132 kV f-N)

= Sobretensión tipo rayo (550 kV f-f, 371 kV (f-n))

• Se elige una cadena de 10 aisladores

$U_{perf} = 120$ kV

$U_N = 15$ kV ; $U_{contorneo}$ (lluvia) $= 50$ kV

U_{rayo} (10 elementos) $= 900$ kV

(10 elementos) (lluvia) $= 445$ kV ; rayo

Línea de fuga $= 380$ mm

TIPO I

Zona I

Verificación

(1) Línea de fuga: $\frac{380 \cdot 10}{145} = \frac{3800 \text{ mm}}{145} = 26$ mm/kV > 16 mm/kV

(2) Tensión soport. contorneo lluvia $= 145$ kV < 500 kV que soporta la cadena (50.10)

(3) Tensión de descarga (rayo) 10 elementos | 900 kV (seco) > 371 (f-N)
445 kV (lluvia) > 371