PROBLEMAS RESUELTOS

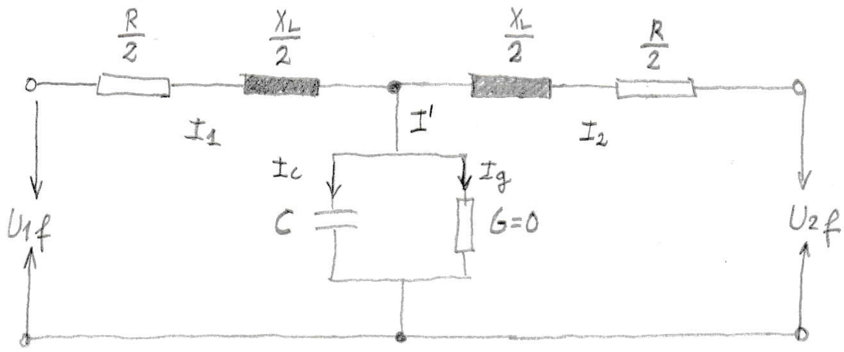
SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

PARAMETROS DISTRIBUIDOS

ELOY BELTRAN BELTRAN

FEB 2015

CUADRIPOLO T



$$\vec{U}_{1f} = \vec{U}_{2f} - \frac{R}{2}\cdot\vec{I}_1 - \frac{X_L}{2}\cdot\vec{I}_1 - \frac{R}{2}\cdot\vec{I}_2 - \frac{X_L}{2}\cdot\vec{I}_2 \quad ; \quad \vec{I}_1 = \vec{I}' + \vec{I}_2$$

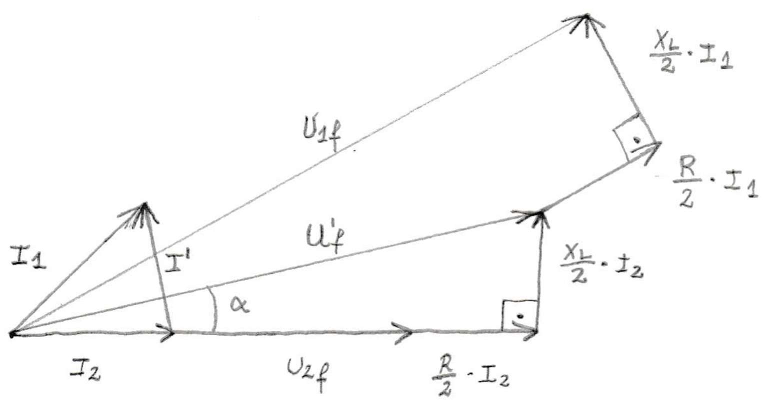
$$\vec{U}'_f = \vec{U}_{2f} - \frac{R}{2}\cdot\vec{I}_2 - \frac{X_L}{2}\cdot\vec{I}_2 \qquad \boxed{G \approx 0 \quad I_c = I'}$$

$$\vec{U}_{1f} = \vec{U}'_f - \frac{R}{2}\cdot\vec{I}_1 - \frac{X_L}{2}\cdot\vec{I}_1$$

Diagramas: LINEAS

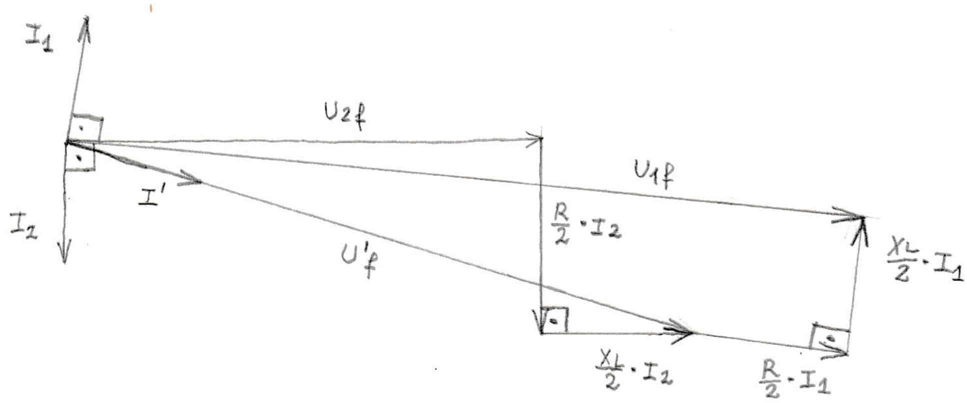
- Resistivo : (R) (Puramente Ohmico)

I' en cuadratura con U'

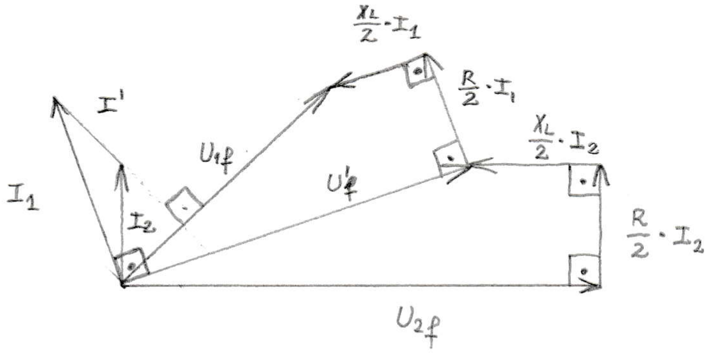


- Inductivo : (X_L) (Puramente inductivo) :

I_1 en cuadratura con U_{1f}



• Capacitivo X_c : (Puramente capacitivo)



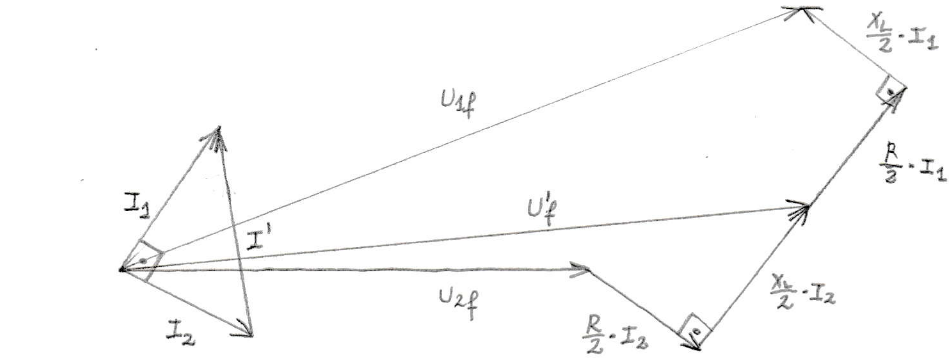
I_1 en cuadratura con U'

I_2 en cuadratura con U_{2f}

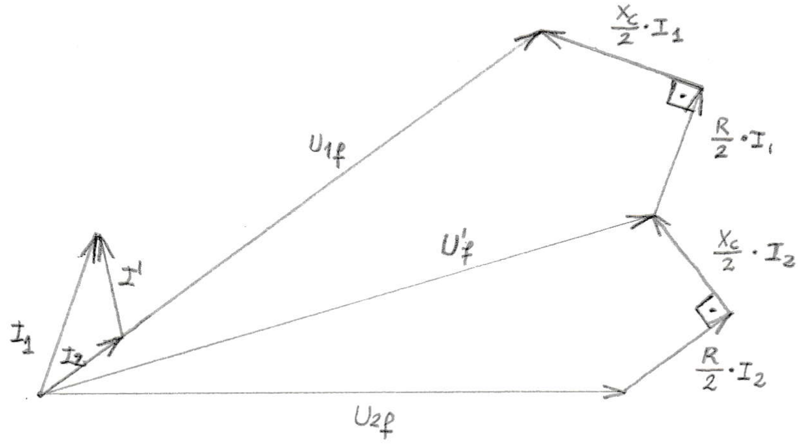
I' en cuadratura con U_{1f}

• Resistivo – Inductivo : R X_L

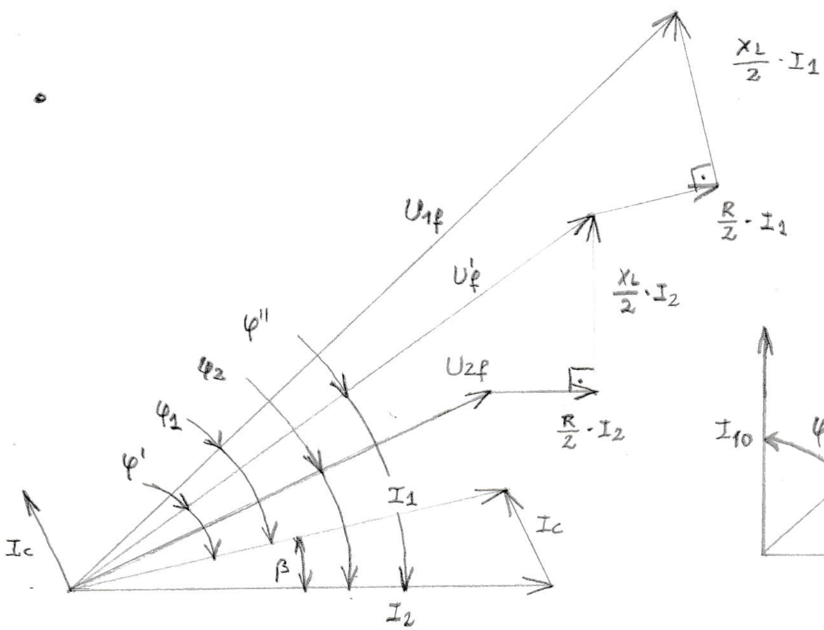
I_1 en cuadratura con I_2



• Resistivo – Capacitivo R X_c

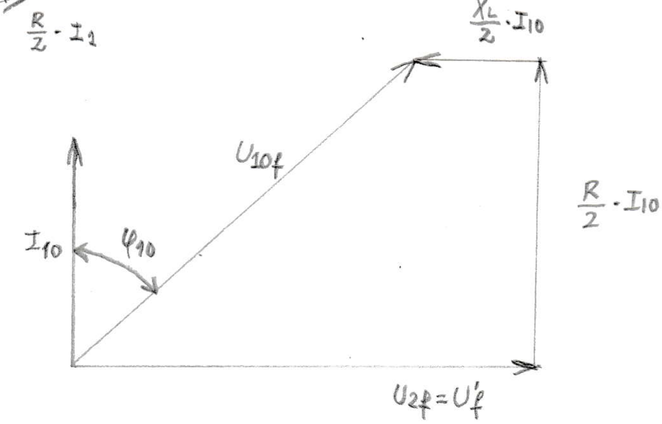


•

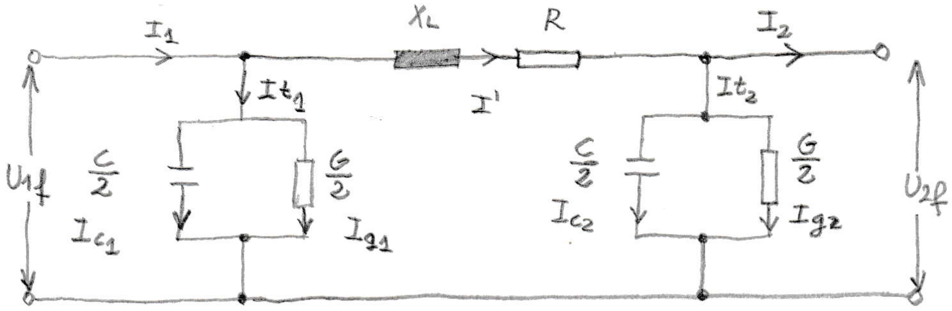


EN VACIO

$\boxed{U_2 \text{ cte}}$



CUADRIPOLO EN π

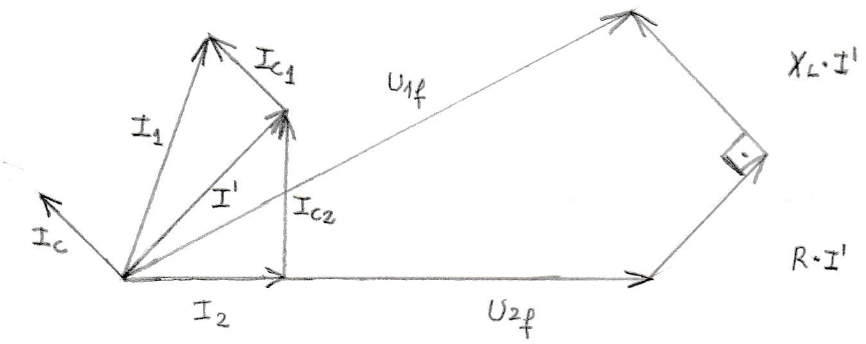


$$U_{1f} = \vec{U}_{2f} - R\cdot\vec{I}' - X_L\cdot\vec{I}'$$

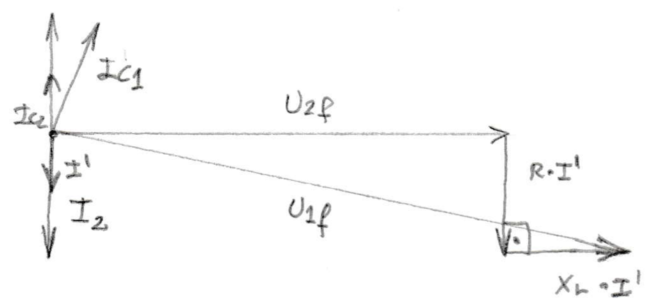
$$I_1 = I_{c_1} + I'$$
$$I' = I_{c2} + I_2$$

Diagramas:

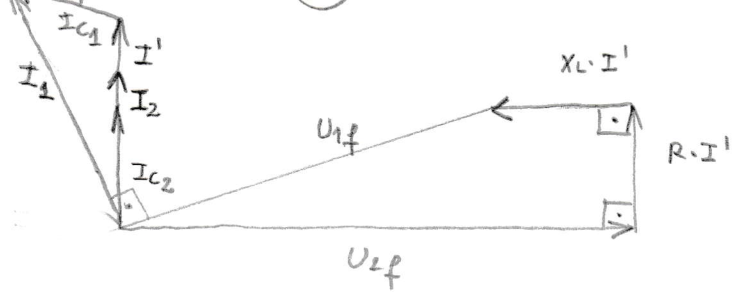
- Resistivo (Puramente Ohmico) (R)



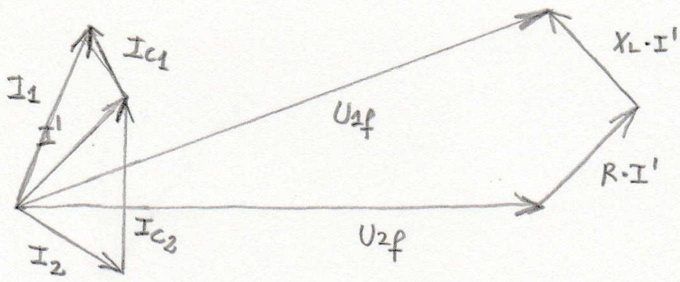
- Inductivo (X_L)



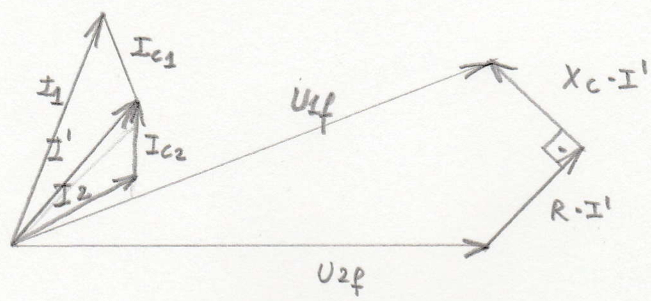
- Capacitivo: (X_C)



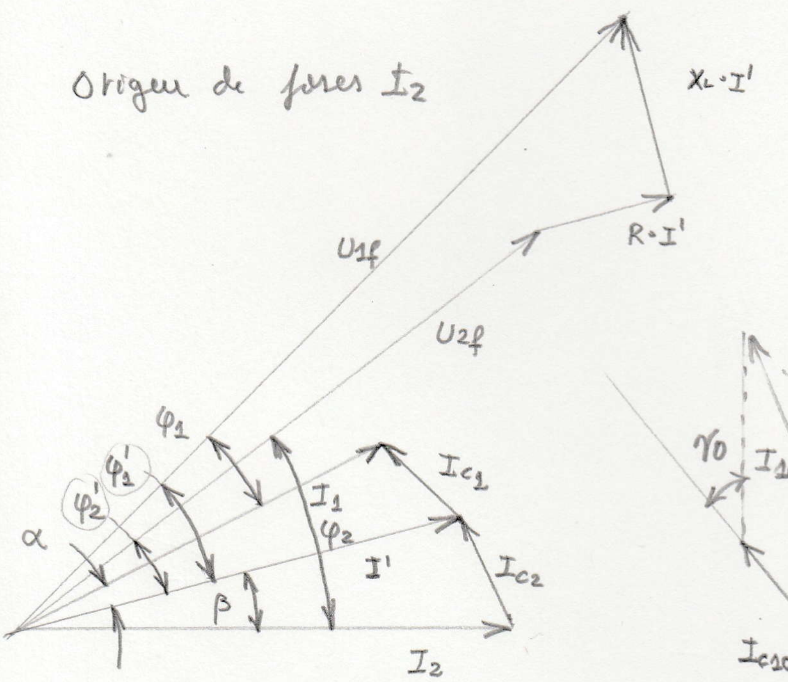
• Resistivo - Inductivo (R)-(X_L)



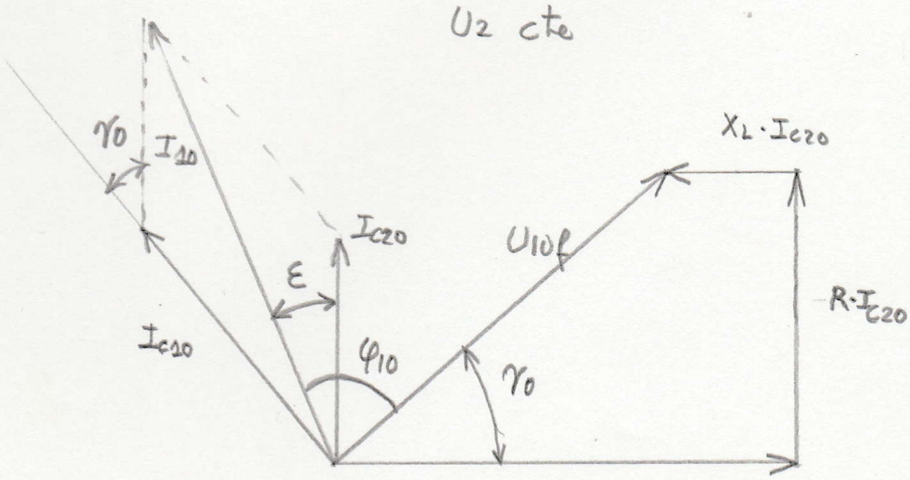
• Resistivo - Capacitivo (R)-(X_C)



Origen de fases I_2



EN VACIO
U_2 cte



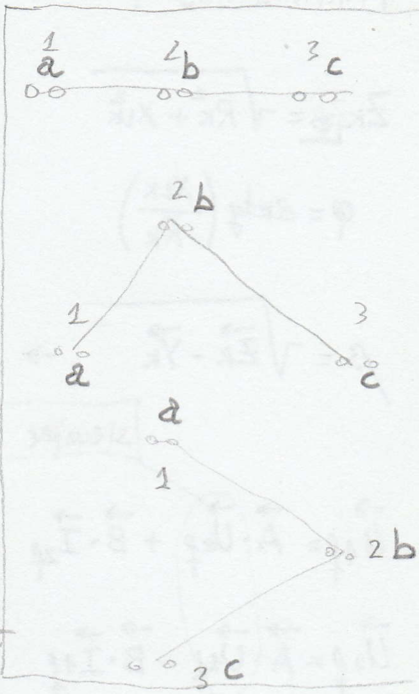
$R=\frac{\rho_{20}\cdot L}{S}$ $\quad R_2=R_1\cdot[1+\alpha\cdot(t_2-t_1)]$ $\quad R_{eq}=\frac{R_K}{\text{numero de conductores del haz}}$ (Ω/Km)

$$L_{aK}=\frac{\left(\frac{0'5}{\text{número de conductors del haz}}+2\ln\frac{d}{r_e}\right)\cdot 10^{-4}}{\text{número de ternas}}\ H/Km$$

distancia media geometricas: $d=\sqrt[3]{d_{12}\cdot d_{23}\cdot d_{31}}$ (mm)

- para 1 terna: →

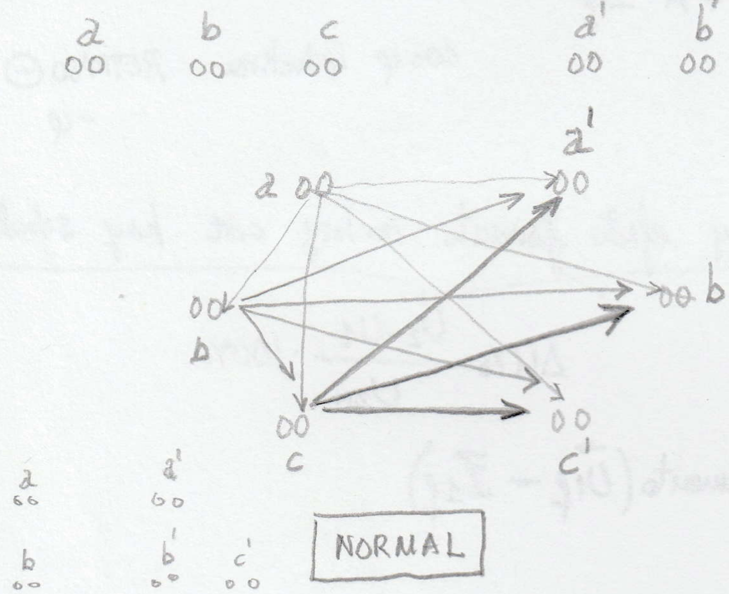
1 TERNA



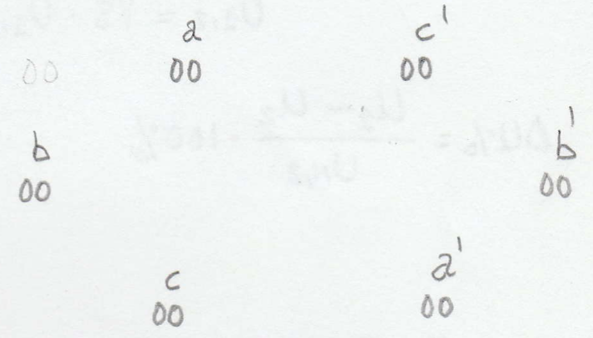
- para 2 ternas: $d_1=\frac{\sqrt{d_{ab}\cdot d_{ab'}\cdot d_{ac}\cdot d_{ac'}}}{d_{aa'}}$

$d_2=\frac{\sqrt{d_{ba}\cdot d_{ba'}\cdot d_{bc}\cdot d_{bc'}}}{d_{bb'}}$; $d_3=\frac{\sqrt{d_{ca}\cdot d_{ca'}\cdot d_{cb}\cdot d_{cb'}}}{d_{cc'}}$

$\boxed{\text{2 TERNAS}}$



NORMAL



TRASPOSICION FASES

- DISTANCIA MEDIA GEOMETRICA ASIMETRICAS

n = conductores de 1ª terna

m = conductores de 2ª terna

$$d=\sqrt[mn']{(d_{aa'}\cdot d_{ab'}\cdot\ldots\cdot d_{am'})\cdot\ldots\cdot(d_{na'}\cdot d_{nb'}\cdot\ldots\cdot d_{nm'})}$$

- RADIO EQUIVALENTE: SIMETRICAS $\quad r_e=\frac{\phi}{2}$

SIMÉTRICAS = $r_e=R\cdot\sqrt[n]{n\cdot\frac{r}{R}}$

R= Radio de la circunferencia que pasa por el centro de los dos conductores

r= radio del conductor; n=nº de conductores del haz

$$r_{ex}=\sqrt[n^2]{(d_{aa}\cdot d_{ab}\cdot\ldots\cdot d_{an})\cdot\ldots\cdot(d_{na}\cdot d_{nb}\cdot\ldots\cdot d_{nn})}$$

$$r_{ey}=\sqrt[m^2]{(d_{a'a'}\cdot d_{a'b'}\cdot\ldots\cdot d_{a'm'})\cdot\ldots\cdot(d_{m'a'}\cdot d_{m'b'}\cdot\ldots\cdot d_{m'm'})}$$

$d_{aa}=d_{bb}=d_{cc}$ → radio conductor (m) $\cdot e^{-\frac{1}{4}}$ 1ª terna

$d_{a'a'}=d_{b'b'}=d_{c'c'}$ → radio conductor (m) $\cdot e^{-\frac{1}{4}}$ 2ª terna

$L_{x_K}=2\ln\left(\frac{d}{r_{ex}}\right)\cdot 10^{-4}$; $L_{y_K}=2\ln\left(\frac{d}{r_{ey}}\right)\cdot 10^{-4}$

$\boxed{L_K=L_{YK}+L_{XK}}$

$$C_K = \frac{0'0556}{\ln \frac{d}{r}} \cdot 10^{-6} (F/Km) \cdot (\text{Numero de ternas})$$

PARAMETROS : $\quad \vec{A} = \vec{D} = \cosh \vec{\theta} \quad\quad \vec{B} = \vec{Z_c} \cdot \sinh \vec{\theta} \quad\quad \vec{C} = \frac{\sinh \vec{\theta}}{\vec{Z_c}}$

$$\vec{Z_K} = Z_{K \angle \varphi} = \sqrt{R_K^2 + X_{LK}^2} \quad\quad \vec{X_{LK}} = 2\pi f \cdot L_{aK} \quad\quad \vec{Y_K} = Y_{K \angle \varphi} = 2\pi f \cdot C_K \ (S/Km)$$

$$\varphi = \arctg \left(\frac{X_{LK}}{R_K} \right) \quad\quad \varphi = 90^\circ$$

$$\vec{\beta} = \sqrt{\vec{Z_K} \cdot \vec{Y_K}} \rightarrow \vec{\theta} = \beta \cdot l \quad ; \quad \vec{Z_c} = \sqrt{\frac{\vec{Z_K}}{\vec{Y_K}}}$$

siempre en origen de fase

$$\vec{U}_{1f} = \vec{A} \cdot \vec{U}_{2f} + \vec{B} \cdot \vec{I}_{2f} \quad\quad \vec{I}_{1f} = \vec{C} \cdot \vec{U}_{2f} + \vec{D} \cdot \vec{I}_{2f}$$

$$\vec{U}_{2f} = \vec{A} \cdot \vec{U}_{1f} - \vec{B} \cdot \vec{I}_{1f} \quad\quad \vec{I}_{2f} = -\vec{C} \cdot \vec{U}_{1f} + \vec{A} \cdot \vec{I}_{1f}$$

$$I_{1,2\angle\varphi} = \frac{P_{1,2}}{\sqrt{3} \cdot U_{1,2} \cdot \cos \varphi_{1,2}} \ ; \ \vec{I}_{1,2f} = \frac{\vec{U}_{1,2f}}{\vec{Z_c}}$$

$\cos \varphi$ inductiva RETRASO $\ominus$ $-\varphi$

$$U_{1,2} = \sqrt{3} \cdot U_{1,2f}$$

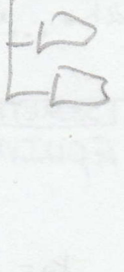
$$\Delta U\% = \frac{U_1 - U_2}{U_{N,2}} \cdot 100\%$$

, Cuando hay efecto ferranti no hay cdt hay subida

$$\Delta U\% = \frac{U_2 - U_1}{U_{2N}} \cdot 100\%$$

$$\eta\% = \frac{U_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2}{U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1} \quad\quad \cos\varphi_1 = \text{argumento} (\vec{U}_{1f} - \vec{I}_{1f})$$

$$\eta\% = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1} \rightarrow \eta\% = \frac{P_2}{P_2 + 3 \cdot R \cdot I'^2} \rightarrow \eta\% = \pi$$

Cuando hay efecto Ferranti se ponen bobinas $\quad L = \frac{\frac{X_c}{2} = X_c}{2\pi f} =$  $\frac{X_c}{2} \cdot \sqrt{3}$

ANEXO DE TABLAS PARA EL CÁLCULO

CONDUCTORES ELÉCTRICOS.

Como ejemplo, se muestran en la tabla[1] A2.1 las principales características de los cables de aluminio-acero, según UNE 21018, y en las tablas A2.2 y A2.3, las de algunos conductores ACSR (aluminum conductors steel reinforced).

Tabla A2.1 Conductores de Aluminio-Acero. Norma: UNE-21018.

Denominación	Sección (1) (mm²)	Equivalente en cobre (mm²)	Composición				Diámetro (mm)		Carga de rotura (N)	Resistencia eléctrica a 20°C (ohm/km)	Masa (kg/km)		
			Aluminio		Acero								
			N	φ (mm)	N	φ (mm)	Alma	Total			Al	Ac	Total
LA-30	31,1	16,6	6	2,38	1	2,38	2,38	7,14	9.870	1,0749	73,2	34,7	107,9
LA-56	54,6	29	6	3,15	1	3,15	3,15	9,45	16.340	0,6136	128,3	60,8	189,1
LA-78	78,6	42	6	3,78	1	3,78	3,78	11,34	23.150	0,4261	184,8	87,5	272,3
LA-110	116,2	58	30	2,00	7	2,00	6,00	14,00	43.150	0,3066	260	172	432
LA-145	147,1	74	30	2,25	7	2,25	6,75	15,75	54.150	0,2422	330	218	548
LA-180	181,6	92	30	2,50	7	2,50	7,50	17,50	63.750	0,1962	407	269	676
LA-280	281,1	150	26	2,68	7	2,68	8,04	21,80	84.500	0,1194	667	309	976
LA-380	381,0	210	54	2,82	7	2,82	8,46	25,38	106.600	0,0857	932	343	1.275
LA-455	454,5	250	54	3,08	7	3,08	9,24	27,72	124.200	0,0718	1.112	409	1.521
LA-545	547,3	300	54	3,38	7	3,38	10,14	30,42	148.600	0,0596	1.339	492	1.831
LA-635	636,6	350	54	3,65	19	3,65	10,95	32,85	175.300	0,0511	1.562	563	2.125

(1) Sección total, constituida desde:

mm²	LA30	LA56	LA78	LA110	LA145	LA180	LA280	LA380	LA455	LA545	LA635
Al	26,7	46,8	67,4	94,2	119,3	147,3	241,7	337,3	402,3	484,5	565,0
Ac	4,4	7,8	11,2	22,0	27,6	34,3	39,9	43,7	52,2	62,8	71,6

[1] Esta tabla se encuentra dentro del "Manual de Instalaciones Eléctricas" del autor [3], en el capítulo IV destinado al estudio de Cables eléctricos y Canalizaciones.

Tabla A2.2 Conductores ACSR (conductores de aluminio reforzados con acero).

Denominación	Composición Al/Ac	Diámetro (cm)	GMR (cm)	Resistencia (a 25 °C)	Intensidad Máxima (A)
PELICAN	18/1	2,0680	0,8020	0,12240	640
MERLIN	18/1	1,6460	0,6740	0,17310	460
PARAKEET	24/7	2,3220	0,9330	0,10530	715
DRAKE	26/7	2,8143	1,1430	0,07272	900
STARLING	26/7	2,6695	1,0820	0,08142	840
DOVE	26/7	2,3546	0,9540	0,10441	730
HAWK	26/7	2,1793	0,8839	0,12270	670
EAGLE	30/7	2,4206	0,9997	0,10441	730
MALLARD	30/19	2,8956	1,1978	0,07272	910
RAIL	45/7	2,9590	1,1730	0,06240	1000
FALCON	54/19	3,9243	1,5847	0,03740	1380
PARROT	54/19	3,8252	1,5453	0,03860	1340
MARTIN	54/19	3,6170	1,4600	0,04319	1250
PHEASANT	54/19	3,5103	1,4173	0,04586	1200
GRACKLE	54/19	3,3985	1,3716	0,04897	1160
FINCH	54/19	3,2842	1,3258	0,05245	1110
CARDINAL	54/7	3,0378	1,2283	0,06103	1010
CANARY	54/7	2,9515	1,1917	0,06463	970
CÓNDOR	54/7	2,7762	1,1216	0,07396	900
CROW	54/7	2,6314	1,0637	0,08204	830
FLAMINGO	54/7	2,5400	1,0272	0,08763	800
KIWI	72/7	4,4069	1,7374	0,02940	1465
JOREE	76/19	4,7752	1,8928	0,02600	1550
BLUEBIRD	84/19	4,4755	1,7920	0,02900	1475

Denominación	Secc tot (mm
Hawk (Halcón)	281,
Gull (Gaviota)	381,
Cóndor (Cóndor)	455,
Cardinal (Cardenal)	546,

Tabla A2.3 Conductores ACSR más característicos.

Denominación	Sección total (mm²)	Composición				Diámetro (mm)		Carga de rotura (kg)	Resistencia eléctrica a 20ºC (ohm/km)	Masa (kg/km)		
		Aluminio		Acero								
		N	ϕ (mm)	N	ϕ (mm)	Ac	Total			Al	Ac	Total
Hawk (Halcón)	281,10	26	3,442	7	2,677	8,03	21,79	8818	0,1190	666,6	308	974,6
Gull (Gaviota)	381,55	54	2,822	7	2,822	8,47	25,40	11136	0,0851	934,6	342	1276,8
Cóndor (Cóndor)	455,10	54	3,084	7	3,084	9,25	27,76	12950	0,0721	1115	407	1522,0
Cardinal (Cardenal)	546,06	54	3,376	7	3,376	10,1	30,38	15536	0,0597	1338	488	1826,0

SUPUESTO 2.19: DETERMINACIÓN DE MAGNITUDES CONOCIDA LA CARGA.

Una línea trifásica alimenta a una carga de valor ***Z****=250+j·15 Ω. La línea tiene una longitud de 80 km. Los parámetros por unidad de longitud que la definen son: R=0,02Ω/km, L=0,98mH/km y C=0,015μF/km. Determinar, si la tensión de línea en la carga es de 230 kV:*

a) Tensiones e intensidades en los extremos receptor y emisor.

b) Caída de tensión total en la línea y caída porcentual.

c) Potencias en los extremos receptor y emisor.

d) Pérdida de potencia y rendimiento de la línea.

e) Regulación de voltaje.

f) Capacidad de los condensadores a colocar en paralelo con la carga para mantener la tensión de línea en el final en 230 kV cuando la tensión de línea en el origen sea de 230 kV.

Al tratarse de una línea cuya tensión nominal de línea es de 230 kV siendo su longitud de 80 km, realizaremos los cálculos mediante el equivalente en **π** de la misma.

La impedancia serie y la admitancia paralelo se calculan desde:

$$\mathbf{Z_k} = R + j \cdot X_L = 0{,}02 + 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0{,}98 \cdot 10^{-3} \cdot j = 0{,}02 + j \cdot 0{,}307876 \ \Omega/\text{km}$$

$$\mathbf{Z} = \mathbf{Z_k} \cdot l = (0{,}02 + j \cdot 0{,}307876) \cdot 80 = 1{,}6 + j \cdot 24{,}63 \ \Omega$$

$$\mathbf{Y_k} = G + j \cdot B = 0 + 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0{,}015 \cdot 10^{-6} \cdot j = 0 + j \cdot 4{,}7124 \cdot 10^{-6} \ \text{S/km}$$

$$\mathbf{Y} = \mathbf{Y_k} \cdot l = (0 + j \cdot 4{,}7124 \cdot 10^{-6}) \cdot 80 = 0 + j \cdot 0{,}000376991 \ \text{S}$$

El ángulo e impedancia característicos, son:

$$\boldsymbol{\theta} = \sqrt{\mathbf{Z} \cdot \mathbf{Y}} = \sqrt{(1{,}6 + j \cdot 24{,}6301) \cdot (j \cdot 0{,}000376991)} = 0{,}0031 + j \cdot 0{,}0964$$

$$\mathbf{Z_o} = \sqrt{\frac{\mathbf{Z}}{\mathbf{Y}}} = \sqrt{\frac{1{,}6 + j \cdot 24{,}6301}{j \cdot 0{,}000376991}} = 255{,}74 - j \cdot 8{,}2978 = 255{,}87_{\angle -1{,}8584°}$$

Desde las expresiones recogidas en la tabla A2.7 del Anexo II para líneas medias bajo modelo en π, pueden calcularse los cuatro parámetros. Así:

$$\mathbf{A} = \mathbf{D} = 0{,}99536 + j \cdot 0{,}00030159$$

y de igual forma:

$$\mathbf{B} = 1{,}6 + j \cdot 24{,}63 \ ; \ \mathbf{C} = -5{,}6849 \cdot 10^{-8} + j \cdot 0{,}00037612$$

En adelante, necesitaremos los valores de los parámetros **A** y **B** en forma polar, siendo éstos:

$$\mathbf{B} = 24{,}6819_{\angle 86{,}2832^\circ} \ ; \ \mathbf{A} = 0{,}99536_{\angle 0{,}01736^\circ}$$

- *a)Tensiones e intensidades en los extremos receptor y emisor.*

De las ecuaciones (2.33) se obtienen $\mathbf{V_1}$ e $\mathbf{I_1}$. Previamente, y dado que en esta ocasión el dato conocido es la impedancia de la carga, habrá que calcular la intensidad en el extremo receptor como cociente entre la tensión de fase en este extremo y la impedancia de la carga.

Así, tomando como origen de referencia de ángulos, el ángulo de $\mathbf{V_{2f}}$:

$$\mathbf{V_{2f}} = \frac{230}{\sqrt{3}}_{\angle 0^\circ} \text{ kV} \ ; \ \mathbf{V_{2L}} = 230_{\angle 30^\circ} \text{ kV}$$

$$\mathbf{I_{2f}} = \frac{\mathbf{V_{2f}}}{\mathbf{Z_C}} = \frac{230000_{\angle 0^\circ}}{\sqrt{3} \cdot (250 + j \cdot 15)} = 530{,}209_{\angle -3{,}43363^\circ} \text{ A}$$

donde $\mathbf{Z_C}$ es la impedancia equivalente de la carga, y donde el ángulo ha sido obtenido desde:

$$\varphi_2 = \text{arctag} \frac{15}{250} = 3{,}43363^\circ$$

De la segunda de las ecuaciones (2.33), al sustituir todos los datos ya obtenidos:

$$\mathbf{I_{1f}} = 527{,}128_{\angle 2{,}0109^\circ} \text{ A}$$

y de la primera:

$$\mathbf{V_{1f}} = (0{,}99536 + j \cdot 0{,}00030159) \cdot \frac{230000}{\sqrt{3}}_{\angle 0^\circ} +$$

$$+ (1{,}6 + j \cdot 24{,}63) \cdot 530{,}209_{\angle -3{,}43363^\circ} =$$

$$= 134{,}436_{\angle 5{,}5598^\circ} \text{ kV} \ ; \ \mathbf{V_{1L}} = 232{,}850_{\angle 35{,}5598^\circ} \text{ kV}$$

- *b)Caídas de tensión total y porcentual.*

De igual forma a la explicada en supuestos anteriores:

$$\mathbf{e} = \mathbf{V_{1L}} - \mathbf{V_{2L}} = 232{,}850_{\angle 35{,}5598^\circ} - 230_{\angle 30^\circ} \text{ kV} = -9{,}76 + j \cdot 20{,}41 \text{ kV}$$

cuyo módulo es:

$$e = 22{,}628 \text{ kV}$$

Como en el su

Una vez más, tensión como rest los módulos de conduciría a erro demos a ese valo anterior viene mo tensión, ya que la

En ambos caso origen, es de:

- *c)Potencias e*

Para el final d llega a:

$P_{2_{3\phi}}$

$Q_{2_{3\phi}}$

con lo que la poten

con módulo:

En el origen:

$P_{1_{3\phi}}$

$Q_{1_{3\phi}}$

donde el ángulo φ_1

φ_1

Como en el supuesto anterior, si despreciamos el desfase, el módulo de e sería:

$$e = 232{,}850 - 230 = 2{,}850 \text{ kV}$$

Una vez más, llama la atención la diferencia anterior al considerar el vector caída de tensión como resta de la tensión en el origen menos la tensión en el final frente a la resta de los módulos de ambos vectores, por lo que la simplificación de restar los módulos conduciría a errores considerables, siempre dependiendo de la utilización final que le demos a ese valor. Además, hay que tener en cuenta que la mayor parte de la diferencia anterior viene motivada por la presencia de la componente imaginaria del vector caída de tensión, ya que la diferencia de las partes reales es reducida.

En ambos casos, la caída porcentual del módulo expresada en relación a la tensión en el origen, es de:

$$e = \frac{22{,}628}{232{,}850} \cdot 100 = 9{,}718\,\%$$, para el primer caso, y

$$e = \frac{2{,}849}{232{,}850} \cdot 100 = 1{,}223\,\%$$; para el segundo.

- *c)Potencias en los extremos.*

Para el final de la línea, empleando las ecuaciones (2.34) a (2.36), y tras sustituir, se llega a:

$$P_{2_{3\varphi}} = \sqrt{3} \cdot 230 \cdot 530{,}209 \cdot \cos 3{,}4336^{\circ} = 210{,}841 \text{ MW}$$

$$Q_{2_{3\varphi}} = \sqrt{3} \cdot 230 \cdot 530{,}209 \cdot sen 3{,}4336^{\circ} = 12{,}650 \text{ MVAr}$$

con lo que la potencia aparente en el final de la línea es:

$$\mathbf{S}_{2_{3\varphi}} = 210{,}841 \text{ MW} + j \cdot 12{,}650 \text{ MVAr}$$

con módulo:

$$S_{2_{3\varphi}} = 211{,}220 \text{ MVA}$$

En el origen:

$$P_{1_{3\varphi}} = \sqrt{3} \cdot 232{,}849 \cdot 527{,}128 \cdot \cos 3{,}549^{\circ} = 212{,}186 \text{ MW}$$

$$Q_{1_{3\varphi}} = \sqrt{3} \cdot 232{,}849 \cdot 527{,}128 \cdot sen 3{,}549^{\circ} = 13{,}160 \text{ MVAr}$$

donde el ángulo φ_1 se ha determinado desde:

$$\varphi_1 = \varphi_{V_{1L}} - \varphi_{I_{1L}} = 35{,}5598^{\circ} - (32{,}0109^{\circ}) = 3{,}549^{\circ}$$

con lo que la potencia aparente en el origen de la línea es:

$$\mathbf{S}_{1_{3\phi}} = 212{,}186\ \mathrm{MW} + j \cdot 13{,}160\ \mathrm{MVAr}$$

con módulo:

$$S_{1_{3\phi}} = 212{,}595\ \mathrm{MVA}$$

- *d)Pérdida de potencia y rendimiento de la línea.*

  La potencia perdida en la línea será:

$$P_{p_{3\phi}} = 212{,}186 - 210{,}841 = 1{,}345\ \mathrm{MW}$$

$$Q_{p_{3\phi}} = 13{,}160 - 12{,}650 = 0{,}510\ \mathrm{MVAr}$$

$$\mathbf{S}_{\mathbf{p}_{3\phi}} = 1{,}345\ \mathrm{MW} - j \cdot 0{,}510\ \mathrm{MVAr}$$

$$S_{p_{3\phi}} = 1{,}438\ \mathrm{MVA}$$

El rendimiento o eficiencia de la transmisión, expresado en relación a la potencia activa transportada, se halla desde (2.37):

$$\eta\ (\%) = \frac{210{,}841}{212{,}186} \cdot 100 = 99{,}366\%$$

- *e)Regulación de voltaje.*

  Sustituyendo en (2.38):

$$RV(\%) = \frac{\dfrac{232{,}850}{0{,}99536} - 230}{230} \cdot 100 = 1{,}711\%$$

- *f)Capacidad de condensadores.*

  De las expresiones (A2.29) del Anexo II, sustituyendo se tiene:

$$P_{2_{3\phi}} = \frac{230 \cdot 230}{24{,}6819} \cdot \cos(86{,}2832° - \delta°) -$$

$$- \frac{0{,}99536 \cdot 230^2}{24{,}6819} \cdot \cos(86{,}2832° - 0{,}01736°) =$$

$$= 210{,}841\ \mathrm{MW}$$

de donde puede despejarse el ángulo δ. Así:

$$\delta \approx 5{,}6758°$$

La potencia reactiva será entonces:

$$Q_{2_{3\varphi}} = \frac{230^2}{24{,}6819} \cdot \text{sen}(86{,}2832^\circ - 5{,}6758^\circ) -$$

$$- \frac{0{,}99536 \cdot 230^2}{24{,}6819} \cdot \text{sen}(86{,}2832^\circ - 0{,}01736^\circ) =$$

$$= -14{,}26 \text{ MVAr}$$

Con ello, la potencia requerida a los condensadores será:

$$\mathbf{S}_{C_{3\varphi}} = -j \cdot 14{,}26 - j \cdot 12{,}65 = -j \cdot 26{,}91 \text{ MVAr}$$

y la reactancia capacitiva necesaria para conseguirla:

$$X_{C_{3\varphi}} = \frac{V_{2L}^2}{Q_C} = \frac{230^2}{26{,}91} = 1965{,}81\,\Omega$$

siendo la capacidad:

$$C = \frac{1}{\omega \cdot X_{C_{3\varphi}}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 1965{,}81} = 1{,}619\ \mu\text{F}$$

La intensidad de corriente por los mismos será de:

$$\mathbf{I}_C = \frac{\mathbf{V}_{2f}}{\mathbf{Z}_{C_{3\varphi}}} = \frac{230}{\sqrt{3} \cdot (-j \cdot 1965{,}81)} = 67{,}55_{\angle 90^\circ} \text{ A}$$

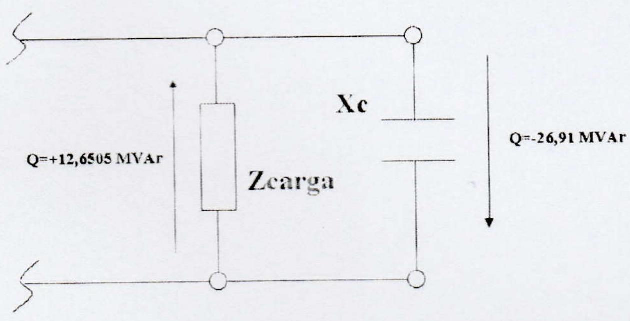


Figura 2.22 Condensadores a colocar en paralelo con la carga

SUPUESTO 2.20: DETERMINACIÓN DE MAGNITUDES ANTE DISTINTOS REGÍMENES DE CARGA.

Una línea trifásica tiene una impedancia por fase de valor $\mathbf{Z}=0,13+j\cdot 0,5\ \Omega/km$. *La línea tiene una longitud de 18 km. Determinar, si la tensión de línea en la carga es de 66 kV:*

a) Tensiones e intensidades en los extremos receptor y emisor.

b) Caída de tensión total en la línea.

c) Potencias en los extremos receptor y emisor.

d) Pérdida de potencia y rendimiento de la línea.

e) Regulación de voltaje.

f) Representar el diagrama circular de potencias para variaciones de la tensión en el origen desde V_2 *hasta* $1,25\cdot V_2$.

g) Capacidad de los condensadores a colocar en paralelo con la carga para mantener la tensión de línea en el final en 66 kV cuando la tensión de línea en el origen sea de 66 kV.

Realizar el estudio para los casos siguientes:

1) Plena carga. $P_2=70\ MW$. *Factor de potencia = 0,8.*

2) Al 50 % de la plena carga.

3) En vacío.

4) En cortocircuito al final de la línea.

Al tratarse de una línea cuya tensión nominal de línea es de 66 kV siendo su longitud de 18 km, realizaremos los cálculos considerando el modelo de línea corta.

La impedancia serie se determina desde:

$$\mathbf{Z} = \mathbf{Z_k} \cdot l = (0{,}13 + j \cdot 0{,}5) \cdot 18 = 2{,}34 + j \cdot 9\ \Omega$$

Desde las expresiones recogidas en la tabla A2.7 del Anexo II para líneas cortas, pueden calcularse los cuatro parámetros. Así:

$$\mathbf{A} = \mathbf{D} = 1$$

y de igual forma:

$$\mathbf{B} = 2{,}34 + j \cdot 9 \ ; \ \mathbf{C} = 0$$

- *CASO 1º: Línea en régimen de plena carga: P_2=70 MW y cosφ_2=0,8.*

- *a)Tensiones e intensidades en los extremos receptor y emisor.*

Tomando como origen de referencia de ángulos, el ángulo de $\mathbf{V_2}$:

$$\mathbf{V_{2f}} = \frac{66}{\sqrt{3}}_{\angle 0^\circ} \text{ kV} \; ; \; \mathbf{V_{2L}} = 66_{\angle 30^\circ} \text{ kV}$$

$$\mathbf{I_{2f}} = \frac{70 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 66 \cdot 10^3 \cdot 0{,}8}_{\angle\text{-arccos}0{,}8} = 765{,}426_{\angle -36{,}8699^\circ} \text{ A}$$

Una vez más, de la segunda de las ecuaciones (2.33), al sustituir todos los datos ya obtenidos:

$$\mathbf{I_{1f}} = \mathbf{I_{2f}} = 765{,}426_{\angle -36{,}8699^\circ} \text{ A}$$

y de la primera:

$$\mathbf{V_{1f}} = 1 \cdot \frac{66000}{\sqrt{3}}_{\angle 0^\circ} + (2{,}34 + j \cdot 9) \cdot 765{,}426_{\angle -36{,}8699^\circ} =$$

$$= 43{,}896_{\angle 5{,}80^\circ} \text{ kV} \; ; \; \mathbf{V_{1L}} = 76{,}0302_{\angle 35{,}80^\circ} \text{ kV}$$

- *b)Caídas de tensión total y porcentual.*

$$\mathbf{e} = \mathbf{V_{1L}} - \mathbf{V_{2L}} = 76{,}0302_{\angle 35{,}80^\circ} - 66_{\angle 30^\circ} \text{kV} = 4{,}508 + j \cdot 11{,}474 \text{ kV}$$

cuyo módulo es:

$$e = 12{,}328 \text{ kV}$$

Si despreciamos el desfase anterior, el módulo de e sería:

$$e = 76{,}0302 - 66 = 10{,}0302 \text{ kV}$$

En esta ocasión comprobamos que el error derivado de considerar nula la diferencia de ángulos es menor al de supuestos anteriores.

En ambos casos, la caída porcentual del módulo expresada en relación a la tensión en el origen, es de:

$$e = \frac{12{,}328}{76{,}0302} \cdot 100 = 16{,}21\,\%$$, para el primer caso, y

$$e = \frac{10{,}0302}{76{,}0302} \cdot 100 = 13{,}192\ \%\text{, para el segundo.}$$

En ambos casos la caída porcentual es inadmisible para una línea, por lo que habría que adoptar medidas para evitar realizar la distribución en estos valores. Probablemente, la sección y/o la tensión de transporte no sean adecuadas a la potencia a transportar.

- *c)Potencias en los extremos.*

Para el final de la línea, empleando las ecuaciones (2.34) a (2.36), y tras sustituir, se llega a:

$$P_{2_{3\varphi}} = 70\ \text{MW}$$

$$Q_{2_{3\varphi}} = 70 \cdot \text{tag}(\arccos 0{,}8) = 52{,}5\ \text{MVAr}$$

con lo que la potencia aparente en el final de la línea es:

$$\mathbf{S}_{2_{3\varphi}} = 70\ \text{MW} + j \cdot 52{,}5\ \text{MVAr}$$

con módulo:

$$S_{2_{3\varphi}} = 87{,}5\ \text{MVA}$$

En el origen:

$$P_{1_{3\varphi}} = \sqrt{3} \cdot 76030{,}2 \cdot 765{,}426 \cdot \cos 42{,}67° = 74{,}113\ \text{MW}$$

$$Q_{1_{3\varphi}} = \sqrt{3} \cdot 76030{,}2 \cdot 765{,}426 \cdot \text{sen}\, 42{,}67° = 68{,}318\ \text{MVAr}$$

donde el ángulo φ_1 se ha determinado desde:

$$\varphi_1 = \varphi_{V_{1L}} - \varphi_{I_{1L}} = 35{,}80058° - (6{,}8699°) \approx 42{,}67°$$

con lo que la potencia aparente en el origen de la línea es:

$$\mathbf{S}_{1_{3\varphi}} = 74{,}113\ \text{MW} + j \cdot 68{,}318\ \text{MVAr}$$

con módulo:

$$S_{1_{3\varphi}} \approx 100{,}8\ \text{MVA}$$

- *d)Pérdida de potencia y rendimiento de la línea.*

La potencia perdida en la línea será:

$$P_{p_{3\phi}} = 74{,}113 - 70 = 4{,}113\ \text{MW}$$

$$Q_{p_{3\phi}} = 68{,}318 - 52{,}5 = 15{,}818\ \text{MVAr}$$

$$\mathbf{S}_{\mathbf{p}_{3\phi}} = 4{,}113\ \text{MW} + j \cdot 15{,}818\ \text{MVAr}$$

$$S_{p_{3\phi}} = 16{,}344\ \text{MVA}$$

El rendimiento o eficiencia de la transmisión, expresado en relación a la potencia activa transportada, se halla desde (2.37):

$$\eta\ (\%) = \frac{70}{74{,}113} \cdot 100 = 94{,}45\%$$

- *e)Regulación de voltaje.*

Sustituyendo en (2.38):

$$RV(\%) = \frac{\frac{76{,}0302}{1} - 66}{66} \cdot 100 = 15{,}197\%$$

valor que resulta excesivamente alto para una línea de distribución. Una solución puede ser la de compensarla mediante condensadores dispuestos en paralelo o en serie.

- *f)Diagrama circular de potencias.*

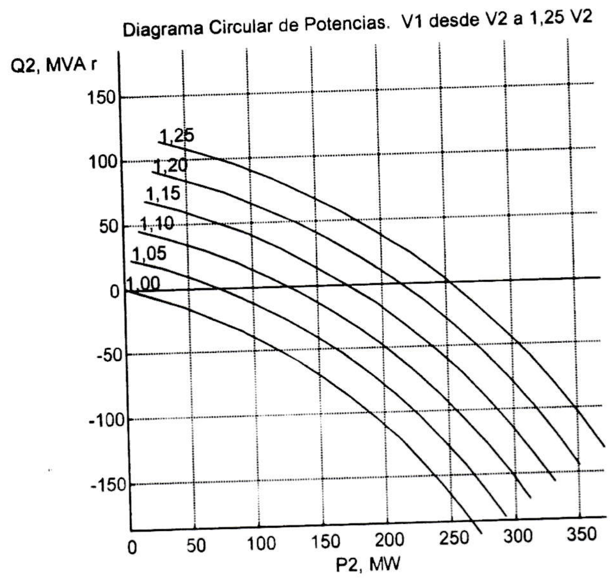


Figura 2.23 Diagrama circular de potencias para el supuesto 2.20. Caso 1°

El gráfico anterior muestra la representación de las potencias obtenidas al variar, para tensión fija en el extremo receptor igual a 66 kV, la tensión en el origen desde 1 hasta 1,25 veces la tensión en el final.

Para ello, basta con ir sustituyendo, para un valor de V_1 dado, potencias activas en la expresión que nos las proporciona (A2.29), obteniendo los ángulos δ correspondientes. Una vez obtenidos, sustituyendo en la expresión que nos proporciona la potencia reactiva, tendremos los distintos pares de puntos (P_2,Q_2) para representarlos en el diagrama correspondiente.

- g)Capacidad de condensadores.

De las expresiones (A2.29) del Anexo II, sustituyendo se tiene:

$$P_{2_{3\phi}} = \frac{66\cdot 66}{9,299}\cdot\cos(75,4258^{o}-\delta^{o}) - $$
$$-\frac{1\cdot 66^2}{9,299}\cdot\cos(75,4258^{o}-0^{o}) =$$
$$= 70\ \text{MW}$$

de donde puede despejarse el ángulo δ. Así:

$$\delta = 9,0709^{o}$$

La potencia reactiva será entonces:

$$Q_{2_{3\phi}} = \frac{1\cdot 66^2}{9,299}\cdot\text{sen}(75,4258^{o}-9,0709^{o}) -$$
$$-\frac{66\cdot 66}{9,299}\cdot\text{sen}(75,4258^{o}-0^{o}) =$$
$$= -24,253\ \text{MVAr}$$

Con ello, la potencia requerida a los condensadores será:

$$\mathbf{S}_{C_{3\phi}} = -j\cdot 24,253 - j\cdot 52,5 = -j\cdot 76,753\ \text{MVAr}$$

y la reactancia capacitiva necesaria para conseguirla:

$$X_{C_{3\phi}} = \frac{V_{2L}^2}{Q_C} = \frac{66^2}{76,753} = 56,7535\ \Omega$$

siendo la capacidad:

$$C=\frac{1}{\omega\cdot X_{C_{3\varphi}}}=\frac{1}{2\cdot\pi\cdot 50\cdot 56{,}7535}=56{,}09\ \mu\text{F}$$

La intensidad de corriente por los mismos será de:

$$\mathbf{I}_{\mathbf{C}}=\frac{\mathbf{V}_{\mathbf{2f}}}{\mathbf{Z}_{\mathbf{C}}}=\frac{66\cdot 10^{3}}{\sqrt{3}\cdot(-j\cdot 56{,}7535)}=671{,}414_{\angle 90^\circ}\ \text{A}$$

Además, con estos valores, y si se repiten los cálculos efectuados en los apartados a) a e), se comprobará que el rendimiento mejora hasta el 95,96%, que la intensidad por la línea disminuye hasta 648,053 A, que la pérdida de potencia activa disminuye hasta 2,948 MW y que la pérdida de potencia reactiva es de 11,339 MVAr, aparte de la obvia reducción de la RV (su valor ahora es del 0%). Se propone al lector que realice este apartado una vez compensada la línea y compruebe la mejoría de los datos anteriores.

- *CASO 2°: Línea en régimen 50 % de la plena carga: P_2=35 MW y cosφ_2=0,8.*

Dado que este caso se resuelve de forma similar al primero, se deja para el lector su resolución completa. No obstante, se indican a continuación los resultados finales más significativos.

$$\mathbf{I}_{\mathbf{1f}}=\mathbf{I}_{\mathbf{2f}}=382{,}713_{\angle -36{,}8699^\circ}\ \text{A}$$

$$\mathbf{V}_{\mathbf{1f}}=40{,}948_{\angle 3{,}10528^\circ}\ \text{kV}\ ;\ \mathbf{V}_{\mathbf{1L}}=70{,}9246_{\angle 33{,}10528^\circ}\ \text{kV}$$

$$P_{2_{3\varphi}}=35\,\text{MW}\ ;\ Q_{2_{3\varphi}}=26{,}25\ \text{MVAr}$$

$$P_{1_{3\varphi}}=36{,}028\,\text{MW}\ ;\ Q_{1_{3\varphi}}=30{,}205\,\text{MVAr}$$

$$P_{p_{3\varphi}}=1{,}028\,\text{MW}\ ;\ Q_{p_{3\varphi}}=3{,}955\,\text{MVAr}$$

$$\eta\ (\%)=97{,}1461\,\%\ \ ;\ \ RV(\%)=7{,}46151\,\%$$

$$\mathbf{S}_{\mathbf{C}_{3\varphi}}=-j\cdot 36{,}824\ \text{MVAr}\ \ ;\ \ X_{C_{3\varphi}}=118{,}29\,\Omega$$

$$C=26{,}91\ \mu\text{F}\ \ ;\ \ \mathbf{I}_{\mathbf{C}}=322{,}13_{\angle 90^\circ}\ \text{A}$$

con la consiguiente mejora de resultados, una vez compensada la línea. Se propone al lector la comprobación de los mismos. Éstos son:

$$\mathbf{I}_{\mathbf{1f}}=\mathbf{I}_{\mathbf{2f}}=319{,}839_{\angle 16{,}811^\circ}\ \text{A}$$

$$\mathbf{V}_{1f} = 38{,}105_{\angle 4{,}4733^\circ}\ \text{kV} \ ; \ \mathbf{V}_{1L} = 66_{\angle 34{,}4733^\circ}\ \text{kV}$$

$$P_{2_{3\phi}} = 35\,\text{MW} \ ; \ Q_{2_{3\phi}} = -10{,}574\,\text{MVAr}$$

$$P_{1_{3\phi}} = 35{,}718\,\text{MW} \ ; \ Q_{1_{3\phi}} = -7{,}812\,\text{MVAr}$$

$$P_{P_{3\phi}} = 0{,}718\,\text{MW} \ ; \ Q_{P_{3\phi}} = 2{,}762\,\text{MVAr}$$

$$\eta\ (\%) = 97{,}9895\,\% \ ; \ RV(\%) = 0\,\%$$

- *CASO 3º: Línea en régimen de vacío: I_2=0 A.*

Al tratarse de una línea corta, se simplifican notablemente los cálculos en este régimen de carga, dado que todas las magnitudes son cero, excepto las tensiones en el inicio y final de la línea que, al no haber caídas en la misma, son iguales. Así:

$$\mathbf{V}_{1L} = \mathbf{V}_{2L} = 66_{\angle 30^\circ}\ \text{kV}$$

- *CASO 4º: Línea en cortocircuito en el final de la misma: V_2=0 kV.*

En el cortocircuito se tiene que $\mathbf{V}_2$=0. Con ello, las ecuaciones (2.33) se simplifican, más incluso teniendo en cuenta que, al ser línea corta, **D**=1, resultando:

$$\mathbf{V}_{1L} = 66_{\angle 30^\circ}\ \text{kV}$$

$$\mathbf{I}_{2f} = \frac{66000}{\sqrt{3}\cdot(2{,}34 + j\cdot 9)} = 4097{,}67_{\angle -75{,}4258^\circ}\ \text{A}$$

$$\mathbf{I}_{1f} = \mathbf{D}\cdot\mathbf{I}_{2f} = 4097{,}67_{\angle -75{,}4258^\circ}\ \text{A}$$

SUPUESTO 2.22: ESTUDIO DE LÍNEA ANTE DISTINTOS MODELOS PARA LA MISMA.

⏩ *Una línea de 230 kV tiene una impedancia serie de valor* $\mathbf{Z}=0{,}05+j\cdot 0{,}5$ *Ω/km y una admitancia paralelo de valor* $\mathbf{Y}=0+j\cdot 5\cdot 10^{-6}$ *S/km. La longitud de la línea es 100 km. Calcular, considerando la línea bajo los distintos modelos estudiados para los casos que se indican a continuación:*

a) Tensiones e intensidades en los extremos receptor y emisor.

b) Potencias en los extremos receptor y emisor.

c) Pérdida de potencia y rendimiento de la línea.

d) Regulación de voltaje.

Realizar el estudio para los casos siguientes:

1) $V_2=220$ *kV.* $P_2=250$ *MW. Factor de potencia = 0,8.*

2) $V_2=220$ *kV.* $P_2=382$ *MW. Factor de potencia = 1,0.*

3) Para el caso 1, determinar la capacidad por fase si se utiliza una batería de condensadores en Y cuando $V_1=220$ *kV. Una vez calculada, indicar cuáles son los nuevos valores para las magnitudes de los apartados a) a d).*

- **Soluciones**:

⏩ *CASO 1º: Línea larga.*

1. ***Datos****:* $V_2=220$ *kV.* $P_2=250$ *MW. Factor de potencia = 0,8.*

$$\mathbf{I_{2f}} = 820{,}1_{\angle -36{,}8699^\circ}\ \mathrm{A}\ ;\ \mathbf{I_{1f}} = 773{,}625_{\angle -33{,}0455^\circ}\ \mathrm{A}$$

$$\mathbf{V_{1f}} = \frac{270{,}498}{\sqrt{3}}_{\angle 11{,}2199^\circ}\ \mathrm{kV}\ ;\ \mathbf{V_{1L}} = 270{,}498_{\angle 41{,}2199^\circ}\ \mathrm{kV}$$

$$P_{2_{3\phi}} = 250\ \mathrm{MW}\ ;\ Q_{2_{3\phi}} = 187{,}5\ \mathrm{MVAr}$$

$$P_{1_{3\phi}} = 259{,}560\ \mathrm{MW}\ ;\ Q_{1_{3\phi}} = 252{,}988\ \mathrm{MVAr}$$

$$P_{p_{3\phi}} = 9{,}560\ \mathrm{MW}\ ;\ Q_{p_{3\phi}} = 65{,}488\ \mathrm{MVAr}$$

$$\eta\ (\%) = 96{,}3167\ \%\ ;\ RV(\%) = 24{,}5067\ \%$$

2. **Datos**: *V_2=220 kV. P_2=382 MW. Factor de potencia = 1,0.*

$$\mathbf{I}_{2f} = 1002{,}49_{\angle 0^\circ}\ \text{A}\ ;\ \mathbf{I}_{1f} = 992{,}057_{\angle 3{,}72734^\circ}\ \text{A}$$

$$\mathbf{V}_{1f} = \frac{241{,}946}{\sqrt{3}}_{\angle 21{,}0073^\circ}\ \text{kV}\ ;\ \mathbf{V}_{1L} = 241{,}946_{\angle 51{,}0073^\circ}\ \text{kV}$$

$$P_{1_{3\phi}} = 396{,}970\ \text{MW}\ ;\ Q_{1_{3\phi}} = 123{,}490\ \text{MVAr}$$

$$P_{2_{3\phi}} = 382\ \text{MW}\ ;\ Q_{2_{3\phi}} = 0\ \text{MVAr}$$

$$P_{p_{3\phi}} = 14{,}970\ \text{MW}\ ;\ Q_{p_{3\phi}} = 123{,}490\ \text{MVAr}$$

$$\eta\ (\%) = 96{,}2289\ \%\ ;\ RV(\%) = 11{,}3647\ \%$$

3. *Capacidad por fase para V_1=220 kV.*

$$\mathbf{S}_{C_{3\phi}} = -j \cdot 234{,}559\ \text{MVAr}$$

$$X_{C_{3\varphi}} = 206{,}345\ \Omega$$

$$C = 15{,}426\ \mu\text{F}$$

$$\mathbf{I}_C = 615{,}557_{\angle 90^\circ}\ \text{A}$$

$$\mathbf{I}_{2f} = 667{,}602_{\angle 10{,}6603^\circ}\ \text{A}\ ;\ \mathbf{I}_{1f} = 673{,}898_{\angle 16{,}0236^\circ}\ \text{A}$$

$$\mathbf{V}_{1f} = \frac{220}{\sqrt{3}}_{\angle 15{,}264^\circ}\ \text{kV}\ ;\ \mathbf{V}_{1L} = 220_{\angle 45{,}264^\circ}\ \text{kV}$$

$$P_{1_{3\phi}} = 256{,}767\ \text{MW}\ ;\ Q_{1_{3\phi}} = -3{,}404\ \text{MVAr}$$

$$P_{2_{3\phi}} = 250\ \text{MW}\ ;\ Q_{2_{3\phi}} = -47{,}059\ \text{MVAr}$$

$$P_{p_{3\phi}} = 6{,}767\ \text{MW}\ ;\ Q_{p_{3\phi}} = 43{,}655\ \text{MVAr}$$

$$\eta\ (\%) = 97{,}3646\,\%\ ;\ RV(\%) = 1{,}2631\,\%$$

⏩ *CASO 2º: Línea media en π.*

1. ***Datos**: V_2=220 kV. P_2=250 MW. Factor de potencia = 0,8.*

$$\mathbf{I}_{2f} = 820{,}1_{\angle -36{,}8699^\circ}\ \text{A}\ ;\ \mathbf{I}_{1f} = 773{,}665_{\angle -33{,}0538^\circ}\ \text{A}$$

$$\mathbf{V}_{1f} = \frac{270{,}75}{\sqrt{3}}_{\angle 11{,}2524^\circ}\ \text{kV}\ ;\ \mathbf{V}_{1L} = 270{,}75_{\angle 41{,}2524^\circ}\ \text{kV}$$

$$P_{2_{3\phi}} = 250\ \text{MW}\ ;\ Q_{2_{3\phi}} = 187{,}5\ \text{MVAr}$$

$$P_{1_{3\phi}} = 259{,}635\ \text{MW}\ ;\ Q_{1_{3\phi}} = 253{,}422\ \text{MVAr}$$

$$P_{p_{3\phi}} = 9{,}635\ \text{MW}\ ;\ Q_{p_{3\phi}} = 65{,}922\ \text{MVAr}$$

$$\eta\ (\%) = 96{,}2891\,\%\ ;\ RV(\%) = 24{,}6259\,\%$$

2. ***Datos**: V_2=220 kV. P_2=382 MW. Factor de potencia = 1,0.*

$$\mathbf{I}_{2f} = 1002{,}49_{\angle 0^\circ}\ \text{A}\ ;\ \mathbf{I}_{1f} = 992{,}009_{\angle 3{,}72014^\circ}\ \text{A}$$

$$\mathbf{V}_{1f} = \frac{242{,}137}{\sqrt{3}}_{\angle 21{,}0809^\circ}\ \text{kV}\ ;\ \mathbf{V}_{1L} = 242{,}137_{\angle 51{,}0809^\circ}\ \text{kV}$$

$$P_{1_{3\phi}} = 397{,}09\ \text{MW}\ ;\ Q_{1_{3\phi}} = 124{,}142\ \text{MVAr}$$

$$P_{2_{3\phi}} = 382\ \text{MW}\ ;\ Q_{2_{3\phi}} = 0\ \text{MVAr}$$

$$P_{p_{3\phi}} = 15{,}090\ \text{MW}\ ;\ Q_{p_{3\phi}} = 124{,}142\ \text{MVAr}$$

$$\eta\ (\%) = 96{,}1999\,\%\ ;\ RV(\%) = 11{,}4555\,\%$$

3. *Capacidad por fase para V_1=220 kV.*

$$\mathbf{S}_{C_{3\phi}} = -j \cdot 234{,}85\ \text{MVAr}$$

⏩ CAS

1. Dato

V

$$X_{C_{3\varphi}} = 206{,}089\ \Omega$$

$$C = 15{,}445\ \mu\text{F}$$

$$\mathbf{I_C} = 616{,}321_{\angle 90^\circ}\ \text{A}$$

$$\mathbf{I_{2f}} = 667{,}744_{\angle 10{,}7247^\circ}\ \text{A}\ ;\ \mathbf{I_{1f}} = 674{,}039_{\angle 16{,}0751^\circ}\ \text{A}$$

$$\mathbf{V_{1f}} = \frac{220}{\sqrt{3}}_{\angle 15{,}3317^\circ}\ \text{kV}\ ;\ \mathbf{V_{1L}} = 220_{\angle 45{,}3317^\circ}\ \text{kV}$$

$$P_{1_{3\phi}} = 256{,}822\ \text{MW}\ ;\ Q_{1_{3\phi}} = -3{,}332\ \text{MVAr}$$

$$P_{2_{3\phi}} = 250\ \text{MW}\ ;\ Q_{2_{3\phi}} = -47{,}35\ \text{MVAr}$$

$$P_{P_{3\phi}} = 6{,}822\ \text{MW}\ ;\ Q_{P_{3\phi}} = 44{,}017\ \text{MVAr}$$

$$\eta\ (\%) = 97{,}3438\ \%\ ;\ RV(\%) = 1{,}26574\ \%$$

CASO 3º: Línea corta.

1. **Datos**: *V_2=220 kV. P_2=250 MW. Factor de potencia = 0,8.*

$$\mathbf{I_{2f}} = 820{,}1_{\angle -36{,}8699^\circ}\ \text{A}\ ;\ \mathbf{I_{1f}} = 820{,}1_{\angle -36{,}8699^\circ}\ \text{A}$$

$$\mathbf{V_{1f}} = \frac{273{,}395}{\sqrt{3}}_{\angle 11{,}0834^\circ}\ \text{kV}\ ;\ \mathbf{V_{1L}} = 273{,}395_{\angle 41{,}0834^\circ}\ \text{kV}$$

$$P_{2_{3\phi}} = 250\ \text{MW}\ ;\ Q_{2_{3\phi}} = 187{,}5\ \text{MVAr}$$

$$P_{1_{3\phi}} = 260{,}088\ \text{MW}\ ;\ Q_{1_{3\phi}} = 288{,}385\ \text{MVAr}$$

$$P_{P_{3\phi}} = 10{,}088\ \text{MW}\ ;\ Q_{P_{3\phi}} = 100{,}885\ \text{MVAr}$$

$$\eta\ (\%) = 96{,}1211\ \%\ ;\ RV(\%) = 24{,}2703\ \%$$

2. ***Datos:*** *V_2=220 kV. P_2=382 MW. Factor de potencia = 1,0.*

$$\mathbf{I}_{2f} = 1002{,}49_{\angle 0^\circ}\ \text{A}\ ;\ \mathbf{I}_{1f} = 1002{,}49_{\angle 0^\circ}\ \text{A}$$

$$\mathbf{V}_{1f} = \frac{244{,}607}{\sqrt{3}}\,{}_{\angle 20{,}7891^\circ}\ \text{kV}\ ;\ \mathbf{V}_{1L} = 244{,}607_{\angle 50{,}7891^\circ}\ \text{kV}$$

$$P_{1_{3\phi}} = 397{,}075\ \text{MW}\ ;\ Q_{1_{3\phi}} = 150{,}748\ \text{MVAr}$$

$$P_{2_{3\phi}} = 382\ \text{MW}\ ;\ Q_{2_{3\phi}} = 0\ \text{MVAr}$$

$$P_{p_{3\phi}} = 15{,}075\ \text{MW}\ ;\ Q_{p_{3\phi}} = 150{,}748\ \text{MVAr}$$

$$\eta\ (\%) = 96{,}2035\ \%\ ;\ RV(\%) = 11{,}1852\ \%$$

3. *Capacidad por fase para V_1=220 kV.*

$$\mathbf{S}_{C_{3\phi}} = -j \cdot 246{,}95\ \text{MVAr}$$

$$X_{C_{3\phi}} = 195{,}991\ \Omega$$

$$C = 16{,}241\ \mu\text{F}$$

$$\mathbf{I}_{C} = 648{,}075_{\angle 90^\circ}\ \text{A}$$

$$\mathbf{I}_{2f} = 674{,}375_{\angle 13{,}3764^\circ}\ \text{A}\ ;\ \mathbf{I}_{1f} = 674{,}375_{\angle 13{,}3764^\circ}\ \text{A}$$

$$\mathbf{V}_{1f} = \frac{220}{\sqrt{3}}\,{}_{\angle 15{,}3317^\circ}\ \text{kV}\ ;\ \mathbf{V}_{1L} = 220\ {}_{\angle 45{,}3317^\circ}\ \text{kV}$$

$$P_{1_{3\phi}} = 256{,}822\ \text{MW}\ ;\ Q_{1_{3\phi}} = 8{,}768\ \text{MVAr}$$

$$P_{2_{3\phi}} = 250\ \text{MW}\ ;\ Q_{2_{3\phi}} = -59{,}450\ \text{MVAr}$$

$$P_{p_{3\phi}} = 6{,}822\ \text{MW}\ ;\ Q_{p_{3\phi}} = 68{,}217\ \text{MVAr}$$

$$\eta\ (\%) = 97{,}3438\ \%\ ;\ RV(\%) = 0\ \%$$

SUPUESTO 2.23: ESTUDIO DE LÍNEA PARA MÁXIMA POTENCIA ADMISIBLE.

Una línea de 220 kV viene definida por las constantes siguientes: R_k=0,0718 Ω/km, X_k=0,421 Ω/km y B_k=2,712·10^{-6} S/km. La longitud de la línea es 80 km. Se emplea un conductor Cóndor en el tendido y se desea conocer:

a) Tensiones e intensidades en los extremos receptor y emisor.

b) Potencias en los extremos receptor y emisor.

c) Pérdida de potencia y rendimiento de la línea.

d) Regulación de voltaje.

Realizar el estudio para los casos siguientes:

1) Para alimentar a una carga de 200 MW con factor de potencia 0,9.

2) Cuando la línea transporte la máxima potencia admisible por calentamiento sin tener en cuenta factores de corrección por disposición de los conductores.

- **Soluciones**:

CASO 1º: Carga de 200 MW con factor de potencia 0,9.

$$\mathbf{I}_{2f} = 583{,}182_{\angle -25{,}8419^\circ}\ \text{A} \ ; \ \mathbf{I}_{1f} = 569{,}608_{\angle -23{,}3147^\circ}\ \text{A}$$

$$\mathbf{V}_{1f} = \frac{240{,}906}{\sqrt{3}}_{\angle 6{,}72862^\circ}\ \text{kV} \ ; \ \mathbf{V}_{1L} = 240{,}906_{\angle 36{,}72862^\circ}\ \text{kV}$$

$$P_{2_{3\phi}} = 200\ \text{MW} \ ; \ Q_{2_{3\phi}} = 96{,}8644\ \text{MVAr}$$

$$P_{1_{3\phi}} = 205{,}743\ \text{MW} \ ; \ Q_{1_{3\phi}} = 118{,}993\ \text{MVAr}$$

$$P_{p_{3\phi}} = 5{,}743\ \text{MW} \ ; \ Q_{p_{3\phi}} = 22{,}129\ \text{MVAr}$$

$$\eta\ (\%) = 97{,}2086\ \% \ ; \ RV(\%) = 9{,}90443\ \%$$

CASO 2º: Carga de 900 A con factor de potencia 0,9.

$$\mathbf{I}_{2f} = 900_{\angle -25,8419^\circ}\ \mathrm{A} \ ; \ \mathbf{I}_{1f} = 885,076_{\angle -24,203^\circ}\ \mathrm{A}$$

$$\mathbf{V}_{1f} = \frac{253,892}{\sqrt{3}}_{\angle 9,86209^\circ}\ \mathrm{kV} \ ; \ \mathbf{V}_{1L} = 253,892_{\angle 39,86209^\circ}\ \mathrm{kV}$$

$$P_{1_{3\phi}} = 322,426\ \mathrm{MW} \ ; \ Q_{1_{3\phi}} = 218,013\ \mathrm{MVAr}$$

$$P_{2_{3\phi}} = 308,651\ \mathrm{MW} \ ; \ Q_{2_{3\phi}} = 149,487\ \mathrm{MVAr}$$

$$P_{P_{3\phi}} = 13,775\ \mathrm{MW} \ ; \ Q_{P_{3\phi}} = 68,526\ \mathrm{MVAr}$$

$$\eta\ (\%) = 95,7277\ \% \ ; \ RV(\%) = 15,8285\ \%$$

P 5.5 Una línea aerea de 80 km de longitud está formada por conductores que definen las siguientes características kilométricas: $R_K = 0'1535\ \Omega/Km$, $L_{AK} = 9'809\cdot10^{-4}\ H/Km$ y $C_K = 1'161\cdot10^{-8}\ H/Km$. Sabiendo que la tension en final de la línea es de 132 kV cuando alimenta a un receptor cuya impedancia es igual a la impedancia característica de la línea determinar:

1- La potencia aparente característica de la línea:
2- La variación de tensión porcentual en la línea:
3- El rendimiento de la línea:

1- La potencia aparente característica es: $S_C = \dfrac{U_2^2}{Z_C}$ (VA)

• Y la impedancia característica es: $Z_C = \sqrt{\dfrac{\vec{Z}_K}{\vec{Y}_K}}$ (Ω/Km)

× La impedancia kilometrica es: $\vec{Z}_K = \sqrt{R_K^2 + X_{LK}^2}$, asociada a su argumento $\beta_Z = \operatorname{arctg}\left(\dfrac{X_{LK}}{R_K}\right)$

· Siendo la reactancia kilométrica $X_{LK} = 2\pi f\cdot L_{AK}$

· Siendo el coeficiente de autoinducción kilometrico L_{AK} que es dato del enunciado.

× Por otro lado, la admitancia kilometrica tiene un valor de: siendo C_K dato del enunciado.

$$\vec{Y}_K = \frac{1}{X_{CK}} = \frac{1}{\dfrac{1}{2\pi f\cdot C_K}\angle{-90^\circ}} = \frac{1}{\dfrac{1}{2\cdot\pi\cdot50\cdot1'161\cdot10^{-8}}\angle{-90^\circ}} = 3'64738907082\cdot10^{-6}\angle{90^\circ}\ (S/Km).$$

La reactancia kilometrica es: $X_{LK} = 2\pi\cdot50\cdot9'809\cdot10^{-4} = 0'308158823391\ \Omega/Km$

Siendo R_K dato del enunciado, la impedancia kilometrica será $Z_K = \sqrt{0'1535^2 + 0'308158823391^2}$

$Z_K = 0'344273307757\ \Omega/Km$, siendo el argumento $\beta_Z = \operatorname{arctg}\left(\dfrac{0'308158823391}{0'1535}\right)$

$\beta_Z = 63'5211973515^\circ$, siendo $\vec{Z}_{K\angle\beta_Z} = 0'344273307757_{\angle 63'5211973515^\circ}\ \Omega/Km$

Quedando la Impedancia característica

$$Z_C = \sqrt{\frac{0'344273307757\angle{63'5211973515^\circ}}{3'64738907082\cdot10^{-6}\angle{90^\circ}}} =$$

$Z_c = 307'227884133 \underline{|-13'2394013242^\circ} \ \Omega/Km$

Por lo tanto la potencia aparente será $S_c = \dfrac{132000^2}{307'227884133} = 56713602'1822\,VA$

2- Para determinar la variación porcentual de tensión es necesario determinar la tensión al principio de la línea:

$U_1 = \sqrt{3} \cdot U_{1f}$, siendo la variación porcentual ...

$\Delta U\% = \dfrac{U_1 - U_2}{U_2} \cdot 100 \rightarrow$ por otro lado $\vec{U}_{1f} = \vec{A} \cdot \vec{U}_{2f} + \vec{B} \cdot \vec{I}_2$ siendo los parámetros

$\vec{A} = \vec{D} = \cosh \vec{\theta} =$ siendo $\vec{\theta}$ el ángulo de propagación $\rightarrow \vec{\theta} = \beta \cdot l$, siendo β la constante de propagación. Y 'l' la longitud de la línea.

$\vec{B} = \vec{Z}_c \cdot \operatorname{senh} \vec{\theta}$, Siendo $I_2 = \dfrac{\vec{U}_{2f}}{\vec{Z}_c} \Rightarrow I_2 = \dfrac{\frac{132000}{\sqrt{3}} \underline{|0^\circ}}{307'227884133 \underline{|-13'2394013242^\circ}}$

$I_2 = 248'057677929 \underline{|13'2394013242^\circ} \ A$

La constante de propagación $\vec{\beta} = \sqrt{\vec{Z}_K \cdot \vec{Y}_K} \rightarrow$

$\beta = \sqrt{0'344273307757 \underline{|63'52119973515^\circ} \cdot 3'64738907082 \cdot 10^{-6} \underline{|90^\circ}} =$

$\beta = 1'12057962684 \cdot 10^{-3} \underline{|76'7605986758^\circ} \rightarrow \vec{\theta} = 1'12057962684 \cdot 10^{-3} \underline{|76'7605986758^\circ} \cdot 80$

$\vec{\theta} = 0'0896463701473 \cdot \underline{|76'7605986758^\circ}$

$\vec{A} \equiv \vec{D} = \cosh \left(0'0896463701473 \cdot \underline{|76'7605986758^\circ} \right) = 0'996406507407 \underline{|0'102897765115^\circ}$

$B = 307'227884133 \underline{|-13'2394013242^\circ} \cdot \operatorname{senh} \left(0'0896463701473 \underline{|76'7605986758^\circ} \right)$

$B = 27'5088583311 \underline{|63'5554307631^\circ}$

$U_{1f} = 0'996406507407 \underline{|0'102897765115^\circ} \cdot \dfrac{132000}{\sqrt{3}} \underline{|0^\circ} + 27'5088583311 \underline{|63'5554307631^\circ} \cdot 248'057677929$

$\underline{|13'2394013242^\circ} \rightarrow U_{1f} = 77791'0681627 \underline{|4'99984266709^\circ} \ V$

$$\Delta U\% = \frac{\sqrt{3}\cdot 77791'0681627 - 132000}{132000} \cdot 100 = 2'07430487348\%$$

3 El Rendimiento de la línea se puede obtener:

$$\eta\% = \frac{P_2}{P_1}\cdot 100 \rightarrow \eta\% = \frac{\sqrt{3}\cdot U_{2f}\cdot I_2\cdot \cos\varphi_2}{\sqrt{3}\cdot U_{1f}\cdot I_1\cdot \cos\varphi_1}$$

Para hallar $\vec{I_1} = \vec{C}\cdot\vec{U}_{2f} + \vec{D}\cdot\vec{I_2}$ y la constante C será

$$C = \frac{\operatorname{senh}\theta}{Z_C} = \frac{0'0896463701473 \angle 76'7605986758^\circ}{307'227884133 \angle -13'2394013242^\circ} = 2'91791125666\cdot 10^{-4} \angle 90^\circ$$

$$\vec{I_1} = 2'91791125666\cdot 10^{-4} \angle 90^\circ \cdot \frac{132000}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ + 0'996406507407 \angle 0'102897765115^\circ \cdot 248'057677929 \angle 13'2394013242^\circ$$

$$\vec{I_1} = 253'22409736 \angle 18'2440319419^\circ \text{ A}$$

se restan el argumento de la tensión de fase del inicio de línea con el de la Intensidad

$$\arg(\vec{I_1} - \vec{U_{1f}}) \rightarrow \quad \varphi_1 = \alpha - \beta \quad 4'9998 - 18 = -13'24$$

$$\varphi_1 = 18'2440319419^\circ - 4'99984266709^\circ = -13'2441892748^\circ$$

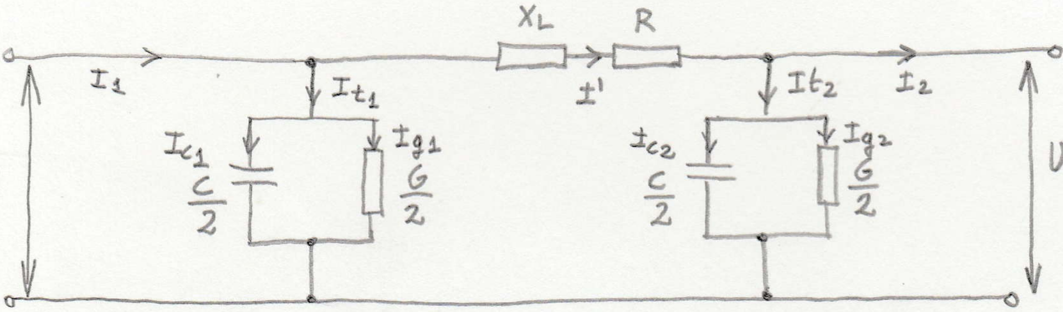
$$\eta = \frac{132000\cdot 248'057677929\cdot \cos(13'2441892748^\circ)}{\sqrt{3}\cdot 77791'0681627\cdot 253'22409736\cdot \cos(-13'2441892748^\circ)}\cdot 100 = 95'9690534096\%$$

P5.7 Una línea aerea de 120km, está construida por medio de conductores cuyas características son $R_K = 0'122\ \Omega/km$, $L_K = 9'983 \cdot 10^{-4}\ H/km$, $C_K = 0'0194\ \mu F/km$.
Determinar empleando el metodo del cuadripolo en π, cuando alimenta a un receptor de 100MW con factor de potencia unidad bajo 132kV.

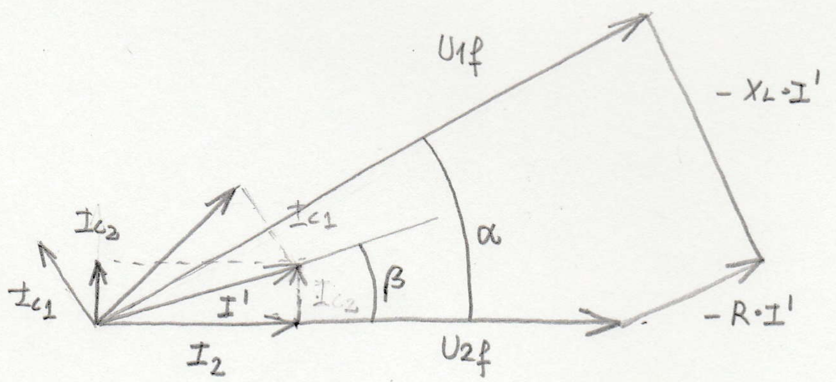
?

1- La variación de tensión
2- La potencia en inicio de línea y el rendimiento de la línea para este tipo de receptor.
3- El valor del coeficiente de autoinducción de la bobina a disponer en el final de la línea funcionando en vacío, para que no se produzca efecto ferranti.

1- El esquema equivalente de una línea electrica asimilada a un cuadripolo en π es:



Despreciando la perditancia porque:
$\frac{G}{2} \approx 0$ y por aplicación de la ley 2ª de Kirchhoff al circuito tenemos que el diagrama vectorial por fase, cuando alimenta a un receptor puramente ohmico es de forma:



Los terminos que intervienen en el diagrama son: $R = R_K \cdot l \rightarrow R = 0'122 \cdot 120 = 14'64\ \Omega$

$X_{LK} = 2\pi f L_K \rightarrow X_{LK} = 2\pi \cdot 50 \cdot 9'983 \cdot 10^{-4} = 0'313625194608\ \Omega/Km$

$X_L = X_{LK} \cdot l \rightarrow X_L = 0'313625194608 \cdot 120 = 37'635023353\ \Omega$

$$\frac{X_C}{2} = \frac{1}{2\pi f \frac{C}{2} \cdot l} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot \frac{0'0114}{2} \cdot 10^{-6} \cdot 120} = 4653'65330677 \underline{|-90^\circ} \ \Omega$$

Nos piden la variación de la tensión: $\Delta U\% = \frac{U_1 - U_2}{U_2} \cdot 100$, para ello necesitamos saber U_{1f}, que viene dada por lo siguiente:

$$U_{1f} = \vec{U}_{2f} + R \cdot \vec{I}' + X_L \cdot \vec{I}'$$

Por lo que necesitamos hallar $\vec{I}' = \vec{I}_2 + \vec{I}_{c2}$ y $I_2 = \frac{P_2}{\sqrt{3} \cdot U_2 \cdot \cos\varphi_2}$ y

$I_{c2} = \frac{U_{2f}}{\frac{X_C}{2}}$ siendo $I_{c2} = \frac{\frac{132000}{\sqrt{3}} \underline{|0^\circ}}{4653'65330677 \underline{|-90^\circ}} = 16'3764316998 \underline{|90^\circ} \ A$

$$I_2 = \frac{100 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 132000 \cdot 1} = 437'386567568 \underline{|0^\circ} \ A$$

$$I' = 437'386567568 \underline{|0^\circ} + 16'3764316998 \underline{|90^\circ} = 437'693039703 \underline{|2'14424127195^\circ}$$

siendo el argumento de $I' \to \beta$ según el diagrama fasorial anterior, siendo

$$U_{1f} = \frac{132000}{\sqrt{3}} \underline{|0^\circ} + 14'64 \cdot 437'693039703 \underline{|2'14424127195^\circ} + 37'635023353 \underline{|90^\circ} \cdot 437'693039703 \underline{|2'14424127195^\circ} \to U_{1f} = 83680'7353706 \underline{|11'5122623381^\circ} \ V$$

, la tensión al inicio de la línea será...

$U_1 = U_{1f} \cdot \sqrt{3} \to U_1 = 144939'285276$

$$\Delta U\% = \frac{144939'285276 - 132000}{132000} \cdot 100 = 9'80248884545 \%$$

2- La potencia al inicio de la línea será $P_1 = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1$ siendo

$\vec{I}_1 = \vec{I}' + \vec{I}_{c1} \to$ siendo $I_{c1} = \frac{U_{1f}}{\frac{X_C}{2}} \to I_{c1} = \frac{83680'7353706 \underline{|11'5122623381^\circ}}{4653'65330677 \underline{|-90^\circ}}$

$$\vec{I}_{c1} = 17'9817295905 \underline{|101'512262338^\circ} \ A$$

$$\vec{I}_1 = 437'693039703 \underline{|2'14424127195^\circ} + 17'9817295905 \underline{|101'512262338^\circ} = 435'127913268 \underline{|4'48106781578}$$

$\varphi_1 = \alpha - \beta \rightarrow \varphi_1 = 11'5122623381^\circ - 4'48106781578^\circ = 7'03119452232^\circ$

$P_1 = \sqrt{3} \cdot 144939'285276 \cdot 435'127913268 \cdot \cos(7'03119452232^\circ) \Rightarrow P_1 = 108413982'652\,W$

El rendimiento por otra parte es: $\eta\% = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 \rightarrow \eta\% = \frac{100 \cdot 10^6}{108413982'652} = 92'2390244817\%$

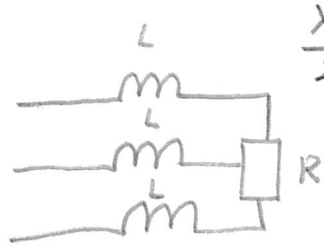
$$\eta\% = \frac{P_2}{P_2 + 3\,P_{joule}} \cdot 100 = \frac{P_2}{P_2 + 3 \cdot R \cdot I'^2} \rightarrow \eta\% = \frac{100 \cdot 10^6}{100 \cdot 10^6 + 3 \cdot 14'64 \cdot 437'693039703} \cdot 100$$

$\eta\% = 92'2390244817\%$

3- El efecto ferranti que se traduce en un aumento de tensión al final de la línea respecto a la tensión de origen, es debido al efecto capacitivo de las líneas poniéndose de manifiesto cuando estas trabajan en vacío o próximos a este régimen. Si conseguimos anular el valor I' no se producirá caída de tensión en la línea y en este caso $U_1 = U_2$ y en consecuencia no se produce el efecto ferranti, para ello tenemos que conectar un receptor cuya corriente sea igual y de sentido contrario a I_{c2} esto lo conseguimos con una reactancia inductiva (bobina) esta reactancia inductiva debe presentar un módulo de $\frac{X_C}{2}$, de donde: $X_L = \frac{X_C}{2} \rightarrow L = \frac{X_L}{2\pi f} \rightarrow L = \frac{4653'65330677}{2\pi \cdot 50}$

$L = 14'8130385442\,H.$

$\frac{X_C}{2} \cdot \sqrt{3}$



P 5.10 Se desea construir una línea de 10 km a 132 kV con cables unipolares del tipo HEPRZ1 72/132 kV x 400 cuyas características son: $X_{Lk} = 0'111\ \Omega/km$ y $C_k = 0'3\ \mu F/km$. Sabiendo que esta línea debe suministrar 100 MVA con factor de potencia unidad. Determinar por medio del cuadripolo en T:

Puramente óhmico?

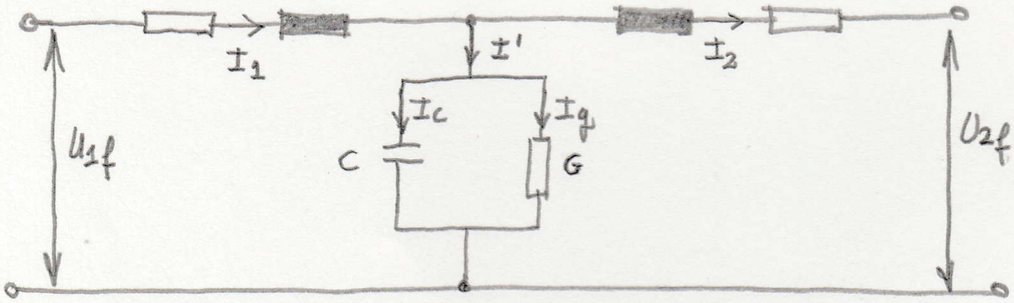
1- La caída de tensión porcentual resultante
2- El rendimiento energético en el transporte
3- La corriente de vacío de la línea y la tensión primaria necesaria, admitiendo constante la tensión al final de la misma.

1- La caída de tensión porcentual viene dada por $\Delta U\% = \frac{U_1 - U_2}{U_2} \cdot 100$ y U_1, viene dada por la siguiente expresión

$U_1 = U_{1f} \cdot \sqrt{3}$, siendo U_{1f} según la 2ª Ley de Kirchoff

Aplicando el cuadripolo en T:

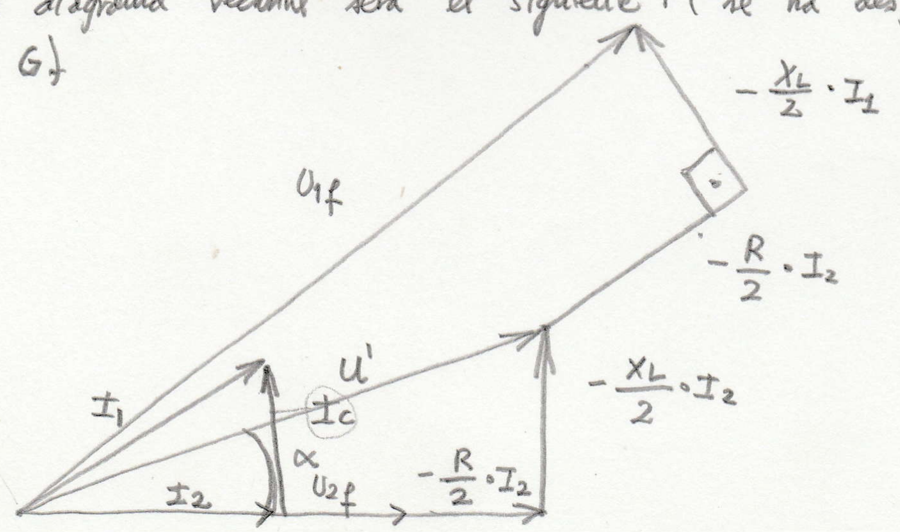
$U_{1f} = U'_f$



$$\vec{U}_{1f} = \vec{U}_{2f} - \frac{R}{2} \cdot \vec{I}_1 - \frac{X_L}{2} \cdot \vec{I}_1 - \frac{R}{2} \cdot \vec{I}_2 - \frac{X_L}{2} \cdot \vec{I}_2$$

$$\vec{U}_{1f} = \vec{U}'_f - \frac{R}{2} I_1 - \frac{X_L}{2} \cdot \vec{I}_1 \rightarrow \vec{U}' = U_{2f} + \left(\frac{R}{2} \cdot I_2\right) + \left(\frac{X_L}{2} \cdot I_2\right) \rightarrow I_c = \frac{U'}{X_c}$$

Tomando como origen del sistema la corriente suministrada por la línea, que al alimentar a un circuito puramente óhmico estará en fase con la tensión simple o de fase secundaria, el diagrama vectorial será el siguiente. (se ha despreciado la perditancia de la línea G)



La resistencia no nos la dicen, pero sabiendo que el cable es de cobre, se emplea la siguiente expresión

$$R_{20} = \rho \cdot \frac{l}{S} \rightarrow R_{20°C} = 0'0176 \cdot \frac{10000\ m}{400\ mm^2} = 0'44\ \Omega$$

Pero al ser un cable con aislamiento HEPR (etileno - propileno de alto módulo) su temperatura máxima de funcionamiento es de 105°C, por tanto como máximo calcularemos la resistencia kilométrica del conductor a esta temperatura:

$$R_{105°C} = R_{20°C} \cdot [1 + \alpha (T_{max} - T_{cu}) \rightarrow R_{105} = 0'44\,[1 + 0'004\,(105-20)] = 0'5896\ \Omega$$

$$\frac{R}{2} = \frac{0'5896}{2} = 0'2948\ \Omega \qquad \frac{X_L}{2} = \frac{X_{LK} \cdot 10}{2} = \frac{0'111 \cdot 10}{2} = 0'555\ \Omega$$

$$I_2 = \frac{P_2}{\sqrt{3} \cdot U_2 \cdot \cos\varphi_2} = \frac{100 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 132000 \cdot 1} = 437'386567568\ A.$$

Aplicamos la siguiente expresión $\rightarrow U' = U_{2f} + \frac{R}{2} \cdot I_2 + \frac{X_L}{2} \cdot I_2$

$$U' = \frac{132000}{\sqrt{3}} \underline{|0°} + (0'2948 \cdot 437'386567568) + (0'555 \underline{|90°} \cdot 437'386567568) =$$

$U' = 76339'5630495 \underline{|0'1821931812\,44°}\ V$ una vez conocida U' podemos hallar $\vec{U}_{1f}$,

calculando previamente la $\vec{I}_1 = \vec{I}_2 + \vec{I}_C$, siendo $\vec{I}_C = \frac{U'}{X_C}$ y $X_C = \frac{1}{2\pi f \cdot C_K \cdot l}$

$$X_C = \frac{1}{2\pi\, 50 \cdot 0'3 \cdot 10^{-6} \cdot 10} = 1061'03295395\ \Omega \rightarrow \vec{I}_C = \frac{76339'5630495 \underline{|0'182193181244°}}{1061'03295395 \underline{|-90°}}$$

$$\vec{I}_C = 71'9483431362 \underline{|90'1821931812°}\ A \rightarrow \vec{I}_1 = \vec{I}_2 + \vec{I}_C$$

$$\vec{I}_1 = 437'386567568 \underline{|0°} + 71'9483431362 \underline{|90'1821931812°} = 443'038867001 \underline{|9'34602747593°}$$

Aplicamos $\vec{U}_{1f} = \vec{U}'_f + \frac{R}{2} \cdot \vec{I}_1 + \frac{X_L}{2} \cdot \vec{I}_1$

$$\vec{U}_{1f} = 76339'5630495 \underline{|0'182193181244°} + 0'2948 \cdot 443'038867001 \underline{|9'34602747593°} + 0'555 \underline{|90°} \cdot$$

$$443'038867001 \underline{|9'34602747593°} \rightarrow \vec{U}_{1f} = 76429'7989297 \underline{|0'379763458329°}\ V$$

$\overline{U}_1 = U_{1f}\cdot\sqrt{3} \to U_1 = 76429'7989297\cdot\sqrt{3} = 132380'294959\,V$

$$\Delta U\% = \frac{132380'294959 - 132000}{132000}\cdot 100 = 0'288102241667\,\%$$

2- El rendimiento se calcula $\eta\% = \frac{P_2}{\sqrt{3}\cdot U_1\cdot I_1\cdot\cos\varphi_1}\cdot 100$

Siendo $\varphi_1 = \text{argumento}(\overline{U}_{1f} - \overline{I}_1)$

$$\varphi_1 = (0'379763458329 - 9'346027477593^\circ)$$

$\varphi_1 = -8'966264018^\circ$

$$\eta\% = \frac{100\cdot 10^6}{\sqrt{3}\cdot 132380'294959\cdot 443'038867001\cdot\cos(-8'966264018^\circ)}\cdot 100 \to 99'658\%$$

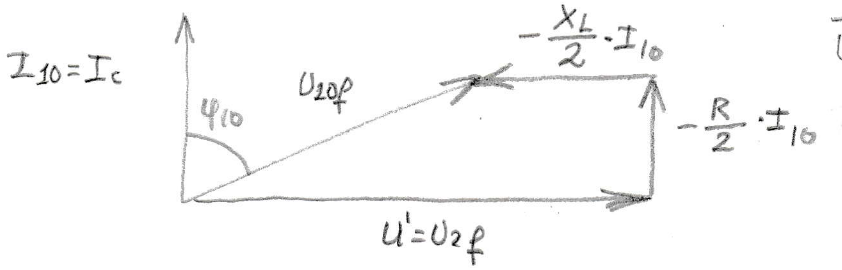
También podemos saber el rendimiento con la potencia perdida: $\eta\% = \frac{P_2}{P_2 + P_p}\cdot 100 =$

$$\eta\% = \frac{100\cdot 10^6}{100\cdot 10^6 + 3\cdot 0'2948\cdot(443'038867001^2 + 437'386567568^2)}\cdot 100 \qquad \eta\% = \frac{P_2}{P_2 + 3\cdot\frac{R}{2}\cdot(I_1^2 + I_2^2)}$$

$\eta\% = 99'6583860105\%$

3- La corriente de vacío de la línea y la tensión primaria necesaria, admitiendo cte la tensión al final de la misma

La tensión necesaria al final de la línea



$$\vec{U}_{10f} = \vec{U}_{2f} + \frac{R}{2}\cdot\vec{I}_{10} + \frac{X_L}{2}\cdot\vec{I}_{10}$$

Si no existe corriente I_2, ya que la tensión al final de línea permanece constante 132kV, no habrá caída de tensión en el segundo tramo de línea por lo que la tensión en el punto medio de la línea U' será la misma corriente I_1, de donde

$$\vec{I}_{10} = I_c = \frac{U'_f}{X_c} \to I_{10} = I_c = \frac{\frac{132000}{\sqrt{3}}\angle 0^\circ}{1061'03295395\angle -90^\circ} = 71'8264548234\angle 90^\circ\,A$$

$$\vec{U}_{10f} = \frac{132000}{\sqrt{3}}\angle 0^\circ + (0'2948\cdot 71'8264548234\angle 90^\circ) + (0'555\angle 90^\circ\cdot 71'8264548234\angle 90^\circ)$$

$U_{10f} = 76170'3747937 \underline{|0'01592^\circ} \, V$

$U_{10} = \sqrt{3} \cdot U_{10f} \rightarrow U_{10} = \sqrt{3} \cdot 76170'3747937 = 131930'959174 V$

La corriente de vacío es: para $U_2 = I_{10} = I_c = 2\pi f \cdot C \vec{U}_{2f}$

$$I_{10} = I_c = 2\pi \cdot 50 \cdot (0'3 \cdot 10^{-6} \cdot 10 km) \cdot \left(\frac{132000}{\sqrt{3}}\right) = 71'8264548237 A$$

Potencia de vacío $P_{10} = \sqrt{3} \cdot U_{10} \cdot I_{10} \cdot \cos\varphi_{10}$

$$\cos\varphi_{10} = \frac{\frac{R}{2} \cdot I_{10}}{U_{10f}} \Rightarrow \arccos\varphi_{10} = \frac{0'2948 \cdot 71'8264548234}{76170'3747937} = \arccos(2'779878521 \cdot 10^{-4})$$

$\varphi_{10} = 89'984 \approx 90^\circ$ ya que la línea es muy corta

$P_{10} = \sqrt{3} \cdot 76170'3747937 \cdot 71'8264548237 \cdot 2'779878521 \cdot 10^{-4} = 2634'25 W$ de pérdidas de vacío.

P. 5.11 Una línea eléctrica presenta las siguientes características: $R = 6'489\ \Omega$; $X_L = 38'088\ \Omega$ y $X_C = 4125'92\ \Omega$. Determinar:

1- Las constantes auxiliares de la línea.

2- La variación porcentual de la tensión y el rendimiento de la línea cuando la misma suministra 100 MW a 220 kV con factor de potencia 0'85 i.

3- La tensión, intensidad y factor de potencia en inicio de línea estando la misma en vacío y con una tensión al final de 220 kV.

1- Las constantes auxiliares son $A = D = \cosh \vec{\theta}$; $B = \vec{Z_C} \cdot \operatorname{senh} \vec{\theta}$; $C = \dfrac{\operatorname{senh} \vec{\theta}}{\vec{Z_C}}$

Siendo el ángulo de propagación $\vec{\theta} = \sqrt{\vec{Z} \cdot \vec{Y}}$, siendo $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ y $\vec{Y} = \dfrac{1}{X_C}$

Siendo la admitancia $\vec{Y} = \dfrac{1}{4125'92 \underline{|-90^\circ}} = 2'423701865 \cdot 10^{-4}\ S \underline{|90^\circ}$ y la impedancia será:

$$|\vec{Z}| = \sqrt{6'489^2 + 38'088^2} = 38'63680713\ \Omega$$

$$\vec{Z} = 38'63680713 \underline{|80'3314288^\circ}\ \Omega$$

$$\beta_Z = \operatorname{arctg} \frac{X_L}{R} \rightarrow \beta_Z = \frac{38'088}{6'489} = 80'3314288^\circ$$

$$\vec{\theta} = \sqrt{38'63680713 \underline{|80'3314288^\circ} \cdot 2'423701865 \cdot 10^{-4} \underline{|90^\circ}} \rightarrow \vec{\theta} = 9'67698824524 \cdot 10^{-2} \underline{|85'1657144^\circ}$$

$$A \equiv D = \cosh \left(9'67698824524 \cdot 10^{-2} \underline{|85'1657144^\circ} \right) \Rightarrow A \equiv D = 0'995388058552 \underline{|0'0451948372846^\circ}$$

Para el parámetro B $\rightarrow$ $\vec{Z_C} = \sqrt{\dfrac{\vec{Z}}{\vec{Y}}}$ $\rightarrow$

$$\vec{Z_C} = \sqrt{\frac{38'63680713 \underline{|80'3314288^\circ}}{2'423701865 \cdot 10^{-4} \underline{|90^\circ}}}$$

$$\vec{Z_C} = 399'264793454 \underline{|-4'83428560001^\circ}$$

$$B = 399'264793454 \underline{|-4'83428560001^\circ} \cdot \operatorname{senh} \left(9'67698824524 \cdot 10^{-2} \underline{|85'1657144^\circ} \right)$$

$$B = 38'5773898174 \underline{|80'3464566129^\circ}$$

$$C = \operatorname{senh} \left(\frac{9'67698824524 \cdot 10^{-2} \underline{|85'1657144^\circ}}{399'264793454 \underline{|-4'83428560001^\circ}} \right) = 2'41997459399 \cdot 10^{-4} \underline{|90'0150278129^\circ}$$

2- La variación porcentual de la tensión $\Delta U\% \frac{U_1-U_2}{U_2}\cdot 100$

Siendo $U_1=\sqrt{3}\cdot U_{1f} \rightarrow$ Siendo $\vec{U}_{1f}=\vec{A}\cdot\vec{U}_{2f}+\vec{B}\cdot\vec{I}_2$, nos falta I_2 porque U_{2f}

$$\vec{U}_{2f}=\frac{220000}{\sqrt{3}}\underline{/0°} \quad y \quad I_2=\frac{P_2}{\sqrt{3}\cdot U_2\cdot\cos\varphi_2} \rightarrow I_2=\frac{100\cdot 10^6}{\sqrt{3}\cdot 220000\cdot 0'85}=308'7434595\ A$$

Siendo $\varphi_2=\arccos(0'85)_{inductivo}$ $-31'78833062°$

$$\vec{I}_2=308'7434595\underline{/-31'78833062°}\ A$$

$$\vec{U}_{1f}=0'995388058552\underline{/0'0451948372846°}\cdot\frac{220000}{\sqrt{3}}\underline{/0°}+38'5773898174\underline{/80'3464566129°}\cdot$$

$$308'7434595\underline{/-31'78833062°}=134617'398899\underline{/3'84545527719°}\ V$$

$$U_1=\sqrt{3}\cdot 134617'398899=233164'174476\ V$$

$$I_1=\vec{C}\cdot\vec{U}_{2f}+\vec{D}\cdot\vec{I}_2\rightarrow$$

$$\vec{I}_1=2'41997459399\cdot 10^{-4}\underline{/90'0150278124°}\cdot\frac{220000}{\sqrt{3}}+0'995388058552\underline{/0'0451948372846°}\cdot$$

$$308'7434595\underline{/-31'78833062°}=292'311908602\underline{/-26'6134604362°}\ A$$

$$\varphi_1=\text{argument}(\vec{U}_{1f}-I_{1f})\rightarrow\varphi_1=(3'84545527719-(-26'6134604362))=$$

$$\varphi_1=30'4589157134°$$

La variación porcentual $\Delta U\%=\frac{233164'174476-220000}{220000}\cdot 100=5'98371567091\%$

$$\eta\%=\frac{P_2}{P_1}\cdot 100\rightarrow \quad \eta\%=\frac{100\cdot 10^6}{\sqrt{3}\cdot 233164'174476\cdot 292'311908602\cdot\cos(30'4589157134°)}$$

$$\eta\%=98'2714506803\%$$

3) Estando la línea en vacío: la tensión de vacío será:

$$U_{10f} = \vec{A} \cdot U_{2f} \rightarrow U_{10f} = 0'9953880058552 \,\angle 0'0451948372846^\circ \cdot \frac{220000}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ$$

$$U_{10f} = 126431'263982 \,\angle 0'0451948372846^\circ \text{ V} \rightarrow U_1 = \sqrt{3} \cdot 126431'263982 = 218985'372882 \text{ V}$$

La intensidad de vacío será: $\vec{I}_{10} = \vec{C} \cdot \vec{U}_{2f} \rightarrow 2'41997459399 \cdot 10^{-4} \,\angle 90'0150278129^\circ \cdot \frac{220000}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ$

$$\vec{I}_{10} = 30'7378056321 \,\angle 90'0150278129^\circ \text{ A} \rightarrow$$

Finalmente el factor de potencia en vacío

$$\varphi_{10} = \text{argumento} \left(\vec{I}_{10} - \vec{U}_{10} \right) \rightarrow \varphi_{10} = 90'0150278129^\circ - 0'0451948372846^\circ = 89'9698329756^\circ$$

$\varphi_{10} = 0'000526513876983$ capacitivo // es positivo.

P 5.12 La línea duplex de 380kV que une Guadalquivir Medio con Tajo de la Encantada tiene una longitud total de 140 km y presenta las siguientes características: L_{ak}= 1mH/km ; C_K= 12nF/km y R_K= 0'07 Ω/km . Sabiendo que la línea debe suministrar a la tensión nominal 900A, a un receptor con factor de potencia inductivo 0'8. Determinar:

1- La variación de tensión, corriente en inicio y rendimiento de la línea por el método de los parámetros distribuidos:

2- La variación de tensión, corriente en inicio y rendimiento de la línea por el método del cuadripolo en π:

1- La variación de tensión $\Delta U\% = \frac{U_1 - U_2}{U_2} \cdot 100 \rightarrow U_1 = \sqrt{3} \cdot \vec{U}_{1f} \rightarrow \vec{U}_{1f} = \vec{A} \cdot \vec{U}_{2f} + \vec{B} \cdot \vec{I}_2$

$$A = D = \cosh \vec{\theta} \rightarrow \vec{\theta} = \beta \cdot l \rightarrow \beta = \sqrt{\vec{Z}_K \cdot \vec{Y}_K} \rightarrow \vec{Z}_K = \sqrt{R_K^2 + X_{LK}^2} \rightarrow \beta_Z = \operatorname{arctg} \frac{X_{LK}}{R_K} \rightarrow \vec{Y}_K = \frac{1}{X_{CK}}$$

$$\rightarrow \vec{X}_{LK} = 2\pi f L_{aK}$$

Siendo $X_{CK} = \frac{1}{2\pi f \cdot C_K} \rightarrow X_{CK} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 12 \cdot 10^{-9}} \Rightarrow \vec{Y}_K = \frac{1}{265258'238486 \underline{|-90^\circ}}$

$\vec{Y}_K = 3'76991118431 \cdot 10^{-6} \underline{|90^\circ}$, por otro lado la impedancia kilométrica será:

$$\vec{Z}_K = \sqrt{0'07^2 + 0'314159265359^2} = 0'3218633934 \underline{|77'4387261592^\circ} \quad X_{LK} = 2\pi \cdot 50 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 0'314159265359$$

$\beta_Z = \operatorname{arctg}\left(\frac{0'314159265359}{0'07}\right) = 77'4387261592^\circ$ la constante de propagación será:

$$\beta = \sqrt{0'3218633934 \underline{|77'4387261592^\circ} \cdot 3'76991118431 \cdot 10^{-6} \underline{|90^\circ}} = 0'0010154273934 \underline{|83'7193630796^\circ}$$

$$\vec{\theta} = 0'0010154273934 \underline{|83'7193630796^\circ} \cdot 140 = 0'154215983508 \underline{|83'7193630796^\circ}$$

$$A = D = \cosh\left(0'154215983508 \underline{|83'7193630796^\circ}\right) \rightarrow A = 0'988418025349 \underline{|0'149333117626^\circ}$$

La impedancia característica será $\vec{Z}_C = \sqrt{\frac{\vec{Z}_K}{\vec{Y}_K}}$ para el parámetro $B = \vec{Z}_C \cdot \operatorname{senh} \vec{\theta}$

$$\vec{Z}_C = \sqrt{\frac{0'3218633934 \underline{|77'4387261592^\circ}}{3'76991118431 \cdot 10^{-6} \underline{|90^\circ}}} \rightarrow \vec{Z}_C = 292'193286656 \underline{|-6'28063692039^\circ}$$

$$B = 292'193286656 \underline{|-6'28063692039^\circ} \cdot \operatorname{senh}\left(0'154215983508 \underline{|83'7193630796^\circ}\right)$$

$$B = 44'8867486699 \angle 77'4881947625^\circ$$

$$C = \frac{\operatorname{senh}\left(0'154215983508 \angle 83'7193630796^\circ\right)}{292'193286656 \angle -6'28063692039^\circ} = 5'257480636 42 \cdot 10^{-4} \angle 90'0494686033^\circ$$

Siendo $U_{2f} = \frac{380000}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ \rightarrow I_2 = 900\,A$ siendo también dato del enunciado 0'8 inductivo

$$I_2 = 900 \angle -36'8698976458^\circ\ A \rightarrow$$

$$\vec{U}_{1f} = 0'988418025349 \angle 0'149333117626^\circ \cdot \frac{380000}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ + 44'8867486699 \angle 77'4881947625^\circ \cdot 900 \angle -36'86989764...$$

$$\vec{U}_{1f} = 248969'73627 \angle 6'19454635221^\circ\ V \rightarrow U_1 = \sqrt{3} \cdot 248969'73627 = 431228'232767\ V$$

$$\Delta U\% = \frac{431228'232767 - 380000}{380000} \cdot 100 = 13'4811138861\%$$

$$\vec{I}_1 = 5'25748063642 \cdot 10^{-4} \angle 90'0494686033^\circ \cdot \frac{380000}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ + 0'988418025349 \angle 0'149333117626^\circ \cdot$$

$$900 \angle -36'8698976458^\circ = 825'715714135 \angle -30'2957598148^\circ\ A$$

$$\eta\% = \frac{\sqrt{3} \cdot 380000 \cdot 900 \cdot 0'8}{\sqrt{3} \cdot 431228'232767 \cdot 825'715714135 \cdot \cos(36'490306167^\circ)} \cdot 100 = 95'57521262\%$$

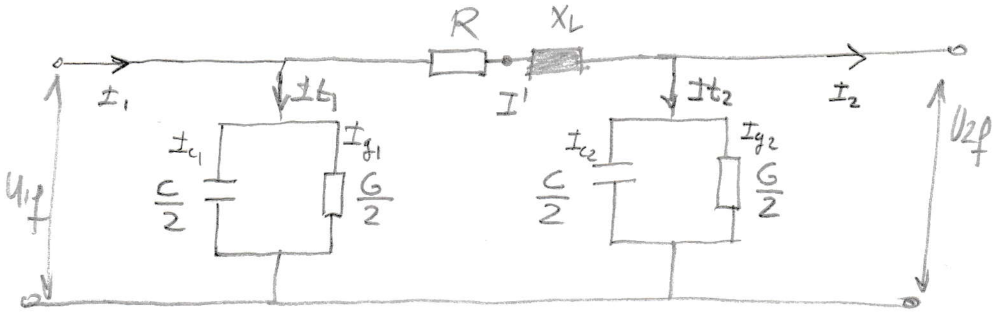
Siendo φ_1 previamente calculado $= \varphi_1 = \text{argumento}(\vec{U}_{1f} - \vec{I}_{1f})$

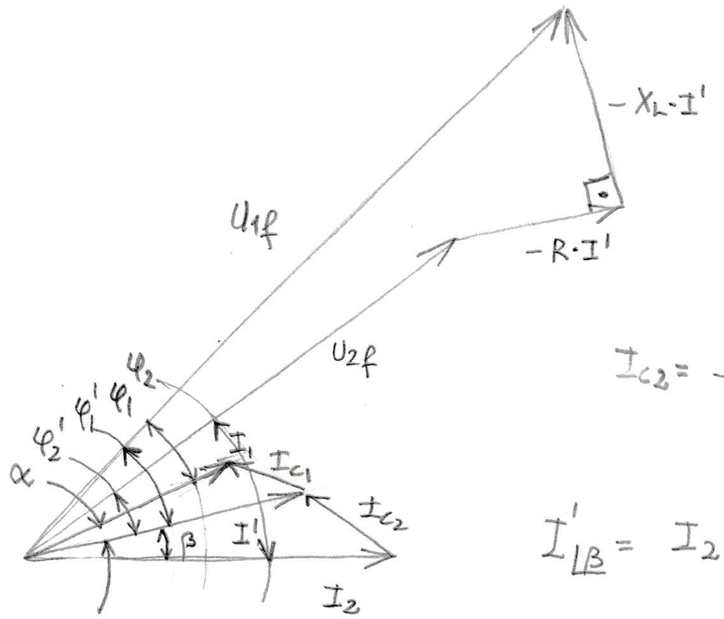
$$\varphi_1 = 6'19454635221^\circ - (-30'2957598148^\circ) = 36'490306167^\circ$$

2- Metodo cuadripolo en Π ¿los resultados son iguales? vamos a comprobarlo!

Primero, la tensión viene $U_{1f} \angle \varphi_1' = U_{2f} \angle \varphi_2' + R \cdot I' \angle 0^\circ + X_L \cdot I' \angle 90^\circ$

$$I' \angle \beta = I_2 \angle 0^\circ + I_{c2} \angle \varphi_2 + 90^\circ \longrightarrow I_{c2} = \frac{U_{2f}}{\frac{X_c}{2}} \rightarrow X_c = \frac{X_c}{2}$$ cuadripolo en Π





Aplicando $\frac{X_c}{2} = \frac{1}{\cancel{2}\pi f C\cdot \frac{l}{\cancel{2}}} = \frac{1}{\pi f C\cdot l}$

$$\frac{X_c}{2} = 3789'40340694\,\Omega \angle{-90^\circ}$$

$$I_{c2} = \frac{\frac{380000}{\sqrt{3}}\angle 0^\circ}{3789'40340694\angle{-90^\circ}} = 57'8964757065\angle 90^\circ+\varphi_2\ A$$

$$I'_{\angle\beta} = I_{2\angle 0^\circ} + I_{c2\angle \varphi_2+90^\circ}$$

$$I'_{\angle\beta} = 900\angle 0^\circ + 57'8964757065\angle 90^\circ+36'8698976458^\circ \rightarrow I'_{\angle\beta} = 866'500899098\angle 3'0640987695^\circ\ A$$

$$U_{1f\angle\varphi_1'} = U_{2f\angle\varphi_2'} + R\cdot I'_{\angle 0^\circ} + X_L\cdot I'_{\angle 90^\circ} \quad \text{siendo} \quad \varphi_2' = \varphi_2 - \beta$$

$$\varphi_2' = 33'8057988763^\circ \rightarrow U_{1f\angle\varphi_1'} = \frac{380000}{\sqrt{3}}\angle 33'8057988763^\circ + \left(9'8\angle 0^\circ \cdot 866'500899098\angle 0^\circ\right)$$

$$+\left(43'9822971508\angle 90^\circ \cdot 866'500899098\angle 0^\circ\right) = 249114'381417\angle 40'0146936411^\circ\ V$$

siendo $R = R_K\cdot l \rightarrow R = 0'07\cdot 140 = 9'8\,\Omega$ → y $X_L = X_{LK}\cdot l \rightarrow X_L = 0'314159265359\cdot 140 = 43'9822971508\,\Omega$

$$\vec{U}_{1f} = 249114'381417\angle 40'0146936411^\circ\ V \rightarrow U_1 = \sqrt{3}\cdot 249114'381417 = 431478'765511\ V$$

$$\Delta U\% = \frac{431478'765511 - 380000}{380000}\cdot 100 \rightarrow \Delta U\% = 13'5470435555\%$$

La intensidad en inicio de la línea será $I_{1\angle\alpha} = I'_{\angle 0^\circ} + I_{c1\angle\varphi_1'+90^\circ}$

$$I_{c1} = \frac{U_{1f}}{\frac{X_c}{2}} \rightarrow I_{c1} = \frac{U_{1f\angle\varphi_1'}}{\frac{1}{2\pi f\cdot\frac{C}{2}\cdot l}\angle{-90^\circ}} \rightarrow I_{c1} = \frac{249114'381417\angle 40'0146936411^\circ}{\frac{1}{\pi\cdot 50\cdot 12\cdot 10^{-9}\cdot 140}\angle{-90^\circ}}$$

$$I_{C1} = \frac{249114'381417 \underline{|40'0146936411^\circ}}{3789'40340694 \underline{|-90^\circ}} = 65'7397364874 \underline{|130'014693641^\circ} \text{ A}$$

$$I_{1}\underline{|\alpha} = I'_{\underline{|0^\circ}} + I_{C1}\underline{|\varphi_1'+90^\circ} \Rightarrow I_1\underline{|\alpha} = 866'500899098 \underline{|0^\circ} + 65'7397364874 \underline{|130'014693641^\circ}$$

$$I_1\underline{|\alpha} = 825'767658394 \underline{|3'49560751 27^\circ}$$

El factor de potencia en inicio de la linea es:

$$\varphi_1 = \varphi_1' - \alpha \Rightarrow \varphi_1 = 40'0146936411^\circ - 3'4956075127^\circ = 36'5190861284$$

El Rendimient

$$\eta\% = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 \rightarrow \eta\% \frac{\sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1} \cdot 100$$

$$\eta\% = \frac{\sqrt{3} \cdot 380000 \cdot 900 \cdot 0'8}{\sqrt{3} \cdot 431478'765511 \cdot 825'767658394 \cdot \cos(36'5190861284)} \cdot 100 = 95'5492232933\%$$

PARAMETROS DISTRIBUIDOS	CUADRIPOLO EN π.
$\eta\% = 95'57521262\%$	$\eta\% = 95'5492232933\%$
$I_1 = 825'715714135 \underline{|-30'2957598148^\circ}$ A	$I_1 = 825'767658399 \underline{|3'4956075}$
$U_1 = 431228'232767$ V	$U_1 = 431478'765511$ V

$$\boxed{\text{COMPARATIVA}}$$

P5.13 En las líneas subterráneas a 220kV se emplean cables unipolares con designación. XLPE PE OL-OT 127/220kV de 1x1000 + H206 cuyas características kilométricas son: $X_{LK}=0'176\ \Omega/km$; $C_K=0'196\ \mu F/km$ y $R_K=0'025\ \Omega/km$. Sabiendo que se desea construir una línea de 20km para alimentar a un receptor de 200MW, bajo 220kV y factor de potencia 0'8 inductivo. Determinar por el método de parámetros distribuidos:

1)- La tensión, corriente, rendimiento y factor de potencia en inicio de la línea.

2)- Para regular la tensión en la línea se ha dispuesto una batería de condensadores de 100MVAr en paralelo con el receptor anterior, admitiendo que la tensión al final de la línea permanece constante, determinar los mismos valores que en el caso anterior para con esta nueva situación.

$$\vec{U}_{1f}=\vec{A}\cdot\vec{U}_{2f}+\vec{B}\cdot\vec{I}_2$$

$$I_1=\vec{C}\cdot\vec{U}_{2f}+\vec{D}\cdot\vec{I}_2$$

$$R=R_K\cdot l \Rightarrow R=0'025\cdot 20=0'5\ \Omega$$

$$X_L=X_{LK}\cdot l \Rightarrow X_L=0'176\cdot 20=3'52\ \underline{|90}\ \Omega$$

$$X_C=\frac{1}{2\pi f\cdot C_K\cdot l}\Rightarrow X_C=\frac{1}{2\pi\cdot 50\cdot 0'196\cdot 10^{-6}\cdot 20}\Rightarrow X_C=812'015015773\ \underline{|-90^\circ}\ \Omega$$

$$Z=\sqrt{R^2+X_L^2}=\sqrt{0'5^2+3'52^2}=3'55533402088\ \Omega$$

$$\beta_Z=\operatorname{arctg}\left(\frac{X_L}{R}\right)\Rightarrow \beta_Z=\operatorname{arctg}\left(\frac{3'52}{0'5}\right)=81'9154790042^\circ \qquad \vec{Z}=3'55533402088\ \underline{|81'9154790042^\circ}\ \Omega$$

$$Y=\frac{1}{X_C}\rightarrow Y=\frac{1}{812'015015773}=0'00123150432021\ S\ \underline{|90^\circ}$$

$$Z_c=\sqrt{\frac{\vec{Z}}{\vec{Y}}}=\sqrt{\frac{3'55533402088\ \underline{|81'9154790042^\circ}}{0'00123150432021\ \underline{|90^\circ}}}=53'7306673236\ \underline{|-4'04226049779^\circ}\ \Omega$$

$$\theta=\sqrt{\vec{Z}\cdot\vec{Y}}\rightarrow \vec{\theta}=\sqrt{3'55533402088\ \underline{|81'9154790042^\circ}\cdot 0'00123150432021\ \underline{|90^\circ}}$$

$$\vec{\theta}=0'0661695489368\ \underline{|85'9577395021^\circ}$$

$$\vec{A}=\vec{D}=\cosh\vec{\theta}\rightarrow A=D=\cosh\left(0'0661695489368\ \underline{|85'9577395021^\circ}\right)$$

$$A=D=0'997833366892\ \underline{|0'0176655331598^\circ}$$

$\vec{B} = Z_c \cdot \operatorname{senh}\vec{\theta} \rightarrow B =$

$$\vec{B} = 53'7306673236 \angle{-4'0422604979^\circ} \cdot \operatorname{senh}\left(0'0661695489368 \angle{85'9577395021^\circ}\right)$$

$$\vec{B} = 3'55276591831 \angle{81'9213607042^\circ}$$

$$\vec{C} = \frac{\operatorname{senh}\vec{\theta}}{\vec{Z_c}} = \frac{\operatorname{senh}\left(0'0661695489368 \angle{85'9577395021^\circ}\right)}{53'7306673236 \angle{-4'0422604979^\circ}} = 0'00123061477527 \angle{90'0058817^\circ}$$

$$I_2 = \frac{P_2}{\sqrt{3} \cdot U_2 \cdot \cos\varphi_2} \Rightarrow I_2 = \frac{220 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 220000 \cdot 0'8} = 656'079851352 \text{ A} \angle{-36'8698976458^\circ}$$

$$\vec{U}_{1f} = 0'997833366892 \angle{0'0176655331598^\circ} \cdot \frac{220000}{\sqrt{3}} \angle{0^\circ} + 3'55276591831 \angle{81'9213607042^\circ} \cdot 656'079851352 \angle{-36'8698976458^\circ} = 128399'672597 \angle{0'753592952066^\circ} \text{ V}$$

Siendo la tensión compuesta $U_1 = \sqrt{3} \cdot 128399'672597 = 222394'756613 \text{ V}$

$$\vec{I}_1 = 0'00123061477527 \angle{90'0058817^\circ} \cdot \frac{220000}{\sqrt{3}} \angle{0^\circ} + 0'997833366892 \angle{0'0176655331598^\circ} \cdot 656'079851352 \angle{-36'8698976458^\circ} = 574'672889594 \angle{-24'2823134808^\circ} \text{ A}$$

$$\varphi_1 = 0'753592952066^\circ - (-24'2823134808)^\circ = 25'0359064329^\circ$$

$$\eta\% = \frac{P_2}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1} \rightarrow \frac{200 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 222394'756613 \cdot 574'672889594 \cdot \cos 25'0359064329^\circ} \cdot 100$$

$$\eta\% = 99'7184273025\,\%$$

2- Al disponer una batería de condensadores de 100MVAR queda modificada la potencia reactiva del conjunto receptor

El Receptor presenta una potencia reactiva de tipo inductivo de valor:

$$\varphi_2 = 0'8 \rightarrow tg\,\varphi = 0'75 \rightarrow Q_2 = P_2 \cdot tg\,\varphi \rightarrow Q_2 = 200 \cdot 10^6 \cdot 0'75 = 150\,MVAR$$

Como disponemos una batería de condensadores de 100MVAR la potencia reactiva es:

$Q_2' = 150 - 100 = 50\,MVAR$ (inductivo), con lo que el factor de potencia repercutido en la línea es de

$$tg\,\varphi_2' = \frac{Q_2'}{P_2} = \frac{50}{200} = 0'25 \rightarrow \varphi_2' = 14'0362434679^\circ$$

Por lo tanto la nueva corriente es:

$$I_2 = \frac{200 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 220000 \cdot \cos(14'0362434679^\circ)} = 541'017305192\,A \;\underline{|-14'0362434679^\circ}$$

siendo la tensión en inicio de la línea:

$$\vec{U}_{1f} = 0'997833366892 \,\underline{|0'0176655331598^\circ} \cdot \frac{220000}{\sqrt{3}} \,\underline{|0^\circ} + 3'55276591831 \,\underline{|81'9213607042^\circ} \cdot$$

$$541'017305192 \,\underline{|-14'0362434679^\circ} = 127478'449489 \,\underline{|0'817935124378^\circ}\,V.$$

$$U_1 = \sqrt{3} \cdot 127478'449489 = 220799'151385\,V$$ Hay efecto ferranti.

La Corriente en inicio de la línea es ahora

$$\vec{I}_1 = 0'00123061477527 \,\underline{|90'0058817^\circ} \cdot \frac{220000}{\sqrt{3}} \,\underline{|0^\circ} + 0'997833366892 \,\underline{|0'0176655331598^\circ} \cdot$$

$$541'017305192 \,\underline{|-14'0362434679^\circ} = 524'37327907 \,\underline{|2'79161638297^\circ}\,A.$$

$$\varphi_1 = 0'817935124378^\circ - 2'79161638297^\circ = -1'97368125854^\circ$$

$$\eta\% = \frac{200 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 220799'151385 \cdot 524'37327907 \cdot \cos(-1'97368125854^\circ)} = 99'7904856124\,\%$$

PE-16 Una línea trifásica de transporte de energía eléctrica tiene los siguientes parámetros de transmisión: $\vec{A} = 0'93\,\underline{|1'5^\circ}$ $\vec{B} = 115\,\underline{|77^\circ}$. Si la tensión en final de la línea es de 275 kV y se mantiene constante para todos los apartados y admitiendo una línea sin pérdidas (resistencia nula).. Determinar:

1) La tensión en origen de línea cuando suministra 250 MW con factor de potencia 0'85 inductivo:

2) La máxima potencia que puede transportar la línea si la tensión en inicio de la línea / misma es de 295 kV

3) La potencia reactiva adicional que se ha de disponer en final de la línea cuando alimenta la línea a un receptor de 400 MW con factor de potencia 0'8 inductiva si la tensión en inicio de línea debe mantenerse igual a 295 kV.

1- La tensión en origen de línea $P_2 = 250\,MW$ $\varphi_2 = 0'85i$.

$$\vec{U}_{1f} = \vec{A}\cdot\vec{U}_{2f} + \vec{B}\cdot\vec{I}_2 \quad \leftarrow \quad I_2 = \frac{250\cdot 10^6}{\sqrt{3}\cdot 275000\cdot 0'85} =$$

$$\vec{U}_{1f} = 0'93\,\underline{|1'5^\circ}\cdot\frac{275000}{\sqrt{3}}\,\underline{|0^\circ} + 115\,\underline{|77^\circ}\cdot 617'486918918\,\underline{|-31'7883306171^\circ}$$

$$I_2 = 617'486918918\,\underline{|-31'7883306171^\circ}\,A$$

$$\vec{U}_{1f} = 204947'174207\,\underline{|15'3529588466^\circ}\,V \rightarrow U_1 = \sqrt{3}\cdot 204947'174207 = 354978'918594\,V$$

2) La potencia máxima a transportar en una línea es:

$$P_{max} = \frac{U_1\cdot U_2}{Z} - \frac{U_2^2}{Z}\cdot\cos\beta_z \; , \quad \text{como no hay perdida } R=0$$

por lo tanto $\beta_z = \operatorname{arctg}\frac{X_L}{R}\;\infty$ - siendo $\cos\beta_z \rightarrow \cos 90^\circ = 0$, por lo tanto se anula

$$P_{max} = \frac{U_1 - U_2}{Z} - \cancel{\frac{U_2^2}{Z}\cdot\cos\beta_z}^{\,0} \rightarrow P_{max} = \frac{U_1 - U_2}{Z} \; ,$$

Por otro lado, la impedancia $Z_C = \frac{\vec{Z}_K}{\vec{\beta}} \rightarrow \frac{Z_K\cdot l}{\beta\cdot l} = \frac{Z}{\vec{\theta}}$; $Z = \vec{Z}_C\cdot\vec{\theta}$

Determinando el ángulo de propagación

$$\vec{A} = \cosh(\vec{\theta}) \rightarrow \vec{\theta} = \text{arccosh}(\vec{A}) \rightarrow \vec{\theta} = \text{arcosh}(0'93 \angle 1'5°)$$

$$\vec{\theta} = 0'388074581884 \angle 80'3326690299°$$

$$B = Z_c \cdot \text{senh}\,\vec{\theta} \rightarrow Z_c = \frac{B}{\text{senh}\,\vec{\theta}} \rightarrow Z_c = \frac{115 \angle 77°}{\text{senh}(0'388074581884 \angle 80'3326690299°)}$$

$$Z_c = 303'46720944 \angle -3'81338699151° \ \Omega$$

$$Z = 303'46720944 \angle -3'81338699151° \cdot 0'388074581884 \angle 80'3326690299°$$

$$Z = 117'767910419 \angle 76'5192820384° \ \Omega$$

$$P_{max} = \frac{295 \cdot 10^3 \cdot 275 \cdot 10^3}{117'767910419} = 688854881'702 \text{ W}$$

3-) Las expresiones de las poten activas y reactivas máximas por fase en función de las tensiones en inicio y final de línea están determinadas por

$$P_{2f} = \frac{U_{1f} \cdot U_{2f}}{Z} \cdot \cos(\beta_z - \delta) - \frac{U_{2f}^2}{Z} \cdot \cos(\beta_z) \quad (1)$$

$$Q_{2f} = \frac{U_{1f} \cdot U_{2f}}{Z} \cdot \text{sen}(\beta_z - \delta) - \frac{U_{2f}^2}{Z} \cdot \text{sen}(\beta_z) \quad (2)$$

Al considerar una línea sin pérdidas $R=0$, por lo tanto $\text{arctg} = \beta_z = \frac{X_L}{R} \infty \rightarrow \cos\beta_z \; 0$

por lo tanto: tenemos que despejar el ángulo (δ) para sustituirlo en la segunda expresión de la potencia reactiva.

Primero nos dicen alimenta un receptor de 400 MW, y sustituyendo en (1)

$$\frac{400 \cdot 10^6}{3} = \frac{\frac{295000}{\sqrt{3}} \cdot \frac{275000}{\sqrt{3}}}{117'767910419} \cdot \cos(90° - \delta) - \cancel{\frac{\frac{275000}{\sqrt{3}}}{117'76} \cdot \cos 90°} \; 0$$

$$\text{Despejamos } \delta \rightarrow \frac{\frac{400 \cdot 10^6}{3}}{\frac{\frac{295000}{\sqrt{3}} \cdot \frac{275000}{\sqrt{3}}}{117'76}} = \cos(90° - \delta)$$

Analíticamente, en nuestro caso

$$\delta = -\arccos\left(\frac{P_{2f}\cdot Z}{U_{1f}\cdot U_{2f}}\right)+90^\circ \qquad \delta = -\arccos\left(\frac{\frac{P_2}{3}\cdot Z}{\frac{U_1}{\sqrt{3}}\cdot\frac{U_2}{\sqrt{3}}}\right)+90^\circ$$

$$\delta = -\arccos\left(\frac{\frac{400\cdot 10^6}{3}\cdot 117'767910}{\frac{245000}{\sqrt{3}}\cdot\frac{275000}{\sqrt{3}}}\right)+90^\circ = 35'4952050889^\circ$$

Sustituimos el ángulo en la potencia reactiva necesaria

$$Q_{2f} = \frac{U_{1f}\cdot U_{2f}}{Z}\cdot \operatorname{sen}(\beta_Z-\delta) - \frac{U_{2f}^2}{Z}\cdot \operatorname{sen}\beta_Z + \frac{B}{2}U_{2f}^2 \text{, siendo } B$$

$$\vec{B}=\vec{Y}=\frac{\vec{Z}}{\vec{Z_c}^2} = \frac{117'76}{303'4672094 4^2} \rightarrow \vec{B}=\vec{Y} = 1'2787164577\cdot 10^{-3}\,S$$

Sustituimos en la expresión siguiente, saber la potencia reactiva de fase:

$$Q_{2f} = \frac{U_{1f}\cdot U_{2f}}{Z}\cdot \operatorname{sen}(\beta_Z-\delta) - \frac{U_{2f}^2}{Z}\cdot \operatorname{sen}\beta_Z + \underbrace{\frac{B}{2}U_{2f}^2}_{\text{aportado}}$$

$$Q_{2f} = \frac{\frac{245000}{\sqrt{3}}\cdot\frac{275000}{\sqrt{3}}}{117'76}\cdot \operatorname{sen}(90-35'4952050889^\circ) - \frac{\left(\frac{275000}{\sqrt{3}}\right)^2}{117'76}\cdot \operatorname{sen}90^\circ + \frac{1'2787164577\cdot 10^{-3}}{2}\cdot\left(\frac{275000}{\sqrt{3}}\right)^2$$

$$Q_{2f} = -10988642'7408 \text{ VAR}$$

El signo negativo indica que se ha de disponer de una potencia reactiva adicional de tipo capacitivo que debe compensar además la potencia reactiva del tipo inductivo que impone el receptor de la línea, es decir:

$$Q = 3\cdot Q_{2f} + Q_{LINEA} = 3\cdot 10'98 + \frac{400}{0'8}\cdot 0'6 = 332'94 \text{ MVAR.}$$

Si sale (+) compensar con bobinas.

5'17 Una línea trifásica tiene una impedancia serie por fase de $Z_k=(0'04+j0'5)$ y una admitancia paralelo por fase de $Y_k = 0 + j\,3'5\cdot10^{-6}$ S/Km.
La línea tiene una longitud de 150 Km. En origen de la línea se han medido los siguientes valores. $P_1 = 400$ MW ; $Q_1 = 8$ MVAR de tipo capacitivo y una tensión de 400 KV. Determinar

1) - Tensiones y corrientes en el extremo o final de línea.

2) Caída de tensión porcentual en la línea

3) Potencia perdida en la línea y rendimiento y regulación de voltaje

4) Potencia perdida de vacío en el primario. o principio de línea.

1) $U_{2f} = \vec{A}\cdot\vec{U}_{1f} - \vec{B}\cdot\vec{I}_2 \qquad \vec{I}_2 = \vec{A}\cdot\vec{I}_{1f} - \vec{C}\cdot\vec{U}_{1f} \qquad G \approx 0$

$$\beta = \sqrt{\vec{Z}_k\cdot\vec{Y}_k} \rightarrow \beta = \sqrt{0'501597448159\,\underline{|85'4260787401^\circ} \cdot 3'5\cdot10^{-6}\,\underline{|90^\circ}} =$$

$$\beta = 1'32498719562\cdot10^{-3}\,\underline{|87'7130393701^\circ}$$

$$\theta = 1'32498719562\cdot10^{-3}\,\underline{|87'7130393701^\circ}\cdot 150 = 0'198748079343\,\underline{|87'7130393701^\circ}$$

$$\vec{A} = \cosh\left(0'198748079343\,\underline{|87'7130393701^\circ}\right) = 0'98037785169\,\underline{|0'0914441787648^\circ}$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{\vec{Z}_k}{\vec{Y}_k}} = \vec{Z}_c = \sqrt{\frac{0'501597448159\,\underline{|85'4260787401^\circ}}{3'5\cdot10^{-6}\,\underline{|90^\circ}}} = 378'567770177\,\underline{|-2'28696062995^\circ}$$

$$B = 378'567770177\,\underline{|-2'28696062995^\circ}\cdot \operatorname{senh}\left(0'198748079343\,\underline{|87'7130393701^\circ}\right)$$

$$B = 74'7468325664\,\underline{|85'4562382818^\circ}$$

$$C = \frac{\operatorname{senh}\left(0'198748079343\,\underline{|87'7130393701^\circ}\right)}{378'567770177\,\underline{|-2'28696062995^\circ}} \Rightarrow 5'21561493071\cdot10^{-4}\,\underline{|90'0301595417^\circ}$$

$$I_1 = \frac{P}{\sqrt{3}\cdot U_1\cdot\cos\varphi_1} \rightarrow \cos\varphi_1 \Rightarrow \operatorname{arctg}\varphi_1 = \frac{Q}{P} = \frac{8}{400} = 1'145762838^\circ$$

cogemos con origen de fases U_{1f}

$\cos(1'145762838^\circ) = 0'9998$ capacitivo

$$I_1 = \frac{400\cdot10^6}{\sqrt{3}\cdot400\cdot10^3\cdot0'9998} = 577'4657277\,\underline{|1'145762838^\circ}\ A$$

$$U_{2f} = 0'98037785169 \angle 0'0914441787648^\circ \cdot \frac{400000}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ - 74'7468325664 \angle 85'4562382818^\circ \cdot 577'4657277 \angle 1'145762838^\circ$$

$$U_{2f} = 227891'050446 \angle -10'8061364513^\circ \text{ V} \Rightarrow U_2 = 394718'877963 \text{ V}$$

$$I_2 = 0'98037785169 \angle 0'0914441787648^\circ \cdot 577'4657277 \angle 1'145762838^\circ - 5'21561493071 \cdot 10^{-6} \angle 90'0301595417^\circ \cdot$$

$$\cdot \frac{400000}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ = 566'110517206 \angle 1'11532763576^\circ \text{ A}$$

$$\Delta U\% = \frac{400000 - 394718'877963}{394718'877963} \cdot 100 = 1'337945\%$$

$$\cos\varphi_2 = (-10'8061364513^\circ) - (1'11532763576^\circ) = -11'9214640871^\circ \quad \text{arcos} = 0'978431668438$$

$$\eta\% = \frac{\sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1} \cdot 100 \Rightarrow \eta\% = \frac{\sqrt{3} \cdot 394718'877963 \cdot 566'110517206 \cdot 0'978431668438}{\sqrt{3} \cdot 400000 \cdot 577'4657277 \cdot 0'9998} \cdot 100$$

$$\eta\% = 94'6717235694\%$$

La potencia perdida $400 \text{ MW} - 378'6868716 \text{ MW} = 21'3131284 \text{ MW}$ //

$\underbrace{\text{regulación de voltaje}}$ $U_{20} = \frac{U_1}{A} \Rightarrow \frac{394718'877963}{0'98037785169} = 402619'1302 \text{ V}$

$$e\% = \frac{U_{20} - U_2}{U_2} \cdot 100 \Rightarrow \frac{402619'1302 - 394718'877963}{394718'877963} \cdot 100 = 2\% \quad //$$

Pérdidas de vacío $P_{10} = \sqrt{3} \cdot U_{10} \cdot I_{10} \cdot \cos\varphi_{10}$

Cogemos con origen de fases U_{2f}

$$U_{10} = \vec{A} \cdot \vec{U_{2f}} + B \cdot \cancel{I_2} \quad I_2 = 0 \qquad I_{10} = \vec{C} \cdot \vec{U_{2f}} + D \cdot \cancel{I_2} \quad I_2 = 0$$

$$U_{10} = 0'98037785169 \angle 0'0914441787648^\circ \cdot \frac{394718'877963}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ = 223419'338455 \angle 0'091444178765^\circ$$

$$I_{10} = 5'21561493071 \cdot 10^{-4} \angle 90'0301595417^\circ \cdot \frac{394718'877963}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ = 118'859196528 \angle 90'0301595417^\circ$$

$$\cos\varphi_{10} = (90'0301595417^\circ - 0'091444178765^\circ) = 89'93871536^\circ \quad \text{arcos} = 0'001069618494$$

$$P_{10} = \sqrt{3} \cdot (\sqrt{3} \cdot 223419'338455) \cdot 118'859196528 \cdot 0'001069618494 = 85'21257901 \text{ KW}$$

Al principio de línea potencia perdida

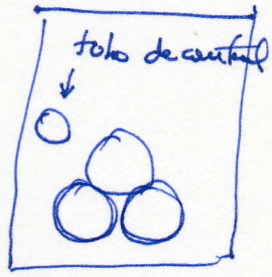
5.18

Se desea proyectar una línea de AT a 220kV, se sabe que se va a emplear un cable con designación RHZ1 RA+OL(AS) 127/220kV 1X2000 M Cu + H280. Las características físicas tomadas del catálogo de Prysmian:

1- Composición - Conductor Diámetro nominal: 56'2 mm

- $R_{20°C} = 0'009\ \Omega/Km$
- $C_K = 0'243\ \mu F/Km$
- $\alpha = 0'0039\ C^{-1}$

3 tubos de plástico ϕ 315 mm



Se conocen los factores: pelicular y proximidad tienen un valor de 0'11 y 0'008 sabiendo que la potencia a transportar es de 200MW a 220kV y la longitud de la línea es de 15KM con factor de potencia 0'9 ind. Determinar por el método de parámetros distribuidos:

1) La tensión y corriente en inicio de la línea, así como el rendimiento de la misma.

2) La tensión y corriente en el inicio de la línea, cuando esta en vacío admitiendo constante la tensión a final de línea.

3) La potencia activa máxima a transportar que puede transportar la línea manteniendo constante las tensiones determinadas en el apartado 1°.

$$R_{90°C} = R_{20°C}\left[1 + \alpha\left(\theta_{90°C} - \theta_{20°C}\right)\right] \rightarrow R_{90°C} = 0'009\left[1 + 0'0039(90-20)\right] = 0'011457\ \Omega/Km$$

Además hay que tener en cuenta en cuenta los efectos pelicular y proximidad, que en estas secciones no son despreciables, por tanto:

$$R_{90°C\,ca} = 0'011457 \cdot \left(1 + 0'11 + 0'008\right) = 0'012808926\ \Omega/Km$$

$$R_K = 0'012808926\ \Omega/Km$$

$$L_{aK} = \left(\frac{0'5}{n} + 2\ln\frac{d}{r_e}\right) \cdot 10^{-4}\ H/Km \rightarrow L_{aK} = \left(\frac{0'5}{1} + 2\ln\frac{315}{\frac{56'2}{2}}\right) \cdot 10^{-4} = 5'333606125 \cdot 10^{-4}\ H/Km$$

Al estar al tresbolillo los conductores, la distancia media geométrica coincide con el diámetro del tubo.

$$X_{LK} = 2\pi f \cdot L_{aK} = 2\pi \cdot 50 \cdot 5'33606125 \cdot 10^{-4} = 0'1675601782\ \Omega/Km$$

$$Z_K = \sqrt{R_K^2 + X_{LK}^2} \rightarrow Z_K = \sqrt{0'012808926^2 + 0'1675601782^2} \Rightarrow 0'1680490461 \ \Omega/km$$

$$\text{arctg} = \frac{X_{LK}}{R_K} \rightarrow \text{arctg}\ \frac{0'1675601782}{0'012808926} = 85'62859831^\circ \qquad Z_K = 0'1680490461 \angle 85'62859831^\circ \ \Omega/km$$

$$Y_K = 2\pi f C_K \rightarrow Y_K = 2\pi \cdot 50 \cdot 0'243 \cdot 10^{-6} \angle 90^\circ = 7'634070148 \cdot 10^{-5} \angle 90^\circ \ S/km$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{\vec{Z_K}}{\vec{Y_K}}} \qquad Z_c = \sqrt{\frac{0'1680490461 \angle 85'62859831}{7'634070148 \cdot 10^{-5} \angle 90^\circ}} = 46'9180498838 \angle -2'18570084498^\circ$$

$$\beta = \sqrt{\vec{Z_K} \cdot \vec{Y_K}} \qquad \beta = \sqrt{0'1680490461 \angle 85'62859831 \cdot 7'634070148 \cdot 10^{-5} \angle 90^\circ}$$

$$\beta = 3'58175684021 \cdot 10^{-3} \angle 87'814299155^\circ \qquad \theta = \beta \cdot l \rightarrow \theta = 3'58175684021 \cdot 10^{-3} \angle 87'814299155^\circ \cdot 15$$

$$\theta = 0'0537263526031 \angle 87'814299155^\circ$$

$$\vec{A} = \cosh(\vec{\theta}) \Rightarrow A = \cosh\left(0'0537263526031 \angle 87'814299155^\circ\right) = 0'998561287231 \angle 0'00630900610934^\circ$$

$$\vec{B} = 46'9180498838 \angle -2'18570084498^\circ \cdot \text{senh}\left(0'0537263526031 \angle 87'814299155^\circ\right)$$

$$\vec{B} = 2'51952670127 \angle 85'6306996974^\circ$$

$$\vec{C} = \frac{\text{senh}\left(0'0537263526031 \angle 87'814299155^\circ\right)}{46'9180498838 \angle -2'18570084498^\circ} = 1'14456130657 \cdot 10^{-3} \angle 90'0021013873^\circ$$

$$0'9 = 25'84193276$$

$$I_2 = \frac{P_2}{\sqrt{3} \cdot U_2 \cdot \cos\varphi_2} \rightarrow I_2 = \frac{200 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 280000 \cdot 0'9} = 583'182090092 \ A$$

$$\vec{U_{1f}} = \vec{A} \cdot \vec{U_{2f}} + \vec{B} \cdot \vec{I_2} \rightarrow U_{1f} = 0'998561287231 \angle 0'00630900610934^\circ \cdot \frac{220000}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ +$$

$$2'51952670127 \angle 85'6306996974^\circ \cdot 583'182090092 \angle -25'84193276^\circ$$

$$\vec{U_{1f}} = 127580'133882 \angle 0'576531476253^\circ \ V \rightarrow U_1 = 127580'133882 \cdot \sqrt{3} = 220975'27392 \ V$$

$\vec{I}_1 = \vec{C} \cdot \vec{U}_{2f} + \vec{D} \cdot \vec{I}_{2f} \Rightarrow$

$\vec{I}_1 = 1'14456130657 \cdot 10^{-3} \underline{|90'0021013873^\circ} \cdot \dfrac{220000}{\sqrt{3}} \underline{|0^\circ} + 0'998561287231 \underline{|0'00630900610934^\circ} \cdot$

$583'182090092 \underline{|-25'84193276^\circ} \Rightarrow \vec{I}_1 = 535'22374112 \underline{|-11'6851715345^\circ}$ A

$$\Delta U\% = \frac{220975'27392 - 220000}{220000} \cdot 100\% \rightarrow 0'4433063273\%$$

$$\eta\% = \frac{\sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1} \cdot 100 \Rightarrow \eta\% = \frac{\sqrt{3} \cdot 220000 \cdot 583'182090092 \cdot 0'9}{\sqrt{3} \cdot 220975'27392 \cdot 535'22374112 \cdot 0'9771877475}$$

Siendo $\varphi_1 = 0'576531476253^\circ - (-11'6851715345^\circ) = 12'26170301 \Rightarrow 0'9771877475$

$\eta\% = 99'9107697874\%$

2)

Tensión de vacío admitiendo constante la tensión al final de la línea =

$\vec{U}_{10f} = \vec{A} \cdot \vec{U}_{2f} \Rightarrow \vec{U}_{10f} = 0'998561287231 \underline{|0'00630900610934^\circ} \cdot \dfrac{220000}{\sqrt{3}} \underline{|0^\circ} = 126834'318157 \underline{|0'00930900610929}$

$\vec{I}_{10f} = \vec{C} \cdot \vec{U}_{2f} \Rightarrow \vec{I}_{10f} = 1'14456130657 \cdot 10^{-3} \underline{|90'0021013873^\circ} \cdot \dfrac{220000}{\sqrt{3}} \underline{|0^\circ} = 145'37881126 \underline{|90'0021013873}$

$\varphi_{10} = 90'0021013873 - 0'00930900610929 = 89'9927923812^\circ \rightarrow 0'000125796678957 = \cos$

$P_{10} = \sqrt{3} \cdot U_{10} \cdot I_{10} \cdot \cos\varphi_{10} \rightarrow P_{10} = \sqrt{3} \cdot 126834'318157 \cdot 145'37881126 \cdot 0'000125796678957 \Rightarrow P_{10} = 4017'60924866$

Regulación de la tensión $\dfrac{U_{20} - U_2}{U_2} \cdot 100\%$ $\quad U_{20} = \dfrac{U_1}{A} \rightarrow \dfrac{220975'27392}{0'998561287231}$

$U_{20} = 221293'6519 V \rightarrow e\% = \dfrac{221293'6519 - 220000}{220000} \cdot 100\% \Rightarrow e\% = 0'5880236012\%$

Si la línea funciona con factor de potencia constante a lo largo de toda ella, en estas condiciones de funcionamiento, la potencia que suministra una línea cargada sobre un receptor de impedancia igual a la impedancia característica se denomina Potencia característica o natural de la línea.

$I_2 = \dfrac{\vec{U}_{2f}}{Z_C} \rightarrow \quad I_2 = \dfrac{\frac{220000}{\sqrt{3}} \underline{|0^\circ}}{46'9180498838 \underline{|-2'18570084498^\circ}}$

$$I_2 = 2707'21096756 \angle 2'18570084497^\circ \text{ A}$$

$$S_c = \frac{U_2^2}{Z_c} \Rightarrow \frac{220000^2}{46'9180498838 \angle -2'18570084498^\circ} = 1031585927'37 \angle -2'18570084498^\circ \text{ VA}$$

$$P_c = \frac{U_2^2}{R_c}$$ Potencia característica

3) La potencia activa máxima a transportar manteniendo constante las tensiones $\boxed{U_1 = cte}$

$$Z = Z_K \cdot l \Rightarrow 0'1680490461 \cdot 15 = 2'520735692$$

$$P_{max\ LINEA} = \frac{U_1 \cdot U_2}{Z} - \frac{U_2^2}{Z} \cdot \cos \beta_Z$$

$$P_{MAX\ LINEA} = \frac{220975'27392 \cdot 220000}{2'520735692} - \frac{220000^2}{2'520735692} \cdot \cos(85'62859831^\circ)$$

P_{max} línea $= 19271'22676$ MW

5.19 Dada una línea eléctrica trifásica de tensión nominal de 380 kV, 50 Hz con una longitud de 250 km y los siguientes parámetros por una línea de longitud

$R_K = 0'0298\ \Omega/Km$

$L_{aK} = 12'6603 \cdot 10^{-4}\ H/Km$

$C_K = 9'17376 \cdot 10^{-9}\ F/Km$

Determinar empleando el método de parámetros distribuidos:

1) La caída de tensión en la línea y el rendimiento en el transporte, cuando la línea suministra 250 MVA con factor de potencia 0'85 inductivo a 380 kV

2) El valor máximo de la potencia activa que puede suministrar la línea en su extremo receptor, admitiendo que las tensiones en inicio y final de línea son iguales a 380 kV.

3) Si se considera el mismo tipo de línea en cuanto a R_K, L_{aK} y C_K pero sin pérdidas $R_K = 0$ con 250 km de longitud, determinar de nuevo la potencia máxima en las condiciones del apartado 2°.

4) Si se considera el mismo tipo de línea en cuanto a R_K, L_{aK} y C_K pero de 400 km de longitud, calcular la nueva potencia máxima en las condiciones del apartado 2°.

1) $X_{LK} = 2\pi f \cdot L_{aK} \Rightarrow X_{LK} = 2\pi \cdot 50 \cdot 12'6603 \cdot 10^{-4} = 0'3977350547\ \Omega/Km$

$Z_K = \sqrt{R_K^2 + X_{LK}^2} \Rightarrow \vec{Z}_K = \sqrt{0'0298^2 + 0'3977350547^2} = 0'3988498637\ \Omega/Km$

$\text{arctg} = \dfrac{0'3977350547}{0'0298} = 85'71516267° \rightarrow Z_K = 0'3988498637 \underline{|85'71516267°}\ \Omega/Km$

$\vec{Y}_K = 2\pi f \cdot C_K \rightarrow \vec{Y}_K = 2\pi \cdot 50 \cdot 9'17376 \cdot 10^{-9} \rightarrow Y_K = 2'882021702 \cdot 10^{-6} \underline{|90°}\ S/Km.$

$\beta = \sqrt{\vec{Z}_K \cdot \vec{Y}_K} \Rightarrow \beta = \sqrt{0'3988498637 \underline{|85'71516267°} \cdot 2'882021702 \cdot 10^{-6} \underline{|90°}}$

$\beta = 1'07214456256 \cdot 10^{-3} \underline{|87'857581335°}$

$$\theta = \beta \cdot l \rightarrow \theta = 1'07214456256 \cdot 10^{-3} \angle 87'857581335^\circ \cdot 250\,km = 0'268036140639 \angle 87'857581335^\circ$$

$$A = \cosh\left(0'268036140639 \angle 87'857581335^\circ\right) = 0'964394521844 \angle 0'157555598697^\circ$$

$$\vec{Z_c} = \sqrt{\frac{\vec{Z_k}}{\vec{Y_k}}} \Rightarrow \vec{Z_c} = \sqrt{\frac{0'3988498637 \angle 85'71516267^\circ}{2'882021702 \cdot 10^{-6} \angle 90^\circ}} \Rightarrow 372'011273134 \angle -2'14241866499^\circ$$

$$B = \vec{Z_c} \cdot \operatorname{senh}\theta \rightarrow \vec{B} = 372'011273134 \angle -2'14241866499^\circ \cdot \operatorname{senh}\left(0'268036140639 \angle 87'857581335^\circ\right)$$

$$B = 98'5261300715 \angle 85'7666675521^\circ$$

$$C = \frac{\operatorname{senh}(\theta)}{Z_c} \rightarrow C = \frac{\operatorname{senh}\left(0'268036140639 \angle 87'857581335^\circ\right)}{372'011273134 \angle -2'14241866499^\circ} = 7'2913955376 \cdot 10^{-4} \angle 89'9489847793^\circ$$

$$I_2 = \frac{P_2}{\sqrt{3} \cdot U_2 \cdot \cos\varphi_2} \Rightarrow \frac{S_2}{\sqrt{3} \cdot U_2} = \frac{250 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 380000} = 379'835703414 \angle -31'7883306171^\circ \text{ A}$$

$$\cos\varphi_2 = 0'85i \rightarrow -31'7883306171^\circ$$

$$\vec{U_{1f}} = \vec{A} \cdot \vec{U_{2f}} + \vec{B} \cdot \vec{I_2} \quad ; \quad \vec{I_{1f}} = \vec{C} \cdot \vec{U_{2f}} + \vec{D} \cdot \vec{I_2}$$

$$\vec{U_{1f}} = 0'964394521844 \angle 0'157555598697^\circ \cdot \frac{380000}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ + 98'5261300715 \angle 85'7666675521^\circ \cdot$$

$$379'835703414 \angle -31'7883306171^\circ = 235617'632122 \angle 7'523466055 66^\circ \text{ V}$$

$$\vec{I_1} = 7'2913955376 \cdot 10^{-4} \angle 89'9489847793^\circ \cdot \frac{380000}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ + 0'964394521844 \angle 0'157555598697^\circ \cdot$$

$$379'835703414 \angle -31'7883306171^\circ = 313'687643705 \angle -5'88103706511^\circ \text{ A}$$

$$U_1 = U_{1f} \cdot \sqrt{3} \Rightarrow U_1 = 235617'632122 \cdot \sqrt{3} = 408101'71\,V$$

$$\Delta U\% = \frac{408101'71 - 380000}{380000} \cdot 100\% = 7'395186841\,\% \,//$$

$$\cos\varphi_1 = 7'52346605566^\circ - (-5'88103706511^\circ) = 13'40450312^\circ \rightarrow 0'9727576611$$

$$\eta\% = \frac{\sqrt{3}\cdot U_2\cdot I_2\cdot \cos\varphi_2}{\sqrt{3}\cdot U_1\cdot I_1\cdot \cos\varphi_1}\cdot 100 \rightarrow \eta\% = \frac{\sqrt{3}\cdot 380000\cdot 379'835703414\cdot 0'85}{\sqrt{3}\cdot 408101'71\cdot 313'687643705\cdot 0'9727576611}\cdot 100\%$$

$\eta\% = 98'52077526\%$ // $U_1 = U_2 = 380000\,kV$

2) $P_{max\ linea} = \frac{U_1\cdot U_2}{Z} - \frac{U_2^2}{Z}\cdot \cos\beta_Z$ $Z = Z_K\cdot l \rightarrow 0'3977350547\cdot 250 =$

$Z = 99'43376368\ \Omega/Km$

$$P_{max\ linea} = \frac{380000\cdot 380000}{99'43376368} - \frac{380000^2}{99'43376368}\cdot \cos(85'71516267°)$$

$P_{max\ linea} = 1343'720417\ MW$ //

3) $Z = Z_K\cdot l \rightarrow Z = 0'3977350547\cdot 400 = 159'0940219\ \Omega$

$$P_{max\ linea} = \frac{380000\cdot 380000}{159'0940219} - \frac{380000^2}{159'0940219}\cdot \cos(85'71516267°) = 839'825261\ MW$$ //

4) $R = 0$ $\cos\beta_Z = 90° = 0$

$$P_{max\ linea} = \frac{U_1\cdot U_2}{Z} - \cancel{\frac{U_2^2}{Z}\cdot \cos 90°} \rightarrow 0$$

$$P_{max\ linea} = \frac{380000\cdot 380000}{99'43376368} = 1452'223014\ MW$$ //

- Potencia característica

$$S_c = \frac{U_2^2}{Z_c} = \frac{380000^2}{372'011273134\ \underline{|-2'14241866499°}}$$

$S_c = 388160280'154\ \underline{|2'14241866499°}\ VA$

2.18 Una línea trifásica tiene un valor de impedancia serie por fase de valor

$Z = 0'501597448159 \angle 85'4260787401^\circ \ \Omega/Km$ $Y = 3'5 \cdot 10^{-6} \angle 90^\circ \ S/Km$ La línea tiene una longitud de 150km. Determinar, cuando la línea envía 400MW y 8MVAr, con tensión de línea de 400kV.

a) Tensiones e intensidades en los extremos receptor y emisor:
b) Caída de tensión total en la línea y caída porcentual:
c) Potencias en los extremos receptor y emisor:
d) Perdida de potencia y rendimiento de la línea:
e) Regulación del voltaje:

$\vec{U}_1 = 400\,000$ $\qquad A \equiv D = \cosh\vec{\theta} \qquad \theta = \beta \cdot l \rightarrow \beta = \sqrt{\vec{Z}_K \cdot \vec{Y}_K}$

$$\beta = \sqrt{0'501597448159 \angle 85'4260787401^\circ \cdot 3'5 \cdot 10^{-6} \angle 90^\circ} = 1'32498719562 \cdot 10^{-3} \angle 87'7130393701^\circ$$

$$\theta = 1'32498719562 \cdot 10^{-3} \cdot 150 = 0'198748079343 \angle 87'7130393701^\circ$$

$$A = D = \cosh\left(0'198748079343 \angle 87'7130393701^\circ\right) = 0'980377785169 \angle 0'0914445787648^\circ$$

$$B = \vec{Z}_c \cdot \operatorname{senh}\vec{\theta} \qquad Z_c = \sqrt{\frac{Z_K}{Y_K}} \Rightarrow \sqrt{\frac{0'501597448159 \angle 85'4260787401^\circ}{3'5 \cdot 10^{-6} \angle 90^\circ}} =$$

$$Z_c = 378'567770177 \angle -2'28696062995^\circ \ \Omega$$

$$B = 378'567770177 \angle -2'28696062995^\circ \cdot \operatorname{senh}\left(0'198748079343 \angle 87'7130393701^\circ\right)$$

$$B = 74'7468325664 \angle 85'4562382818^\circ$$

$$C = \frac{\operatorname{senh}\vec{\theta}}{\vec{Z}_c} \rightarrow \frac{\operatorname{senh}\left(0'198748079343 \angle 87'7130393701^\circ\right)}{378'567770177 \angle -2'28696062995^\circ} = 5'21561493071 \cdot 10^{-4} \angle 90'0301595417^\circ$$

Como ya sabemos $\vec{U}_{1f}$ ahora pretendemos hallar:

$$\vec{U}_{2f} = \vec{D} \cdot \vec{U}_{1f} - \vec{B} \cdot \vec{I}_{1f} \qquad \vec{I}_{2f} = -\vec{C} \cdot \vec{U}_{1f} + \vec{A} \cdot \vec{I}_{1f}$$

$$I_1 = \frac{400 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 10^3 \cdot 0'999800059979} = \qquad \varphi_1 = \arccos \frac{P}{S} \rightarrow \left(\frac{400MW}{400+8j}\right) = 0'999800059979$$

¡INDUCTIVO! RETRASO ⊖

$$I_1 = 577'465727699 \angle -1'14576284106° \ A.$$

$$\vec{U}_{2f} = 0'98037785169 \angle 0'0914441787648° \cdot \frac{400000}{\sqrt{3}} \angle 0° - 74'7468325664 \angle 85'4562382818° \cdot$$

$$577'465727699 \angle -1'14576284106° = 226175'225271 \angle -10'8538367592° \ V$$

$$U_2 = \sqrt{3} \cdot U_{2f} = 391746'981583 \ V$$

$$\vec{I}_{2f} = -5'2156149307 \cdot 10^{-4} \angle 90'0301595417° \cdot \frac{400000}{\sqrt{3}} \angle 0° + 0'98037785169 \angle 0'0914441787648°$$

$$\cdot 577'465727699 \angle -1'14576284106° = 581'03158363 \angle -13'0164792738° \ A.$$

$$\eta\% = \frac{\sqrt{3} \cdot 391746'981583 \cdot 581'03158363 \cdot \cos(2'1626425146°)}{\sqrt{3} \cdot 400000 \cdot 577'465727699 \cdot 0'999800059979} \cdot 100 = 98'4910101\%$$

$$\varphi_2 = -10'8538367592° - (-13'0164792738°) = 2'1626425146°$$

$$RV = \frac{U_{20} - U_2}{U_2} \cdot 100 \rightarrow U_{20} = \frac{U_1}{A} \rightarrow \frac{400000}{0'98037785169} = 408005'953328$$

$$RV = \frac{408005'953328 - 391746'981583}{391746'981583} \cdot 100 \rightarrow \boxed{4'1503\%}$$

RECEPTOR EMISOR.

U_2

I_2

c

cdt = 8253 V

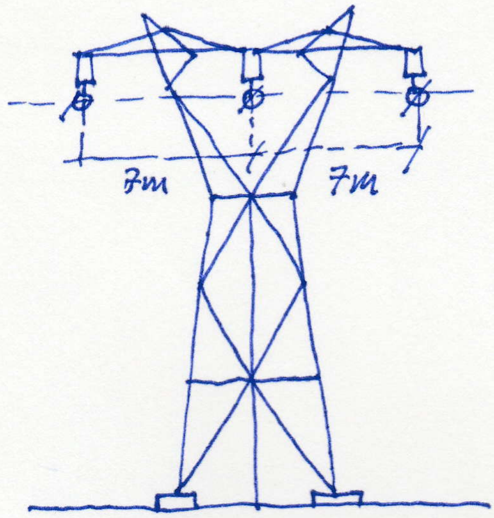
$$\%\Delta U \quad \frac{400000 - 391746'981583}{391746'981583} \cdot 100 = 2'106\%$$

5.20 En la línea de 40km de longitud de circuito simple a 230kV, 50Hz, de la figura, se desconocen las constantes kilométricas fundamentales, así como las características eléctricas derivadas. Determínense todos ellos para los casos siguientes

a) Si la perditancia de la línea es G=0 Siemens

b) Si está formada por vanos de 250metros en los que se estima la pérdida media por aislador en unos 4 vatios.

El conductor empleado es el LA 455:



a)

Nos piden que determinemos R_K, L_K, C_K y G_K, siendo estos según orden:
La Resistencia kilométrica, el coeficiente de autoinducción o inductancia, la capacidad, y la perditancia o conductancia, en este caso G=0.

Como la línea es de simple circuito, R_K= no se divide entre el número de conductores ⇒

$R_K = 0'0718\ \Omega/km$, que es escogida a 20°C.

L_K o L_{ak}, depende de $L_{ak} = \left(\frac{0'5}{n} + 2\ln\frac{d}{re}\right)\cdot 10^{-4}\ H/km$

Donde d es la distancia geométrica media y re el radio equivalente del conductor donde, en este caso será el del propio conductor, ya que es de simple circuito

$$re = r = \frac{\phi}{2} = \frac{27'72}{2} = 13'86mm$$

Y la distancia media geométrica es $d = \sqrt[3]{d_{12}\cdot d_{23}\cdot d_{31}}$

$$d = \sqrt[3]{7000 \cdot 7000 \cdot (2 \cdot 7000)} = 8819'44734818$$

$$L_{ak} = \left(0'5 + 2 \ln \frac{8819'44734818}{13'86}\right) \cdot 10^{-4} \rightarrow L_{ak} = 1'34114149887 \cdot 10^{-3} \ H/Km.$$

Siendo la capacidad kilométrica para fases simples:

$$C_K = \frac{0'0555}{\ln\left(\frac{8819'44734818}{13'86}\right)} \cdot 10^{-6} \qquad C_K = \frac{0'0555}{\ln\left(\frac{d}{r}\right)} \cdot 10^{-6}.$$

$$C_K = 8'59704378624 \cdot 10^{-9} F/Km$$

Siendo el valor de la reactancia kilometrica $X_{LK} = 2\pi f L_{aK}$

$$X_{LK} = 2\pi \cdot 50 \cdot 1'34114149887 \cdot 10^{-3} = 0'42133202802 7 \ \Omega/Km$$

$$X_{CK} = \frac{1}{2\pi f C_K} \rightarrow X_{CK} = \frac{1}{2\pi 50 \cdot 8'59704378624 \cdot 10^{-9}} = 370255'048245 \ \Omega/Km$$

La susceptancia kilometrica es $B_K = \dfrac{1}{X_{CK}} = \dfrac{1}{370255'048245} =$

---

b) La perditancia kilometrica (G_K), tambien llamada conductancia, se determina como la inversa de la resistencia de aislamiento existente entre el conductor o conductores de una linea y tierra (apoyos).

Sea cual sea el nivel de aislamiento de una linea siempre existiran pequeñas corrientes de fuga entre conductores y apoyos, pero su determinación exacta resulta, casi siempre, imposible, mas incluso si tenemos en cuenta que varía en función del grado de humedad atmosférica.

De forma aproximada podemos calcularla mediante la expresión:

$$G_K = \frac{P_{pK_f}}{V_f^2} \cdot 10^3 \ S/km$$

siendo G_K = conductancia por fase.

P_{pK_f} = Perdida de potencia o perditancia

U_f = Tensión simple de la línea, kV.

P_{pK_f} = Perdida de potencia kilométrica por fase

El caso a) $G=0$ suele darse en la situación típica de una línea bien aislada y en un tiempo climatológico seco, y el caso en el que se conozca la pérdida media por aislador en la línea.

Respecto al segundo de los planteamientos, el que nos acontece es el caso b),

Suelen considerarse valores medios de pérdidas de 1-4W por aislador de suspensión en tiempo climatológico seco, y para un tiempo húmedo de 5-20W por aislador.

Supongamos que la línea que nos ocupa tiene por columna 17 aisladores de suspensión y 18 los de amarre, considerándose en vanos de 250m, y siendo la línea de 40km tendrán:

$$n^{\circ}\,\text{vanos} = \frac{40000}{250} = 160\ \text{vanos}$$

Habiendo 146 vanos de alineación con 3 columnas de 17 aisladores en suspensión, 7 vanos de 6 columnas por torre de ángulo con 18 aisladores de amarre, 5 vanos de 6 columnas por torre de anclaje con 18 aisladores de amarre, 2 vanos de 6 columnas por torre de fin de línea con 18 aisladores de amarre.

AL	$146 \times 3 \times 17 = 7446$ aisladores		
ANG	$7 \times 6 \times 18 = 756$ aisladores	8958 Aisladores	
ANCL	$5 \times 6 \times 18 = 540$ aisladores		
FL	$2 \times 6 \times 18 = 216$ aisladores		

La potencia perdida por aislador es de 4W

$$P_P = 8958 \cdot 4 = 35832\,W \rightarrow P_{PK} = \frac{P_P}{Km} ; \quad P_{PK} = \frac{35832}{40} = 895'8\ W/km$$

Y la potencia kilométrica por fase $P_{PKf} = \dfrac{895'8}{3} = 298'6\ W/Km$

$$G_K = \frac{298'6\ W/Km}{\left(\frac{230000}{\sqrt{3}}\right)^2} \cdot 10^{3} = 1'6933837426 \cdot 10^{-8}\ S/km \text{ por fase}$$

En el caso de la línea completa $\rightarrow G_K = 1'6933837426 \cdot 10^{-8} \cdot 3 = 5'0801512278 \cdot 10^{-8}\ S/Km$

Las constantes eléctricas contando (G) son

$$Z_K = R_K + j \cdot X_{LK} = 0'0718 + 0'421332028027\,j = 0'427406033932 \angle 80'3290178679^\circ \ \Omega/km$$

$$Y_K = G_K + j \cdot B_K = 1'69338374 26 \cdot 10^{-8} + 2'70084096014 \cdot 10^{-6}\,j = 2'70089404583 \cdot 10^{-6} \angle 89'6407694061^\circ \ S/km$$

Siendo $B = \dfrac{1}{X_{CK}}$

La impedancia característica la calcularemos para hallar la potencia que supondrían unas condiciones óptimas de transporte.

$$P_0 = \frac{U_L^2}{Z_C}$$ siendo Z_C la impedancia característica y U_L la tensión de línea.

$$\vec{Z_C} = \sqrt{\frac{\vec{Z_K}}{\vec{Y_K}}} \rightarrow Z_C = \sqrt{\frac{0'427406033932 \angle 80'3290178679^\circ}{2'70089404583 \cdot 10^{-6} \angle 89'6407694061^\circ}} = 397'801623108 \angle -4'6558757691^\circ$$

Siendo

$$P_\delta = P_C = \underline{\text{potencia característica}} : \underline{\text{potencia óptima}}$$

$$P_0 = \frac{230000^2}{397'801623108} = 132980855'097\ W \rightarrow 132'98\ MW$$

Potencia óptima se le supone unos cosenos $\varphi_1 = \varphi_2$ en toda la línea

Como curiosidad, también se podrían haber calculado estos datos ...

$$\theta = \beta \cdot l \qquad \beta = \sqrt{\vec{Z_K} \cdot \vec{Y_K}}$$

En la línea de 40 km de longitud de circuito simple a 230 kV, 50 Hz, del supuesto 21 se desean conocer, para los casos de potencia a suministrar de 120 MW y para línea trabajando en vacío, las magnitudes siguientes. Considerese en ambos casos que el factor de potencia en la carga es de 0'8, y que G=0.

a) Tensiones e intensidades en los extremos receptor y emisor:

b) Caída de tensión total en la línea y caída porcentual:

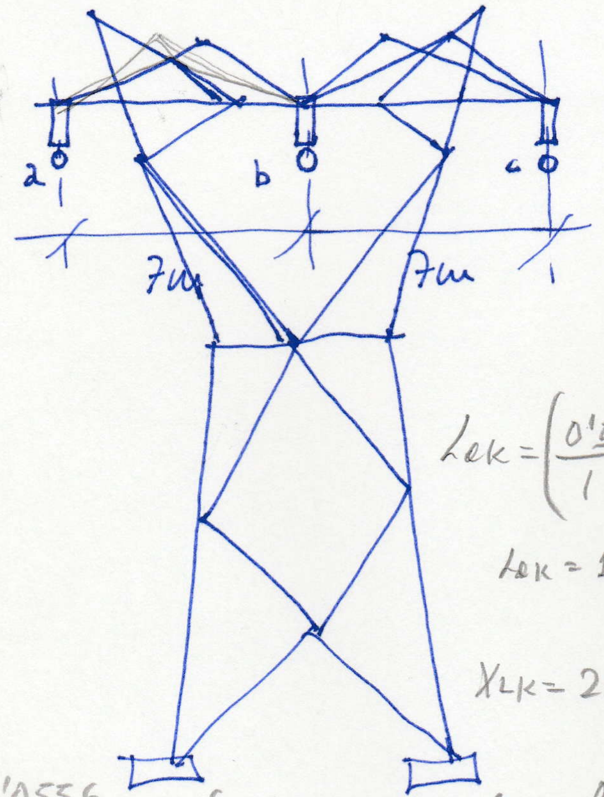
c) Potencias en los extremos receptor y emisor:

LA455:

d) Perdida de potencia y rendimiento de la línea:

e) Regulación de voltaje:

$$d=\sqrt[3]{dab \cdot dbc \cdot dca}$$



$$d=\sqrt[3]{7 \cdot 7 \cdot 14} = 8'81944734924\ m$$

$$\phi = \frac{27'72}{2} = \qquad R_{20^\circ C} = 0'0718\ \Omega/km$$

$$r_{eq} = 13'86\ mm.$$

$$L_{eK} = \left(\frac{0'5}{1} + 2\ln\left(\frac{8819'44734924}{13'86}\right)\right) 10^{-4}$$

$$L_{eK} = 1'34114149889 \cdot 10^{-3}\ H/km$$

$$X_{LK} = 2\pi \cdot 50 \cdot 1'34114149889 \cdot 10^{-3} = 0'421332028 \rightarrow 0'34\ \Omega/km$$

$$C_K = \frac{0'0556}{\ln \frac{d}{r}} \cdot 10^{-6}\ F/km \rightarrow \qquad C_K = \frac{0'0556}{\ln\left(\frac{8819'44734924}{13'86}\right)} \cdot 10^{-6} =$$

$$C_K = 8'61253395506 \cdot 10^{-9}\ F/km. \qquad X_{CK} = \frac{1}{2\pi \cdot 50\ 8'61253395506 \cdot 10^{-9}} = 369589'121906\ \Omega$$

$$Z = \sqrt{R_K^2 + X_{LK}^2} \rightarrow Z = \sqrt{0'0718^2 + 0'421332028^2} = 0'427406033906 \lfloor 80'3290178673^\circ\ \Omega$$

$$\varphi\text{-arctg}=\left(\frac{X_{LK}}{R_K}\right) \quad \frac{0'421332028}{0'0718} = 80'3290178673$$

$$Y_K = 2\pi f \cdot C_K \rightarrow 2\pi \cdot 50 \cdot 8'61253395506 \cdot 10^{-9} = 2'7057073402 \cdot 10^{-6}\ S/km \lfloor 90^\circ$$

$$\beta = \sqrt{\bar{Z} \cdot \bar{Y}_K} \rightarrow \beta = \sqrt{0'427406033906 \lfloor 80'3290178673^\circ \cdot 2'7057073402 \cdot 10^{-6} \lfloor 90^\circ}$$

$$\beta = 1'07537697724 \cdot 10^{-3} \angle 85'1645089336^\circ$$

$$\theta = 1'07537697724 \cdot 10^{-3} \angle 85'1645089336^\circ \cdot 40 = 4'30150790896 \cdot 10^{-2} \angle 85'1645089336^\circ$$

$$A = D = \cosh \vec{\theta} \rightarrow A = D = \cosh\left(4'30150790896 \cdot 10^{-2} \angle 85'1645089336^\circ\right) = 0'999088145743 \angle 0'00891008906712^\circ$$

$$\vec{Z}_c = \sqrt{\frac{\vec{Z}_k}{\vec{Y}_k}} = \sqrt{\frac{0'427406033906 \angle 80'3290178673^\circ}{2'7057073402 \cdot 10^{-6} \angle 90^\circ}} = 397'447632738 \angle -4'83549106634^\circ$$

$$B = 397'447632738 \angle -4'83549106634^\circ \cdot \operatorname{senh}\left(4'30150790896 \cdot 10^{-2} \angle 85'1645089336^\circ\right)$$

$$\vec{B} = 17'0910445767 \angle 80'331986452^\circ$$

$$C = \frac{\operatorname{senh}\left(4'30150790896 \cdot 10^{-2} \angle 85'1645089336^\circ\right)}{397'447632738 \angle -4'83549106634^\circ} = 1'08195395231 \cdot 10^{-4} \angle 90'0029685846^\circ$$

$$U_{1f} = \vec{A} \cdot \vec{U}_{2f} + \vec{B} \cdot \vec{I}_2$$

$$I_2 = \frac{120 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 230 \cdot 10^3 \cdot 0'8} = 376'532784254 \angle -36'8698976458^\circ \text{ A}$$

$$\vec{U}_{1f} = 0'999088145743 \angle 0'00891008906712^\circ \cdot \frac{230000}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ + 17'0910445767 \angle 80'331986452^\circ \cdot$$

$$376'532784254 \angle -36'8698976458^\circ = 137412'422037 \angle 1'85469492525^\circ \text{ V}$$

$$U_1 = \sqrt{3} \cdot U_{1f} = 238005'2965 \text{ V}$$

$$I_1 = \vec{C} \cdot \vec{U}_{2f} + \vec{D} \cdot \vec{I}_2 \rightarrow I_1 = 1'08195395231 \cdot 10^{-4} \angle 90'0029685846^\circ \cdot \frac{230000}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ +$$

$$0'999088145743 \angle 0'00891008906712^\circ \cdot 376'532784254 \angle -36'8698976458^\circ =$$

$$I_1 = 367'749926411 \angle -35'0698022114^\circ \text{ A.}$$

$$\Delta U = \frac{U_1 - U_2}{U_N} \cdot 100 \rightarrow \Delta U\% = \frac{238005'2965 - 230000}{230000} \cdot 100 = 3'4805636 9565\%$$

$$\eta\% = \frac{\sqrt{3} \cdot 230000 \cdot 376'532784254 \cdot 0'8}{\sqrt{3} \cdot 238005'2965 \cdot 367'749926411 \cdot \cos(36'92444971366°)} \cdot 100$$

$$\varphi_1 = |1'85469492525° - (-35'0698022114°)| = 36'92449 71366°$$

$$\eta\% = 99'0152563871\%$$

RECEPTOR

a) $U_2 = 230000V$

$I_2 = 376'532784A$

EMISOR.

$U_1 = 238005'2965V$

$I_1 = 367'75 \underline{|-35'0698022114°} A$

b) $c.d.t = 8000V \quad 3'48\%$

c) $P_2 = 120MW \quad S = 150MVA \qquad P_1 = 121'193444MW \quad S = 151'6 MVA$

d) Perdida 1'193MW de pérdidas $\quad \eta\% = 99'0152563871\%$

e) Regulación de tensión

$$RV(\%) = \frac{U_{20} \overset{?}{-} U_2}{U_{2N}} \cdot 100 \qquad U_{20} = \frac{U_1}{A}$$

$$U_{20} = \frac{238005'2965}{0'9990881 45743} = 238222'52072 \quad \frac{238222'52072 - 230000}{230000} \cdot 100 = 3'575\%$$

lo mismo pero la linea en régimen en vacío $P_2 = 0\,MW \Rightarrow \boxed{P_2 = 0\,MW}$

a) $\vec{U}_{10f} = \vec{A} \cdot \vec{U}_{2f} + \cancel{\vec{B} \cdot \vec{I}_2}^{\,0 \text{ VACÍO}}$

$\vec{U}_{1f} = \vec{A} \cdot \vec{U}_{2f} \rightarrow \vec{U}_{1f} = 0'999088145743 \underline{|0'008910089067 12^\circ} \cdot \dfrac{230000}{\sqrt{3}} \underline{|0^\circ}$

$\vec{U}_{1f} = 132669'476275 \underline{|0'0089100890671} \text{ V} \rightarrow U_{10} = \sqrt{3} \cdot 132669'476275 = 229790'273523 \text{ V}$

$I_{10f} = \vec{C} \cdot \vec{U}_{2f} + \cancel{D \cdot I_2}^{\,0 \text{ VACÍO}}$ $\quad \vec{I}_{1f} = 1'08195395231 \cdot 10^{-4} \underline{|90'0029685846^\circ} \cdot \dfrac{230000}{\sqrt{3}} \underline{|0^\circ}$

$\vec{I}_{10f} = 14'3673273293 \underline{|90'0029685846^\circ} \text{ A} \rightarrow$

b) cdt $\quad 230000 - 229790'273523 = 209'726 \text{ V} =$

$U_2 = 230000 \rightarrow U_1 = 229790'27$ Efecto Ferranti! $\uparrow$ sobre 209'726 Voltios

$\Delta U\% = \dfrac{230000 - 229790'273523}{230000} \cdot 100 = 0'091185\%$ hay subida no caída

c) Potencia en extremos en vacío $\quad P_{10} = \sqrt{3} \cdot U_{10} \cdot I_{10} \cdot \cos\varphi_{10}$

$\cos\varphi_{10} = 90'0029685846^\circ - 0'00891008906712^\circ = 89'9940585 \rightarrow 0'0001036988153$

arcos = 1

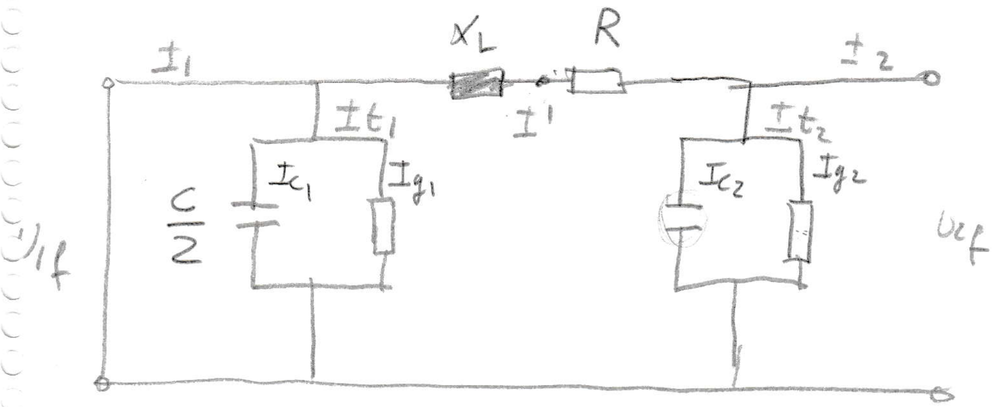
$P_1 = \sqrt{3} \cdot 229790'2735 \cdot 14'3673273293 \cdot 0'0001036988153 \quad 592'98 \text{ W}$

31

2.14) Repetir para la línea del supuesto anterior, los cálculos allí requeridos, considerando aceptable el modelo de línea en π. Dibujar el diagrama vectorial del circuito equivalente en π.

$L_{aK} = 1'34114149889 \cdot 10^{-3}\ H/Km \qquad C_K = 8'61253395506 \cdot 10^{-9}\ F/Km.$

$U_{2f} = \dfrac{230000}{\sqrt{3}} \underline{|0^\circ}\ V; \qquad I_2 = 376'532784254 \underline{|-36'8698976458^\circ}\ A.$



- Nos piden la caída de tensión porcentual y el rendimiento por lo tanto

$\%\Delta U = \dfrac{U_1 - U_2}{U_N} \cdot 100 \rightarrow U_1 = U_{1f} \cdot \sqrt{3} \rightarrow U_{1f}\underline{|\varphi_1'} = U_{2f}\underline{|\varphi_2'} + R \cdot I'\underline{|0^\circ} + X_L \cdot I'\underline{|90^\circ} \rightarrow$

$I'\underline{|\beta} = I_2\underline{|0^\circ} + I_{c2}\underline{|\varphi_2 + 90^\circ} \rightarrow I_{c2} = 2\pi f \dfrac{C_K}{2} \overset{?}{U_{2f}}\ A/Km \qquad \varphi_2' = \varphi_2 - \beta$

- Y para el rendimiento $\eta\% = \dfrac{P_2}{P_1} \Rightarrow P_1 = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1 \searrow \varphi_1 = \varphi_1' - \alpha$

$I_1\underline{|\alpha} = I'\underline{|0^\circ} + I_{c_1}\underline{|90^\circ + \varphi_1'} \rightarrow I_{c_1} = 2\pi f \dfrac{C}{2} \cdot \vec{U}_{1f}$

La pot perdida $P_j = 3 \cdot R_1 \cdot I'^2$ y también el rendimiento puede ser

$\eta\% = \dfrac{P_2}{P_2 + P_j + P_f}$ siendo $P_g =$

$I_{c2} = 2\pi \cdot 50 \cdot \dfrac{8'61253395506 \cdot 10^{-9}}{2} \left| \dfrac{230000}{\sqrt{3}} \underline{|0^\circ} \right| = 0'170233076532$

$I'\underline{|\beta} = 376'532784254\underline{|0^\circ} + 0'170233076532\underline{|36'8698976458^\circ + 90^\circ} =$

$\varphi_2' = \varphi_2 - \beta$

$I'_{L\beta} = 376'430669043 \underline{|0'0207286766646^\circ}$ $\qquad \varphi_2' = 36'8698976458^\circ - 0'0207286766646^\circ$

$\varphi_2' = 36'8491689691^\circ$

$$\vec{U}_{1f\,\underline{|\varphi_1'}} = \frac{230000}{\sqrt{3}} \underline{|36'8491689691^\circ} + (0'0718 \cdot 40)_{\underline{|0^\circ}} \cdot (376'430669043)_{\underline{|0^\circ}} + 16'8532811214 \cdot 376'430669043_{\underline{|90^\circ}}$$

$U_{1f\,\underline{|\varphi_1'}} = 137531'612913 \underline{|38'6943203218^\circ}\ V$ $\qquad U_1 = \sqrt{3} \cdot 137531'612913 = 238211'741212\ V$

$R = R_k \cdot l \Rightarrow 0'0718 \cdot 40 = 2'872\ \Omega$ $\qquad X_L = X_{Lk} \cdot l \Rightarrow 0'421332028034 \cdot 40 = 16'8532811214\ \Omega$

$$\Delta U\% = \frac{238211'741212 - 230000}{230000} \cdot 100 = 3'5703222\ \%$$ $\qquad \varphi_1' = 38'6943203218^\circ$

$$I_{c_1} = 2\pi \cdot 50 \, \frac{8'6125\,3395506 \cdot 10^{-9}}{2} \cdot 137531'612913 \underline{|38'6943203218^\circ} \Rightarrow I_{c_1} = 0'186060147284 \underline{|38'6943203218^\circ}\ A$$

$$I_{1\,\underline{|\alpha}} = 376'430669043_{\underline{|0^\circ}} + 0'186060147284 \underline{|90^\circ + 38'6943203218^\circ} = 376'314378717 \underline{|0'0221102605387^\circ}\ A$$

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot 238211'741212 \cdot 376'314378717 \cdot \cos(38'6722100613^\circ) = 121220887'619\ W$$

$\varphi_1 = \varphi_1' - \alpha \quad \rightarrow \varphi_1 = 38'6943203218^\circ - 0'0221102605387^\circ = 38'6722100613^\circ$

EN VACÍO

U_2 cte

$$\eta\% = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 \Rightarrow \eta\% = \frac{120 \cdot 10^6}{121220887'619} \cdot 100 = 98'992840555\%$$

Regulación de voltaje necesit U_{20} = siendo $\left(U_{20f} = \frac{U_{1f}}{A} \right)$ en parámetros distribuidos

que en el método cuadripolo en π $\quad U_{20f} = \dfrac{U_{1f}}{\sqrt{1 - X_L \cdot \omega \cdot C + \frac{1}{4} \omega^2 C^2 (R^2 + X_L^2)}}$

pero vamos a centrarnos en todos los componentes en vacío.

$I' = I_{20} \rightarrow \quad \vec{U}_{10f} = \vec{U}_{2f} + R \cdot \vec{I}_{c20} - X_L \cdot \vec{I}_{c20}$

$$\vec{U}_{10f} = \frac{230000}{\sqrt{3}} \underline{|0^\circ} + 2'872 \cdot 376'430669043_{\underline{|90^\circ}} - 16'8532811214 \cdot 376'430669043_{\underline{|90^\circ}\,\underline{|90^\circ}} =$$

$U_{10f\,\underline{|\theta}} \quad 139138'853973 \underline{|0'445192680772^\circ}\ V$ $\qquad 126451'091646 \underline{|0'489863155413^\circ}\ V$

La tensión necesaria en inicio de la línea para mantener constante la tensión en final de la línea

Constante U_2

$$I_{C10}\,\underline{|\gamma_0+90°} = 2\pi f\cdot\frac{C}{2}\cdot U_{10f} \Rightarrow 2\pi\cdot 50\,\frac{8'61253395506\cdot 10^{-9}}{2}\,\underline{|90°}\cdot 139138'853973\,\underline{|0'445192680772°}$$

126451'091646 $\underline{|0'4898631554...}$

$$I_{C10}\,\underline{|\gamma_0+90°} = 0'188234509272\,\underline{|90'4451926808°}\text{ A}$$

0'342139646844 $\underline{|90'4898631554°}$

$$I_{10}\,\underline{|\varepsilon+90°} = I_{C20}\,\underline{|90°} + I_{C10}\,\underline{|\gamma_0+90°} \rightarrow I_{10}\,\underline{|\varepsilon+90°} = 376'430669043\,\underline{|90°} + 0'188234509272\,\underline{|90'4451926808}$$

$$I_{10}\,\underline{|\varepsilon+90°} = 376'618897873\,\underline{|90'0002225055°}\text{ A}$$ La corriente en inicio de línea

376'772796196 $\underline{|90'0004448293°}$ A

$$S_{10} = \sqrt{3}\cdot U_{10f}\cdot I_{10} \rightarrow S_{10} = \sqrt{3}\cdot 139138'853973\cdot 376'618897873 = 90763483'8521\text{ VA}$$

La potencia aparente mínima a suministrar por la central o transformador conectado en inicio de la línea:

$0'0004448293° + 90° - 0'4898631554 13°$

$$\varphi_{10} = \varepsilon + 90 - \gamma_0 \rightarrow \varphi_0 = 0'0002225055° + 90° - 0'445192680772° = 89'5550298247°$$

89'51058167°

siendo $\varepsilon = (\varepsilon+90°) - 90° \rightarrow \varepsilon = 90'0002225055° - 90° = 0'0002225055°$

$$P_{10} = \sqrt{3}\cdot U_{10f}\cdot I_{10}\cdot\cos\varphi_{10} \rightarrow P_{10} = \sqrt{3}\cdot 139138'853973\cdot 376'618897873\cdot\cos(89'5550298247°)$$

126451'091646

$$P_{10} = 704879'795378\text{ W}$$

704591'8768 W

VACÍO U_1 cte $\vec{U}_{1f} = \vec{U}_{20f} + R\cdot\vec{I}_{C20} \ominus X_L\cdot\vec{I}_{C20} \rightarrow$

Supongamos que funcionando la línea, la carga se anula por desconexión por un cortocircuito en esta situación la tensión U_1 = cte por lo tanto aparece una corriente de vacío I_{C20}

$I_{C20} \neq I'$

$$U_{20f} = \frac{137531'612913\,\underline{|38'6943203218°}}{1 - 16'8532811214\cdot 314'159265359\cdot 8'61253395506\cdot 10^{-9} + \frac{1}{4}\cdot 314'159265359^2\cdot 8'61253395506\cdot 10^{-9^2}\cdot(2'872^2 + 16'8532811214^2)}$$

$\omega = 2\pi f = 314'159265359$

$U_{20f} = 137534'748707$

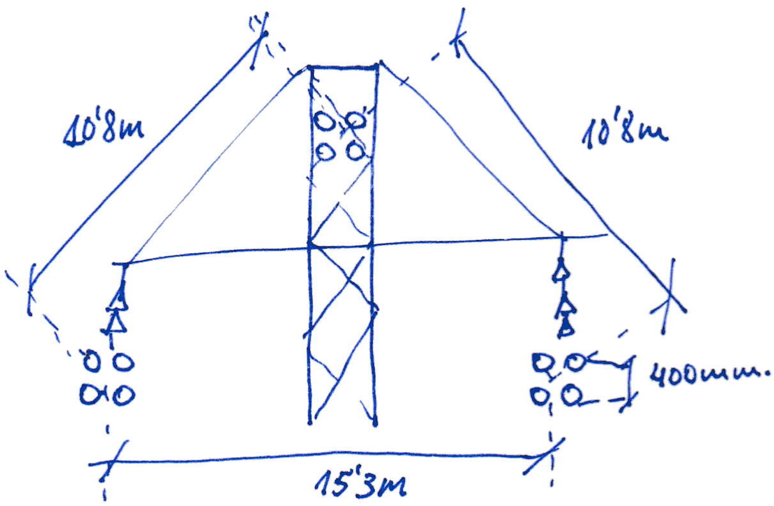
Regulación tensión $\dfrac{U_{20} - U_2}{U_{2N}} \cdot 100 =$

$U_{20} = 137534'748707 \cdot \sqrt{3} = 238217'172567 \text{ V}$

$RV\% \ \dfrac{238217'172567 - 230000}{230000} \cdot 100 = 3'572685\%$

Disponemos de una línea eléctrica destinada al suministro de energía para un conjunto de consumidores a ella sometidos. Los datos más importantes de la misma, así como su disposición y tipo de conductores, son los detallados a continuación:

DATOS:
- Categoría: 1° (380 kV) $= U_2$
- Longitud: 250 km
- Composición cables: Circuito cuadruplex
- Tipo de cable: Halcón
- Potencia a transportar por la línea: 200 MVA
- Factor de potencia: 0'9
- La disposición de los cables obedece a un circuito cuadruplex, con la siguiente relación:



Hallar:

Conocidas las condiciones al final de la línea, hallar para los regímenes de carga y vacío las condiciones al inicio de la línea, la caída de tensión, la pérdida de potencia y el rendimiento del sistema mediante los métodos dados para líneas medias y largas

~~Resolu~~ Como la longitud de esta línea es larga, procederemos a ella con los parámetros distribuidos.

Los datos del cable Halcón son: $\phi = 21'8\,mm$ $\quad R_{20°C} = 0'1195\ \Omega/km$.

$$\text{Resistencia equivalente de fase} = \frac{R_K}{n^{\circ}\text{ de ternas} \cdot n^{\circ}\text{ de conductores del mismo haz}}$$

$$R_{eq} = \frac{0'1195}{1 \cdot 4} = 0'029875\ \Omega/Km.$$

$$L_{eK} = \left[\frac{0'5}{4} + 2\ln\left(\frac{d_{(mm)}}{r_{e(mm)}}\right)\right] \cdot 10^{-4} \rightarrow$$

d = distancia media geométrica

$$d = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{23} \cdot d_{31}}$$

$$d=\sqrt[3]{10'8\cdot 10'8\cdot 15'3}=12129'59538\,mm$$

$re\rightarrow$ radio equivalente $\rightarrow re=R\cdot\sqrt[n]{n\cdot\frac{r}{R}}\rightarrow re=\frac{400}{2}\cdot\sqrt[4]{4\cdot\frac{\frac{21'8}{2}}{\frac{400}{2}}}=136'6608505\,mm$

$$L_{aK}=\left[\frac{0'5}{4}+2\ln\left(\frac{12129'59538}{136'66085}\right)\right]\cdot 10^{-4}\quad L_{aK}=9'096802671\cdot 10^{-4}\ H/Km.$$

$$C_K=\frac{0'0556}{\ln\frac{d}{r}}\cdot 10^{-6}\rightarrow C_K=\frac{0'0556}{\ln\frac{12129'59538}{136'66085}}\cdot 10^{-6}=1'239438763\cdot 10^{-8}\ F/Km$$

Auque no son imprescindibles, salvo la reactancia inductiva para el calculo de la cdt por metodo de parametros distribuidos, serán:

Reactancia inductiva kilométrica $X_{LK}=2\pi\cdot f\cdot L_{aK}\rightarrow X_{LK}=2\pi\cdot 50\cdot 9'096802671\cdot 10^{-4}=0$

$X_{LK}=0'2857844844\ \Omega/Km$

Reactancia capacitiva kilometrica $X_{CK}=\frac{1}{2\pi f\cdot C_K}\rightarrow X_{CK}=\frac{1}{2\pi\cdot 50\cdot 1'239438763\cdot 10^{-8}}=$

$$X_{CK}=256817'7596\ \Omega/Km$$

• Admitancia kilometrica

$Y=G+Bj$ $\quad\vec{Y_K}=2\pi f\cdot C_K$ o la inversa de $\vec{Y_K}=\frac{1}{X_C}$

$\vec{Y_K}=3'893811711\cdot 10^{-6}\ S/km$

• Susceptancia kilométrica. (Bj) si no hay Conductancia $(G)=\frac{P\,fase}{U_f^2}$

La susceptancia será la misma que la admitancia, teniendo la admitancia un argumento de $90°$

$$\vec{Y_K}=3'893811711\cdot 10^{-6}\angle 90°\ S/Km=B_K$$

• Conductancia $G\approx 0$ Desprecisamos las pérdidas por efecto corona pero sabemos que la susceptancia se puede calcular así.

r = radio del conductor

$$\boxed{B=\frac{24'2\cdot\omega}{\log\frac{d}{\sqrt[n]{\sqrt{2}\,(R\cdot 2)^3\,r}}}\cdot 10^{-9}\cdot n^o\ de\ ternas}$$

d = distancia media geométrica.

n = nº de conductores de un mismo haz.

siendo $\omega=2\pi f$

$(R\cdot 2)$ distancia en los cables 400 mm de un mismo haz.

como podemos observar si B y Y fueran iguales G≈0, pero aquí hay una pequeña conductancia G

$$Y_k = G_k + B_k j \rightarrow G_k = \sqrt{Y_k^2 - B_{jk}^2} \rightarrow G = \sqrt{(3'893811711 \cdot 10^{-6})^2 - (4'142422582 \cdot 10^{-6})^2}$$

$$B_k = \frac{24'2 \cdot 2\pi \cdot 50}{\log \dfrac{12129'54538}{\sqrt[4]{\sqrt{2} \cdot 400^3 \cdot \frac{21'8}{2}}}} \cdot 10^{-9} \cdot 1 \text{ terna} = 4'142422582 \cdot 10^{-6} \text{ S/Km} \; \underline{|90^\circ}$$

$G = 1'41346921 \cdot 10^{-6}$ S/Km, por lo tanto la admitancia no tendría un argumento de 90° si no, más bien de

$$\frac{1}{k}\varphi = \operatorname{arctg} = \frac{Bj_k}{G_k} \Rightarrow \operatorname{arctg}\left(\frac{4'142422582 \cdot 10^{-6}}{1'41346921 \cdot 10^{-6}}\right) = 71'1594^\circ,$$ pero aún así no

hacemos caso de la Conductancia G_k y decimos que la susceptancia B_k es igual a la admitancia $\vec{Y}_k$ con mismo argumento que Bj_k

RESUMIENDO:

$\vec{Y}_K = 3'893811711 \cdot 10^{-6} \underline{|90^\circ}$ S/Km. Como si G = 0.

$$\vec{\beta} = \sqrt{\vec{Z}_K \cdot \vec{Y}_K} \rightarrow \vec{Z}_K = \sqrt{R_K^2 + X_{LK}^2} = \vec{Z}_K = \sqrt{0'029875^2 + 0'2857844844^2} =$$

$\vec{Z}_K = 0'2873417602 \; \Omega/\text{Km}$ argumento $= \operatorname{arctg}\left(\frac{X_{LK}}{R_K}\right) = 84'03215742^\circ$

$$\vec{\beta} = \sqrt{0'2873417602 \underline{|84'03215742^\circ} \cdot 3'893811711 \cdot 10^{-6} \underline{|90^\circ}} = 1'0577592878 \cdot 10^{-3} \underline{|87'01607871^\circ}$$

$$\vec{\theta} = \vec{\beta} \cdot l \rightarrow \theta = 1'0577592878 \cdot 10^{-3} \underline{|87'01607271^\circ} \cdot 250 = 0'26443982195 \underline{|87'01607871^\circ}$$

$$A = \cosh\theta = 0'96543086196 \underline{|0'213250175295^\circ}$$

$$Z_C = \sqrt{\frac{Z_K}{Y_K}} \rightarrow \sqrt{\frac{0'2873417602 \underline{|84'03215742^\circ}}{3'893811711 \cdot 10^{-6} \underline{|90^\circ}}} = 271'651370509 \underline{|-2'98392128999^\circ}$$

$$B = Z_C \cdot \operatorname{senh}\vec{\theta} \rightarrow B = 271'651370509 \underline{|-2'98392128999^\circ} \cdot \operatorname{senh}\left(0'26443982195 \underline{|87'01607871^\circ}\right)$$

$$B = 71'0056663111 \underline{|84'1019094078^\circ}$$

$$\vec{C} = \frac{\operatorname{senh}\vec{\theta}}{Z_c} \rightarrow C = \frac{\operatorname{senh}(0'26443982195 \angle 87'01607871^\circ)}{271'651370509 \angle -2'98392128999^\circ} = 9'62208538146 \cdot 10^{-4} \angle 90'0697519877$$

$$\vec{D} = \vec{A}$$

Tomando como origen de fases la tensión del receptor $U_{2f} = \frac{380000}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ$

$$\vec{U}_{1f} = \vec{A} \cdot \vec{U}_{2f} + \vec{B} \cdot \vec{I}_{2f}$$ siendo $\vec{I}_{2f} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_2 \cdot \cos\varphi} \rightarrow \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_2} = \frac{200 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 380000} = 303'868562$

$\vec{I}_{2f} = 303'8685627 \angle -25'84193276^\circ$ A el ~~pequeño~~ es $\cos 0'9$ inductivo $\varphi = -25'84193276^\circ$

$$\vec{U}_{1f} = 0'96543086196 \angle 0'2132501752 95^\circ \cdot \frac{380000}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ + 71'0056663111 \angle 84'1019094078^\circ \cdot 303'8685627 \angle -25'84193276^\circ$$

$$\vec{U}_{1f} = 223977'125749 \angle 4'90164427068^\circ \text{ V}$$

$$I_1 = \vec{C} \cdot \vec{U}_{2f} + \vec{D} \cdot \vec{I}_2$$

$$\vec{I}_{1f} = 9'62208538146 \cdot 10^{-4} \angle 90'0697519877^\circ \cdot \frac{380000}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ + 0'96543086196 \angle 0'213250175295^\circ \cdot 303'8685627 \angle -25'8419327$$

$$\vec{I}_{1f} = 277'338753713 \angle 17'6763079457^\circ \text{ A}$$

$$\vec{U}_1 = U_{1f} \cdot \sqrt{3} \rightarrow U_1 = \sqrt{3} \cdot 223977'125749 = 387939'761531 \text{V}$$

$$\Delta U\% = \frac{U_1 - U_2}{U_2} \cdot 100\% \Rightarrow \Delta U\% = \frac{387939'761531 - 380000}{380000} \cdot 100 = 2'08941092921\%$$

$$\cos\varphi_1 = \quad \varphi_1 = (\vec{U}_{1f} - \vec{I}_{1f}) \rightarrow 4'90164427068 - (17'6763079457^\circ) = -12'7746368^\circ$$

$$\cos\varphi_1 = 0'9752472282$$

$$P_2 = 180 \text{MW}$$

$$\eta\% = \frac{U_2 \cdot \sqrt{3} \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1} \cdot 100 = \frac{\boxed{380000 \cdot \sqrt{3} \cdot 303'8685627 \cdot 0'9}}{\boxed{\sqrt{3} \cdot 387939'761531 \cdot 277'338753713 \cdot 0'9752472282}}$$

$\eta\%$ 99'04266 %

$$P_1 = 181'7398671 \text{ MW}$$

$$P_p = P_1 - P_2 \rightarrow P_p = 181'7398671 - 180 = \boxed{1'7398671 \text{ MW} = P_p}$$

En régimen de vacío

$\vec{U}_{1f} = A \cdot \vec{U}_{2f} + \vec{B} \cdot \cancel{\vec{I}_{2f}}$ $\quad I_2 = 0A$

$\vec{U}_{1f} = 0'96543086196 \angle 0'213250175295° \cdot \frac{380000}{\sqrt{3}} \angle 0° = 211808'871854 \angle 0'213250175296°\ V$

$U_{10} = U_{1f} \cdot \sqrt{3} \Rightarrow U_1 = 211808'871854 \cdot \sqrt{3} = 366863'727544\ V$

$I_{10} = C \cdot U_{2f} + D \cdot \cancel{I_{2f}}$ $\quad I_2 = 0A \rightarrow I_1 = 9'62208538146 \cdot 10^{-4} \angle 90'0697519877° \cdot \frac{380000}{\sqrt{3}} \angle 0°$

$I_{10} = 211'101916236 \angle 90'0697519877°\ A$ $\qquad \varphi_{10} = (90'0697519877° - 0'213250175296°)$

$\varphi_{10} = 89'85650181° = 0'002504513226$

$\Delta U\% = \frac{366863'727544 - 380000}{366863'727544} \cdot 100 = -3'58\%$ la cdt es negativa por lo tanto hay Efecto ferranti.

* El rendimiento de la línea será extraño, ya que $P_2 > P_1$, y la intensidad tiene un argument capacitivo de 90'069° igual que el parámetro $\vec{C}$.

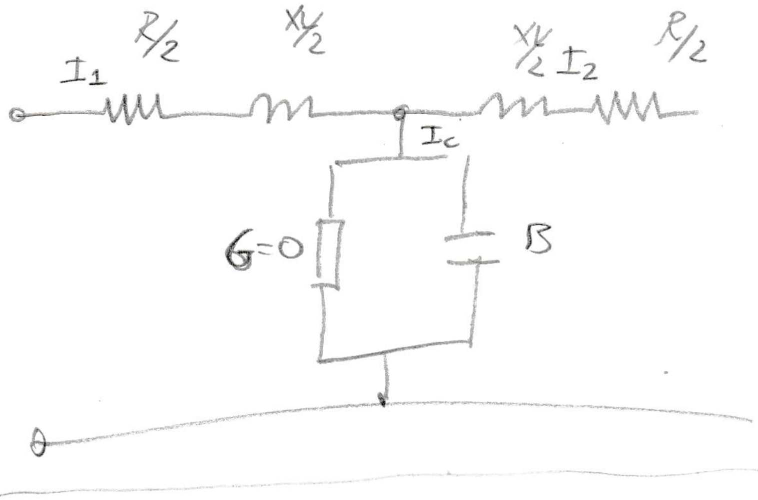
$\eta\% = \frac{\sqrt{3} \cdot 380000 \cdot 0 \cdot \cos\varphi_{10}}{\sqrt{3} \cdot 366863'7 \cdot 211'101916236 \cdot 0'002504513226} \cdot 100 = \frac{0}{335954'8436} = 0\%$

$366863'727544$

$\arccos \varphi_{10} = 2'504513226 \cdot 10^{-3}$ $\qquad P_{10} = 335'9548436\ KW$ de pérdidas de vacío

$\varphi_{10} = 89'85650181°$

Calcular las magnitudes eléctricas al principio de línea por el cuadripolo en T.



$U_{20} = \frac{U_1}{A} = \frac{387939'761531}{0'96543086196}$

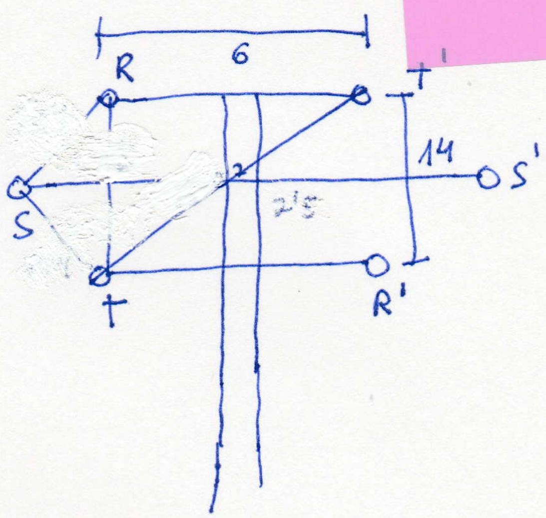
Regulación de la tensión

$\epsilon = \frac{U_{20} - U_2}{U_2} \cdot 100\%$

$\frac{401830'702556 - 380000}{380000} \cdot 100$

Regulación de Voltaje = 5'744921725%

Disponemos una línea eléctrica destinada al suministro de energía de un conjunto de consumidores a ella conectados. Los datos más importantes de la misma, así como su disposición y tipo de conductores son los detallados a continuación.



DATOS:

- Categoría 1ª 220 kV
- Longitud: 150 km
- Composición cables 30 Al 7 acero
- Diámetro exterior cable 15'75 mm
- $R_{20°C} = 0'154\ \Omega/km = R_{eq}$
- Potencia a transportar: 140 MVA
- Factor de potencia 0'8i
- La disposición de los cables son dos circuitos simples

Distancias conocidas: $R-T' = 6$ metros $= T-R'$
$S-S = 7'5$ metros
$R-T = 14$ metros $= T'-R'$

Conocidos las condiciones al final de la línea, hallar para los regímenes de carga y vacío: las condiciones al inicio de la línea, la caída de tensión, la pérdida de potencia y el rendimiento del sistema, mediante los métodos dados para líneas medias y largas:

Calculamos las distancias media geométrica: $d_{12} = \frac{\sqrt{d_{RS} \cdot d_{RT} \cdot d_{RS'} \cdot d_{RT'}}}{d_{RR'}}$

$$d_{RS} = \sqrt{\left(\frac{SS' - RT'}{2}\right)^2 + \left(\frac{RT}{2}\right)^2} \rightarrow d_{RS} = \sqrt{\left(\frac{7'5-6}{2}\right)^2 + \left(\frac{14}{2}\right)^2} \Rightarrow \sqrt{\left(\frac{3}{4}\right)^2 + \left(\frac{14}{2}\right)^2} = \frac{\sqrt{793}}{4} = 7'04\,m$$

$$d_{RS'} = \sqrt{\left(RT' + \frac{SS' - RT'}{2}\right)^2 + \left(\frac{RT}{2}\right)^2} \Rightarrow d_{RS'} = \sqrt{\left(6 + \frac{7'5-6}{2}\right)^2 + \left(\frac{14}{2}\right)^2} = 9'72432517\,m$$

$$d_{TT'} = \sqrt{(RT')^2 + (RT)^2} \Rightarrow d_{TT'} = \sqrt{6^2 + 14^2} = 2\sqrt{58} = 15'231546\,m$$

$$d_{12} = \frac{\sqrt{7'04 \cdot 14 \cdot 9'72432517 \cdot 6}}{15'231546} = \frac{\sqrt{5750'576933}}{15'231546} = 4'978651447\,m$$

$$d_{23} = \sqrt{\frac{d_{SR} \cdot d_{ST} \cdot d_{SR'} \cdot d_{ST'}}{d_{SS'}}} \Rightarrow d_{23} = \sqrt{\frac{7'04 \cdot 7'04 \cdot 9'72432517 \cdot 9'72432517}{7'5}} = 9'127899893\, m$$

$$d_{31} = \sqrt{\frac{d_{TR} \cdot d_{TS} \cdot d_{TR'} \cdot d_{TS'}}{d_{TT'}}} \Rightarrow d_{31} = \sqrt{\frac{7'04 \cdot 14 \cdot 9'72432517 \cdot 6}{15'231546}} = 4'978651447\, m$$

$$d = \sqrt[3]{4'978651447 \cdot 9'127899893 \cdot 4'978651447} = 6'093471317\, m$$

$$re = \frac{\varnothing}{2} = \frac{15'75}{2} = 7'875\, mm$$

siendo n el nº de conductores de un mismo haz

$$L_{a K} = \frac{\left(\frac{0'5}{n} + 2\ln\left(\frac{d}{re}\right)\right) \cdot 10^{-4}}{\text{nº de ternas}}\ H/km$$

$$L_{a K} = \frac{\left(\frac{0'5}{1} + 2\ln\left(\frac{6093'471317}{7'875}\right)\right) \cdot 10^{-4}}{2} = 6'901280016 \cdot 10^{-4}\ H/km$$

$$C_K = \frac{0'0556}{\ln \frac{d}{r}} \cdot 10^{-6}\ F/km \rightarrow C_K = \frac{0'0556}{\ln\left(\frac{6093'471317}{7'875}\right)} \cdot 10^{-6} \cdot 2\ \text{ternas}$$

$$C_K = 1'671858646 \cdot 10^{-8}\ F/km \rightarrow \vec{Y}_K = 2\pi f \cdot C_K \Rightarrow \vec{Y}_K = 2\pi \cdot 50 \cdot 1'671858646 \cdot 10^{-8}$$

$$\vec{Y}_K = 5'252298839 \cdot 10^{-6}\ S/km. \qquad X_{LK} = 2\pi f L_{aK}.$$

$$R_{eq} = \frac{R_K}{2} \Rightarrow \frac{0'154}{2} =$$

$$R_{eq} = 0'077\, \Omega/km$$

$$X_{LK} = 2\pi \cdot 50 \cdot 6'901280016 \cdot 10^{-4} = 0'216810106\, \Omega/km$$

$$\vec{Z}_K = \sqrt{0'077^2 + 0'2168101062^2} = 0'2300774262\, \Omega/km \qquad \operatorname{arctg}\left(\frac{X_{LK}}{R_K}\right) = \frac{0'216810106}{0'077}$$

$$\vec{Z}_K = 0'2300774262 \angle 70'44753116^\circ\ \Omega/km \quad ; \quad \vec{Y}_K = 5'252298839 \cdot 10^{-6} \angle 90^\circ\ S/km$$

$$\beta = \sqrt{0'2300774262 \angle 70'44753116^\circ \cdot 5'252298839 \cdot 10^{-6} \angle 90^\circ} = 1'09928858746 \cdot 10^{-3} \angle 80'22376558^\circ$$

$$\theta = 1'09928858746 \cdot 10^{-3} \angle 80'22376558 \cdot 150\,km = 0'164893288119 \angle 80'22376558^\circ$$

$$A = \cosh\left(0'164893288119 \angle 80'22376558^\circ\right) \rightarrow A = 0'987223329898 \angle 0'26293303854^\circ$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{0'2300774262 \angle 70'44753116^\circ}{5'252298839 \cdot 10^{-6} \angle 90^\circ}} = 209'296656788 \angle -9'77623441998^\circ$$ Adm.

$$B = 209'296656788 \angle -9'77623441998^\circ \cdot \operatorname{senh}\left(0'164893288119 \angle 80'22376558^\circ\right)$$

$$\vec{B} = 34'3644429364 \angle 70'5345747884^\circ$$

$$\vec{C} = \frac{\operatorname{senh}\left(0'164893288119 \angle 80'22376558^\circ\right)}{209'296656788 \angle -9'77623441998^\circ} = 7'84485147975 \cdot 10^{-4} \angle 90'0870436283^\circ$$

$$I_2 = \frac{S}{U_2 \cdot \sqrt{3}} = \frac{140 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 220000} = 367'4047168$$

$$\vec{D} = \vec{A} \qquad \varphi_2 = 36'86989765^\circ$$

$$\vec{U}_{1f} = 0'987223329898 \angle 0'26293303854^\circ \cdot \frac{220000}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ + 34'3644429364 \angle 70'5345747884^\circ \cdot$$

$$367'4047168 \angle -36'86989765^\circ = 136112'074551 \angle 3'18998961175^\circ \text{ V}$$

$$\vec{I}_1 = 7'84485147975 \cdot 10^{-4} \angle 90'0870436283^\circ \cdot \frac{220000}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ + 0'987223329898 \angle 0'26293303854^\circ \cdot$$

$$367'4047168 \angle -36'86989765^\circ = 313'521112189 \angle -21'8428912882^\circ \text{ A}$$

$$\cos\varphi_1 = 3'18998961175^\circ - (-21'8428912882^\circ) = 25'0328809^\circ \qquad \text{arccos} = 0'9060651057$$

$$U_1 = 136112'074551 \cdot \sqrt{3} = 235753'028645 \text{ V} \qquad \Delta U\% = \frac{U_1 - U_2}{U_2} \cdot 100$$

$$\Delta U\% = \frac{235753'028645 - 220000}{220000} \cdot 100 = 7'16040887273\%$$

$$\eta\% = \frac{\sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1} = \frac{\sqrt{3} \cdot 220000 \cdot 367'4047168 \cdot 0'8}{\sqrt{3} \cdot 235753'028645 \cdot 313'521112189 \cdot 0'9060651057} \cdot 100$$

$$\eta\% = 96'55481106\% \qquad P_p = (115'9962914 - 112) \cdot 10^6 = 3'9963 \text{ MW}$$

En vacío $\quad U_{1f} = A \cdot U_{2f} \qquad I_{1f} = C \cdot U_{2f}$

$$U_{1f} = 0'987223329898 \angle 0'26293303854^\circ \cdot \frac{220000}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ = 125394'204159 \angle 0'26293303854^\circ \text{ V}$$

$$I_{10} = 7'84485147975 \cdot 10^{-4} \underline{|90'0870436283^\circ} \cdot \frac{220000}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ = 99'6429964991 \underline{|90'0870436283^\circ} \text{ A}$$

$$U_{10} = \sqrt{3} \cdot 125394'204159 = 217189'132578 \text{ V}$$

$$\Delta U\% = \frac{217189'132578 - 220000}{220000} = -1'277\%$$ Hay efecto ferranti cdt negativa

$$P_{10} = U_{10} \cdot \sqrt{3} \cdot I_{10} \cdot \cos\varphi_{10}$$

$$\varphi_{10} = 90'0870436283^\circ - 0'26293303854^\circ$$

$$\varphi_{10} = 89'82411059^\circ$$

$$P_{10} = \sqrt{3} \cdot 213189'132578 \cdot 99'6429964991 \cdot 0'003069844506 \Rightarrow P_{10} = 112'9506793 \text{ kW}$$

pérdidas de vacío.

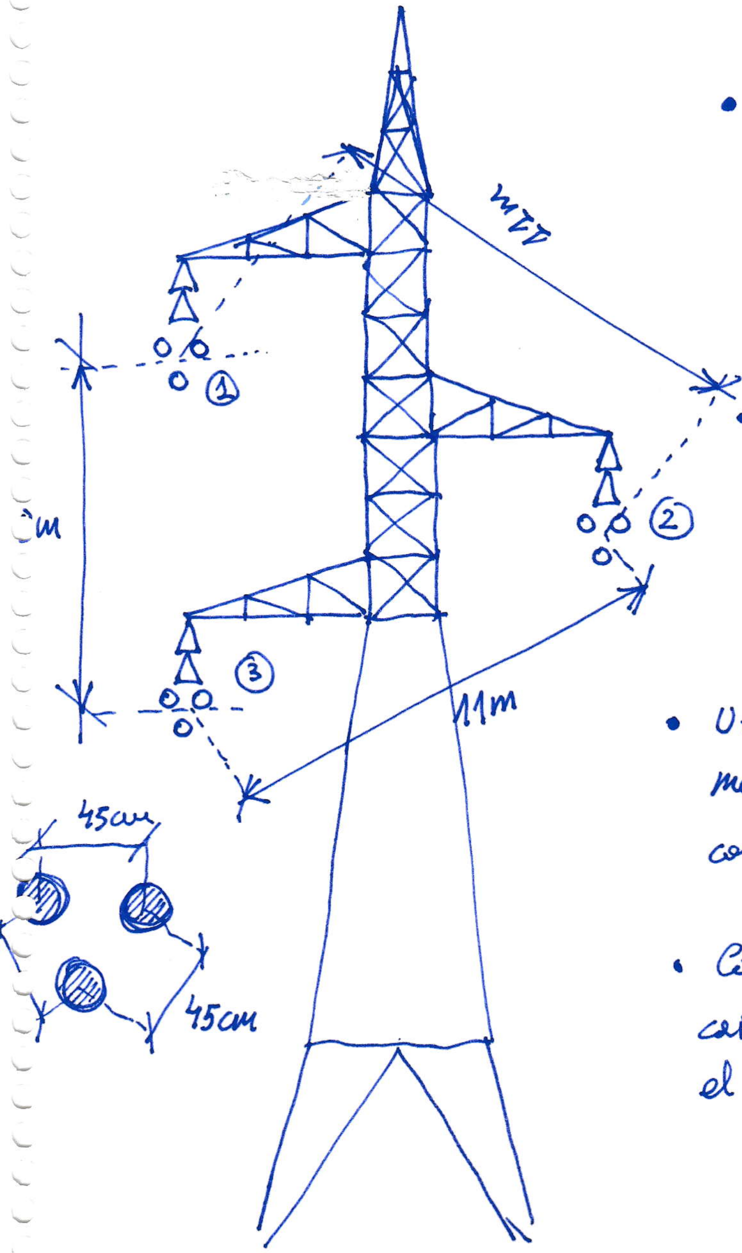
$$\eta\% = 0\%$$

Regulación de voltaje $\frac{U_{20} - U_2}{U_2} \cdot 100\%$ $\quad U_{20} = \frac{U_1}{A} = \frac{235753'028645}{0'987223329898}$

$$e\% = \frac{238804'150495 - 220000}{220000} \cdot 100 = 8'54734113409\%$$ Regulación de Voltaje

Ahora con cuadripolo en T.

DATOS: • Conductor 242-AL1/39-ST1A LA 280 HAWK
• Longitud: 150 km.
• Temperatura de trabajo: 70°C



• Obtener las características eléctricas de la línea cuya configuración se muestra en esta bonita figura: - Resistencia eléctrica, - Reactancia inductiva, - Susceptancia e Impedancia característica.

• Calcular la caída de tensión y la pérdida de potencia, suponiendo que la línea está dando servicio a una carga cuya potencia es de 250 MW, $\cos\varphi = 0'85$ a una tensión de 400k

• Utilícese las ecuaciones de la línea con el método de parámetros distribuidos. Desprecie la conductancia de la línea (G=0)

• Comparar los resultados obtenidos en la caída de tensión con los que proporcionaría el cálculo utilizado en (π). cto equivalente:

Datos del conductor: $\varnothing = 21'8$ mm $R_{20°C} = 0'1195\ \Omega/km$ y el coeficiente de dilatación del aluminio es $\alpha = 0'004032\ °C^{-1}$

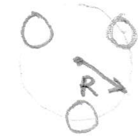
• Resistencia equivalente ⇒ $R_\theta = R_{20°C} \cdot [1 + \alpha \cdot (\theta - 20)]$

$$R_\theta = 0'1195 \cdot [1 + 0'004032 \cdot (70-20)] = 0'1435912\ \Omega/Km = R_{70°C}$$

$$R_K = \frac{R_{70°C}}{3} = 0'04786373333\ \Omega/Km \ //$$

• Inductancia $L_{aK} = \left(\frac{0'5}{n} + 2\ln\frac{d}{r}\right)\cdot 10^{-4}\ H/Km.$

• Siendo la distancia media geométrica:



$$d = \sqrt[3]{d_{12}\cdot d_{23}\cdot d_{13}} \Rightarrow d = \sqrt[3]{11\cdot 11\cdot 8} = 9'892174886\ m$$

• El radio equivalente es: $r_e = R\cdot\sqrt[n]{n\cdot\frac{r}{R}}$ → siendo n= el número de conductores del haz.

R= el radio de la circunferencia que pasa por el centro de los conductores.

r= el radio del conductor ; $R = \frac{450\ mm}{2} = 225\ mm$; $r = 10'9\ mm$; $n = 3$

$$r_e = 225\cdot\sqrt[3]{3\cdot\frac{10'9}{225}} = 118'2962369\ mm$$

$$L_{aK} = \left(\frac{0'5}{3} + 2\ln\frac{9892'174886}{118'2962369}\right)\cdot 10^{-4} = 9'019281361\cdot 10^{-4}\ H/Km.$$

$$C_K = \frac{0'0556}{\ln\frac{d}{r}}\cdot 10^{-6}\ F/Km \rightarrow C_K = \frac{0'0556}{\ln\frac{9892'174886}{118'2962369}}\cdot 10^{-6} = 1'256126058\cdot 10^{-8}\ F/Km$$

• Reactancia inductiva $X_{LK} = 2\pi f L_{aK} \Rightarrow X_{LK} = 2\cdot\pi\cdot 50\cdot 9'019281361\cdot 10^{-4} =$

$X_{LK} = 0'2833490806\ \Omega/Km.$

• La impedancia kilométrica $Z_K = \sqrt{R_K^2 + X_{LK}^2} = \sqrt{0'047863733333^2 + 0'2833490806^2}$

$$\varphi = \text{arctg}\left(\frac{0'2833490806}{0'047863733333}\right) \rightarrow \varphi = 80'41202681^\circ \qquad Z_K = 0'2873632517\ \underline{|80'41202681^\circ}\ \Omega/Km$$

• La Admitancia kilométrica: $\vec{Y}_K = 2\pi f\cdot C_K$

$$\vec{Y}_K = 2\pi\cdot 50\cdot 1'256126058\cdot 10^{-8}\ \underline{|90^\circ} \Rightarrow \vec{Y}_K = 3'946236396\cdot 10^{-6}\ \underline{|90^\circ}\ S/km$$

• La constante de propagación: $\beta = \sqrt{\vec{Z}_K\cdot\vec{Y}_K}$

$$\beta = \sqrt{0'2873632517\ \underline{|80'41202681^\circ}\cdot 3'946236396\cdot 10^{-6}\ \underline{|90^\circ}} = 1'06489592108\cdot 10^{-3}\ \underline{|85'206013405^\circ}$$

• El ángulo característico es: $\vec{\theta} = \beta \cdot l$

$$\vec{\theta} = 1'06489592108 \cdot 10^{-3} \angle 85'206013405^\circ \cdot 150 = 0'159734388161 \angle 85'206013405^\circ$$

• El parámetro $\vec{A} \equiv D \cosh(\vec{\theta})$; $\vec{B} = \vec{Z_c} \cdot \operatorname{senh} \vec{\theta}$; $C = \dfrac{\operatorname{senh} \vec{\theta}}{\vec{Z_c}}$

$$A \equiv D = \cosh\left(0'159734388161 \angle 85'206013405^\circ\right) = 0'9874485401 \angle 0'122780129565^\circ$$

• La impedancia característica: $\vec{Z_c} = \sqrt{\dfrac{\vec{Z_K}}{\vec{Y_K}}}$

$$\vec{Z_c} = \sqrt{\frac{0'2873632517 \angle 80'41202681^\circ}{3'946236396 \cdot 10^{-6} \angle 90^\circ}} = 269'85102113 \angle -4'79398659503^\circ$$

$$\vec{B} = 269'85102113 \angle -4'79398659503^\circ \cdot \operatorname{senh}\left(0'159734388161 \angle 85'206013405^\circ\right)$$

$$\vec{B} = 42'9239774831 \angle 80'4526779852^\circ$$

$$\vec{C} = \frac{\operatorname{senh}\left(0'159734388161 \angle 85'206013405^\circ\right)}{269'85102113 \angle -4'79398659503^\circ} = 5'89456589185 \cdot 10^{-4} \angle 90'0406511752^\circ$$

• La intensidad es $I_2 = \dfrac{P}{\sqrt{3} \cdot U_2 \cdot \cos\varphi_2} \rightarrow \dfrac{250 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 400000 \cdot 0'85} = 424'5222568 \text{ A}$

argumento $= 0'85$ inductivo $\rightarrow$ $I_2 = 424'5222568 \angle -31'78833062^\circ$ A

• La tensión $U_{2f} = \dfrac{400000}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ$ como origen de fases.

$$\vec{U_{1f}} = 0'9874485401 \angle 0'122780129565^\circ \cdot \frac{400000}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ + 42'9239774831 \angle 80'4526779852^\circ \cdot \ldots$$

$$424'5222568 \angle -31'78833062^\circ = 240494'001109 \angle 3'37805131018^\circ \text{ V}$$

$U_1 = \sqrt{3} \cdot 240494'001109 = 416547'828837 \text{ V}$ $\quad \Delta U\% = \dfrac{416547'828837 - 400000}{400000} \cdot 100$

• La caída de tensión será $\quad \Delta U\% = 4'1369572092 5\%$ //

Las perdidas en vacío:

$U_{10} = \vec{A} \cdot \vec{U}_{2f}$ $\quad I_{10} = \vec{C} \cdot \vec{U}_{2f}$ $\quad U_{20} = \frac{U_1}{A}$

$P_{10} = \sqrt{3} \cdot U_{10} \cdot I_{10} \cdot \cos\varphi_{10}$

Y Regulación de voltaje = $\frac{U_{20} - U_2}{U_2} \cdot 100 = e\%$

$U_{20} = \frac{416547'828837}{0'9874485401} = 421842'5689 \rightarrow e\% = \frac{421842'5689 - 400000}{400000} \cdot 100 = 5'46064\%$

$\vec{U}_{10f} = 0'9874485401 \underline{|0'122780129565°} \cdot \frac{400000}{\sqrt{3}} \underline{|0°} = 228041'472175 \underline{|0'122780129565°}$ V

$\vec{I}_{10} = 5'89456589185 \cdot 10^{-4} \underline{|90'0406511752°} \cdot \frac{400000}{\sqrt{3}} \underline{|0°} = 136'129168177 \underline{|90'0406511752°}$ A

$\cos\varphi_{10} = 90'0406511752° - 0'122780129565° = 89'91787105° \rightarrow 0'001433420174$

$P_{10} = \sqrt{3} \cdot (\sqrt{3} \cdot 228041'472175) \cdot 136'129168177 \cdot 0'001433420174 = 133'4934$ kW de pérdidas

• La potencia perdida es $P_1 - P_2$, pero no se I_1

$P_1 = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1$

$\vec{I_1} = 5'89456589185 \cdot 10^{-4} \underline{|90'0406511752^\circ} \cdot \frac{400000}{\sqrt{3}} \underline{|0^\circ} + 0'9874485401 \underline{|0'122780129565^\circ} \cdot \ldots$

$424'5222568 \underline{|-31'78833062^\circ} = 366'432234424 \underline{|-13'2410808066^\circ}$ A

$\cos\varphi_1 =$ argument $(\vec{U}_{1f} - \vec{I}_{1f}) \rightarrow \varphi_1 = 3'37805131018^\circ - (-13'2410808066^\circ) = 16'6191321168^\circ$

$0'958227124428$

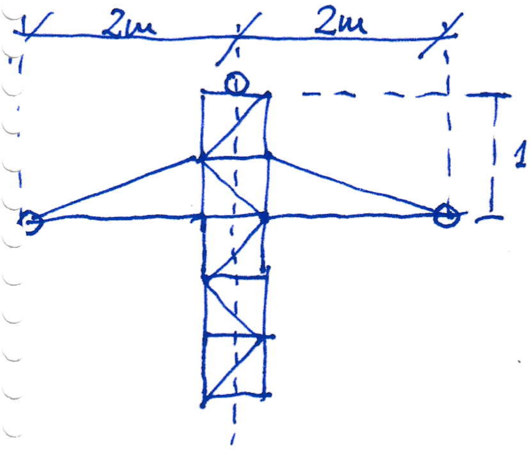
• $P_1 = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1 \rightarrow P_1 = \sqrt{3} \cdot 416547'828837 \cdot 366'432234424 \cdot 0'958227124428$

$P_1 = 253'330589$ MW $- 250$ MW $= 3'330589401$ MW de potencia perdida

$\eta = \frac{P_1}{P_2} = 98'685279\%$ de rendimiento, se

Comparar los resultados obtenidos en la caída de tensión con los que proporcionaría el calculo utilizando el circuito equivalente en π.

Una línea trifásica con apoyos de celosía, según UNE 207107, y armados tipo triángulo T2-20/5 enlaza una subestación con un centro de transformación a 40 Km de distancia.
La potencia prevista para el centro de transformación es de 1 MVA, con un $\cos\varphi = 0'85$ a 20kV/400/230V



Cable: LA56 $\phi = 9'45$ mm
$R_{20°C} = 0'6136\ \Omega/km$
Temp max de funcionamiento de la línea: 50°C

1- ¿Se puede superar la máxima caída de tensión del 6%?
2- ¿Qué potencia puede distribuirse como máximo, atendiendo al criterio de máxima caída de tensión del 6%
3- Si toda la potencia fuera de carácter resistivo. ¿Cuál sería la máxima potencia que podría distribuirse atendiendo al criterio de máxima caída de tensión?
4 - ¿Cuál sería la máxima longitud de la línea necesaria para distribuir 1 MVA, con $\cos\varphi = 0'85$, atendiendo al criterio de máxima caída de tensión?
5 - ¿Se superará el 3% de pérdidas si se distribuye la potencia máxima con $\cos\varphi = 0'85$, atendiendo al criterio de máxima caída de tensión?
6 - ¿Se superaría la máxima intensidad admisible cuando se suministra 1 MVA con $\cos\varphi = 0'85$?

1- Primero resolveremos la caída porcentual máxima que se puede dar en la línea para el caso más desfavorable de 50°C, por el método de parámetros distribuidos, y luego compararemos el resultado de la caída porcentual $\Delta U\%$ con el de la siguiente fórmula:

$$\Delta U\% = \frac{P \cdot l\,(R'_\theta + X' \cdot \tan\varphi)}{U_{2L}^2} \cdot 100$$

y a partir de ella, rediseñaremos la línea, en caso de que no cumpla la caída de tensión, según el apartado 2, 3, 4 y 5.

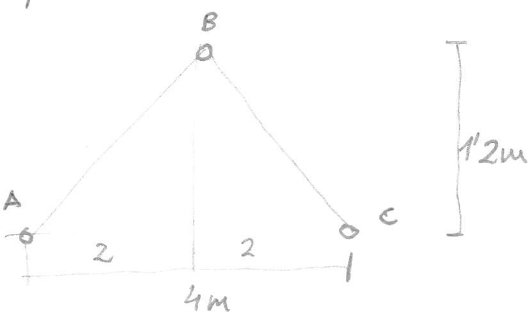
PARAMETROS DISTRIBUIDOS

- Hallamos la resistencia para 50°C mediante: $R'_{\theta} = R_{20°C} \cdot [1 + \alpha \cdot (\theta - 20)]$
siendo α el coeficiente de dilatación del aluminio $\alpha = 0'004032\ °C^{-1}$ y $\theta = 50°C$

$$R'_{\theta} = 0'6136 \cdot [1 + 0'004032 \cdot (50-20)] = 0'68782\ \Omega/Km$$

- Hallamos la inductancia $L_{ak} = \left(\frac{0'5}{n} + 2 \ln \frac{d}{re}\right) \cdot 10^{-4}\ H/Km$ siendo n el número de conductores del haz,
Y (d) la distancia media geométrica entre conductores, y (re) el radio equivalente entre conductores de un mismo haz, siendo en este caso el del propio conductor ya que solo hay un conductor en el propio haz.

$$d = \sqrt[3]{d_{AB} \cdot d_{BC} \cdot d_{CA}}$$ siendo:



$d_{AC} = 4m$ $\quad d_{BC} = d_{AB} = \sqrt{1'2^2 + 2^2} = \frac{2\sqrt{34}}{5}\ m$

$d_{BC} = d_{AB} = 2'333m$

$$d = \sqrt[3]{\frac{2\sqrt{34}}{5} \cdot \frac{2\sqrt{34}}{5} \cdot 4} = 2'792m \quad ; \quad re = \frac{\phi}{2} = \frac{9'45mm}{2} = 4'725mm$$

$$L_{ak} = \left(\frac{0'5}{1} + 2 \ln \frac{2792mm}{4'725mm}\right) \cdot 10^{-4} \rightarrow L_{ak} = 1'326329181 \cdot 10^{-3}\ H/Km$$

- Hallamos la capacidad kilométrica $C_K = \frac{0'0556}{\ln \frac{d}{r}} \cdot 10^{-6}\ F/Km$

$$C_k = \frac{0'0556}{\ln \frac{2792}{4'725}} \cdot 10^{-6} = 8'712485908 \cdot 10^{-9}\ F/Km$$

- La reactancia inductiva, va en retraso con la tensión $X_{LK} = 2\pi f \cdot L_{ak}$
-kilométrica-

$$X_{LK} = 2\pi \cdot 50 \cdot 1'326329181 \cdot 10^{-3}\ \underline{|-90°} = 0'4166786011\ \underline{|-90°}\ \Omega/Km$$

- La reactancia capacitiva, va en adelanto con la tensión $X_{CK} = \frac{1}{2\pi f C_K}$
-kilométrica-

$$X_{CK} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 8'712485908 \cdot 10^{-9}\ \underline{|90°}} \Rightarrow X_{CK} = 365349'097312\ \underline{|-90°}\ \Omega/Km$$

- La admitancia es la inversa $\vec{Y}_K = \frac{1}{X_{CK}} = \frac{1}{365349'097312\ \underline{|-90°}} = 2'73710817231 \cdot 10^{-6}\ \underline{|90°}\ S/K$

Empleando parámetros distribuidos llegaremos a la caída de tensión mediante:

$\vec{U}_{1f} = \vec{A}\cdot\vec{U}_{2f} + \vec{B}\cdot\vec{I}_2$, y para el rendimiento $\vec{I}_{1f} = \vec{C}\cdot\vec{U}_{2f} + \vec{D}\cdot\vec{I}_2$

siendo $\vec{A} = \vec{D} = \cosh\vec{\theta}$; $B = \vec{Z}_c \cdot \operatorname{senh}\vec{\theta}$; $C = \frac{\operatorname{senh}\vec{\theta}}{\vec{Z}_c}$

Para hallar el ángulo característico $\vec{\theta} = \beta\cdot l$ siendo la constante de propagación $\beta = \sqrt{\vec{Z}_K\cdot\vec{Y}_K}$
siendo la impedancia kilométrica $Z_K = \sqrt{R_K^2 + X_K^2}$ y su argumento: $\varphi = \operatorname{arctg}\left(\frac{X_{LK}}{R_K}\right)$

$$\vec{Z}_{K\,\underline{|\varphi}} = \sqrt{0'68782^2 + 0'4166786011^2} = 0'804187421572 \qquad \varphi = \operatorname{arctg}\left(\frac{0'4166786011}{0'68782}\right) = 31'2073132^\circ$$

$\underline{|31'2073132^\circ}\ \Omega/km$

$$\beta = \sqrt{0'804187421572_{\underline{|31'2073132^\circ}} \cdot 2'73710817231\cdot10^{-6}_{\underline{|90^\circ}}} = 1'48362662542\cdot10^{-3}_{\underline{|60'603656600^\circ}}$$

$$\theta = 1'48362662542\cdot10^{-3}_{\underline{|60'6036566001^\circ}} \cdot 40km = 5'93450650169\cdot10^{-2}_{\underline{|60'6036566002^\circ}}$$

$$\vec{A} = \cosh\left(5'93450650169\cdot10^{-2}_{\underline{|60'6036566002^\circ}}\right) = 0'999088499749_{\underline{|0'0863462504316^\circ}}$$

La impedancia característica $\vec{Z}_c = \sqrt{\frac{\vec{Z}_K}{\vec{Y}_K}}$

$$\vec{Z}_c = \sqrt{\frac{0'804187421572_{\underline{|31'2073132^\circ}}}{2'73710817231\cdot10^{-6}_{\underline{|90^\circ}}}} =$$

$$\vec{Z}_c = 542'041648345_{\underline{|-29'3963434001^\circ}}$$

$$\vec{B} = 542'041648345_{\underline{|-29'3963434001^\circ}} \cdot \operatorname{senh}\left(5'93450650169\cdot10^{-2}_{\underline{|60'6036566002^\circ}}\right)$$

$$\vec{B} = 32'1577162175_{\underline{|31'2360812853^\circ}}$$

Finalmente el parámetro $C = \frac{\operatorname{senh}\left(5'93450650169\cdot10^{-2}_{\underline{|60'6036566002^\circ}}\right)}{542'041648345_{\underline{|-29'3963434001^\circ}}}$

$$\vec{C} = 1'0945103779\cdot10^{-4}_{\underline{|90'0287680855^\circ}}$$

- La intensidad I_2 será $I_2 = \frac{P}{\sqrt{3}\cdot U_2\cdot\cos\varphi_2} = \frac{S}{\sqrt{3}\cdot U_2} = \frac{1\cdot10^6}{\sqrt{3}\cdot 20000} = 28'8675134595$

El coseno es inductivo luego $\cos\varphi = 0'85 i = -31'7883306171°$

$$\vec{I}_2 = 28'8675134595 \underline{|-31'7883306171°} \text{ A}$$

- La tensión $\vec{U}_{2f} = \frac{20000}{\sqrt{3}} \angle 0°$ se toma como origen de fases

$$\vec{U}_{1f} = 0'999088499749 \underline{|0'0863462504316°} \cdot \frac{20000}{\sqrt{3}} \angle 0° + 32'1577162175 \underline{|31'1577162175°} \cdot 28'8675134595 \underline{|-31'78833\text{--}°}$$

$$\vec{U}_{1f} = 12464'7263255 \underline{|0'0329518299754°}$$

$$U_1 = U_{1f} \cdot \sqrt{3} \Rightarrow U_1 = 12464'7263255 \cdot \sqrt{3} = 21589'53929$$

- La caída de tensión porcentual:

$$\Delta U\% = \frac{U_1 - U_2}{U_{2N}} \cdot 100\% \rightarrow \Delta U\% = \frac{21589'5392982 - 20000}{20000} \cdot 100 = 7'947696491\%$$

NO CUMPLE

MINIMO 6% cdt

- El rendimiento $\eta\% = \frac{\sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1} \cdot 100$

Siendo I_1

$$I_1 = 1'09451037779 \cdot 10^{-4} \underline{|90'02876808 55°} \cdot \frac{20000}{\sqrt{3}} \angle 0° + 0'999088499749 \underline{|0'0863462504316°} \cdot 28'8675134595 \underline{|-31'7883306171°}$$

$$\vec{I}_1 = 28'1970125137 \underline{|-29'5172273836°} \text{ A} \qquad \cos\varphi_1 = (\text{argumentos: } \vec{U}_{1f} - I_{1f})$$

$$\cos\varphi_1 = (0'0329518299754° - (-29'5172273836°)) = 29'5501792136° \Rightarrow 0'869924101351$$

$$\eta\% = \frac{\sqrt{3} \cdot 20000 \cdot 28'8675134595 \cdot 0'85}{\sqrt{3} \cdot 21589'5392982 \cdot 28'1970125137 \cdot 0'869924101351} \cdot 100 = 92'6681436318\%$$

- Comparamos la caída de tensión con la siguiente expresión:

$$\Delta U\% = \frac{P \cdot l \cdot (R_{eK} + X_{iK} \tan\varphi)}{U_{2L}^2} \cdot 100 \Rightarrow \frac{0'85 \cdot 40 \cdot (0'68782 + 0'4166786011 \cdot 0'6197443384)}{20^2}$$

$\Delta U\% = 8'04146\%$ Error $= 0'1\%$ ¡mirar fallo del argumento en $\vec{B}$!

2- • La potencia a transportar atendiendo la máxima caída de tensión de 6%

• La máxima potencia será despejando: (P)

$$P=\frac{\Delta U\% \cdot U_{2L}^2}{l\,(R_\theta'+X\cdot \tan\varphi)\cdot 100}=\frac{6\% \cdot 20^2}{40\cdot(0'68782+0'4166786011\cdot 0'6197443384)}=0'634\ MW$$

3-

• La potencia máxima a transportar atendiendo la máxima caída de tensión del 6% pero, suponiendo que esta potencia sea resistiva $=\boxed{\cos\varphi=1}\rightarrow \tan\varphi=0$

$$P=\frac{\Delta U\% \cdot U_{2L}^2}{l\cdot(R_\theta+X\cdot \underbrace{\tan\varphi}_{0})\cdot 100}\Rightarrow \frac{6\cdot 20^2}{40\cdot 0'68782\cdot 100}=0'87232\ MW$$

4- La longitud máxima de la línea para un máximo de 6% de cdt

$$l=\frac{\Delta U\% \cdot U_{2L}^2}{P\cdot(R_\theta+X\cdot\tan\varphi)\cdot 100}=\rightarrow l=\frac{6\cdot 20^2}{0'85\cdot(0'68782+0'4166786011\cdot 0'6197443384)\cdot 100}$$

$$l=29'8453\ km$$

5- Pérdida de potencia para la longitud máxima atendiendo a cdt max = 6%.

$$\Delta P_{\%}=\frac{P\cdot R_\theta\cdot l_{max}}{U^2\cdot\cos^2\varphi}\cdot 100\rightarrow \Delta P_{\%}=\frac{0'85\cdot 0'68782\cdot 29'8453}{20^2\cdot 0'85^2}\cdot 100=6'0377\%$$

Se supone el 3% deseable.

$\delta_{al}=50\ mm^2=4\ A/mm^2$

$\delta_{al}=70\ mm^2=3'55\ A/mm^2$ →

6- $S_{LA56}=54'6\ mm^2$

$\delta_{al}=54'6\ mm^2=3'8965\ A/mm^2$

$\delta_{L56}=\delta_{Al}\cdot(54'6)\cdot k$ siendo $\boxed{K=0'937}$ para composición 6+1

$\delta_{LA56}=3'8965\cdot 0'937=3'651\ A/mm^2$

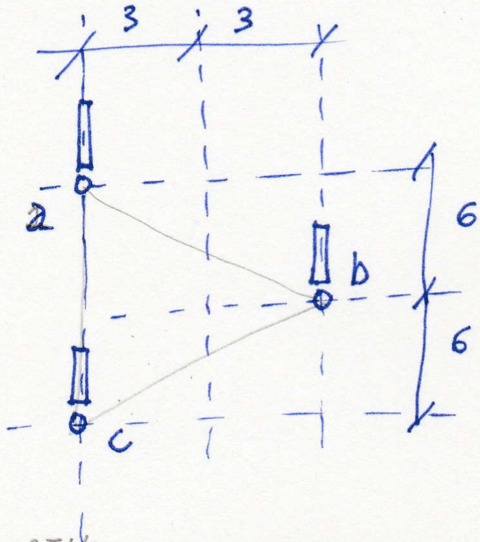
$I_{max}>I_2$

$I_{max\ adm}=\delta_{LA56}\cdot S_{LA56}=3'651\ A/mm^2\cdot 54'6\ mm^2=199'3\ A$

$199'3>28'86\ A$

¡CUMPLE!

Hallar los valores del coeficiente de autoinducción y de la capacidad por kilómetro, para una línea de tensión nominal 132 kV, a 50 Hz. El conductor empleado es el LA 380 y las distancias de separación entre fases se muestran entre fases:



$$d = \sqrt[n]{d_{ab} \cdot d_{bc} \cdot d_{ac}} \Rightarrow$$

$$d_{ab} = \sqrt{6^2 + 6^2} = 8'48528137424\,m = d_{bc}$$

$$d_{ac} = 12\,m$$

$$d = \sqrt[3]{8'48528137424^2 \cdot 12} = 9'52440631179\,m$$

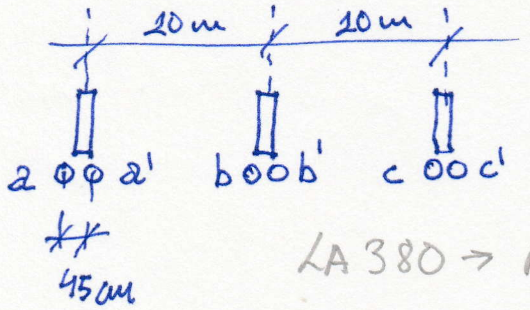
$$r_e = \frac{\emptyset}{2} \rightarrow \frac{25'4}{2} = 12'7\,mm$$

$$L_k = \left(0'5 + 2 \ln\left(\frac{9524'40631179}{12'7}\right)\right) 10^{-4}\ H/km \rightarrow L_k = 1'37400217502 \cdot 10^{-3}\ H/km$$

$$C_k = \frac{0'0556}{\ln \frac{d}{r}} \cdot 10^{-6}\ F/km \rightarrow C_k = \frac{0'0556}{\ln\left(\frac{9524'40631179}{12'7}\right)} \cdot 10^{-6} = 8'39877774355 \cdot 10^{-9}\ F/km$$

En una línea de 150 km de longitud de circuito duplex a 400 kV, 50 Hz, se emplean estructuras parecidas a los del supuesto, pero la disposición de conductores es así, se ha utilizado un conductor de composición 54 Al/7 Ac. LA 380...

a)



a) Hallar el valor de la impedancia serie de la l[ínea]

b) Hallar el valor de la admitancia paralelo de la línea

$LA\,380 \rightarrow R_{20^\circ C} = 0'0857\ \Omega/Km \quad R_{eq} = \frac{0'0857}{2} = 0'04285\ \Omega$

$\phi = 25'4\,mm$

$L_{K} = \left(\frac{0'5}{n} + 2\ln\left(\frac{d}{r}\right)\right) \cdot 10^{-4}\ H/Km.$

$r_e = R \cdot \sqrt[n]{n \cdot \frac{r}{R}}$

$r_e = \frac{450}{2} \cdot \sqrt[2]{2 \cdot \frac{\frac{25'4}{2}}{\frac{450}{2}}} \Rightarrow r_e = 75'5976190102\,mm$

$d = \sqrt[n]{d_{12} \cdot d_{23} \cdot d_{31}} \rightarrow d = \sqrt[3]{10000 \cdot 10000 \cdot (2 \cdot 10000)} = 12599'2104988\,mm$

$L_{K} = \left(\frac{0'5}{2} + 2\ln\left(\frac{12599'2104988}{75'5976190102}\right)\right) \cdot 10^{-4} = 1'04819292881 \cdot 10^{-3}\ H/Km.$

$X_{LK} = 2\pi f \cdot L_K \Rightarrow X_{LK} = 2\pi \cdot 50 \cdot (1'04819292881 \cdot 10^{-3}) = 0'32929952047\ \Omega$

$C_K = \frac{0'0556}{\ln\frac{d}{r}} \cdot 10^{-6} = \frac{0'0556}{\ln\left(\frac{12599'2104988}{75'5976190102}\right)} \cdot 10^{-6} = 1'08679406268 \cdot 10^{-8}\ F/Km$

$\frac{Z}{K} = \sqrt{R_K^2 + X_{LK}^2} \Rightarrow Z = \sqrt{0'04285^2 + 0'32929952047^2} = 0'33075739376 \underline{|82'5860621643^\circ}\ \Omega/Km.$

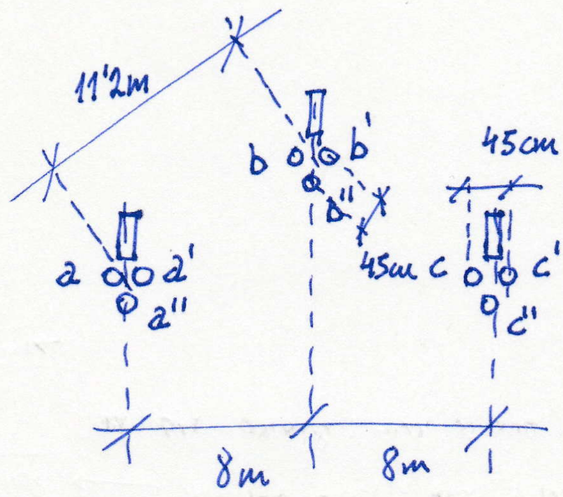
$\operatorname{arctg} = \frac{X_{LK}}{R_K} = 82'5860621643^\circ$

$Z = Z_K \cdot l \rightarrow Z = 0'33075739376 \cdot 150 = 49'613609064 \underline{|82'5860621643^\circ}\ \Omega$

B

Hallar los valores del coeficiente de autoinducción y de la capacidad, ambos por kilómetro de línea, para una línea en la que se emplean fases tríplex dispuestos según la figura. El conductor empleado es el LA380 y la tensión nominal de la línea es 400kV, a 50Hz.

Disposición Bóveda:



$\emptyset = 25'4 mm.$

PAG 59 VOL I

$$r_e = R\cdot\sqrt[n]{n\cdot\frac{r}{R}} \qquad d = \sqrt[3]{d_{12}\cdot d_{23}\cdot d_{31}} \rightarrow \quad d_1 = \sqrt{\frac{d_{ab}\cdot d_{ab'}\cdot d_{ac}\cdot d_{ac'}}{d_{aa'}}}$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{d_{ba}\cdot d_{ba'}\cdot d_{bc}\cdot d_{bc'}}{d_{bb'}}} \; ; \quad d_3 = \sqrt{\frac{d_{ca}\cdot d_{ca'}\cdot d_{cb}\cdot d_{cb'}}{d_{cc'}}}$$

→ Nos sobra con la siguiente expresión $d = \sqrt[n]{d_{ab}\cdot d_{bc}\cdot d_{ac}} \rightarrow$

$$d = \sqrt[3]{11'2\cdot 11'2\cdot(8\cdot 2)} \rightarrow d = 12'6139762609\,m$$

$$L_{k} = \frac{0'5}{n} + 2\ln\frac{d}{r_e} \rightarrow r_e = R\cdot\sqrt[n]{n\cdot\frac{r}{R}} \rightarrow r_e = \frac{450}{2}\cdot\sqrt[3]{3\cdot\frac{\frac{25'4}{2}}{\frac{450}{2}}} = 124'479166205\,mm$$

$$L_{k} = \left(\frac{0'5}{3} + 2\ln\left(\frac{12613'9762609}{124'479166205}\right)\right)\cdot 10^{-4}\,H/km \rightarrow L_{k} = 9'40351135283\cdot 10^{-4}\,H/km$$

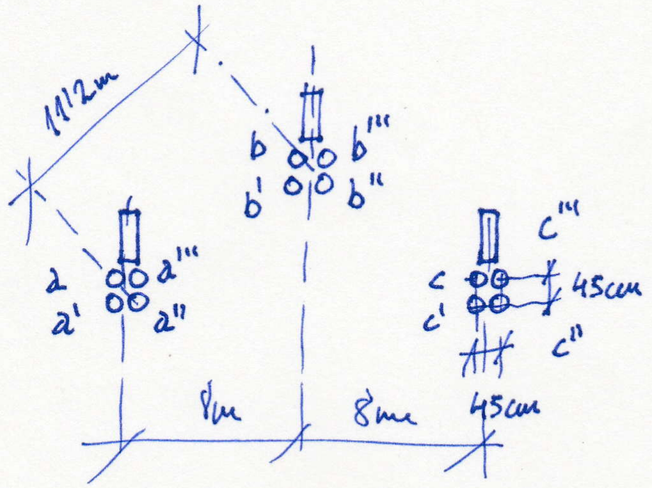
$$X_{Lk} = 2\pi\cdot f\cdot L_{k} = 2\pi\cdot 50\cdot 9'40351135283\cdot 10^{-4} =$$

$$C_k = \frac{0'0556}{\ln\frac{d}{r_e}}\cdot 10^{-6}\,F/km \rightarrow C_k = \frac{0'0556}{\ln\left(\frac{12613'9762604}{124'479166205}\right)}\cdot 10^{-6} = 1'2038743075\cdot 10^{-8}\,F/km.$$

$$X_{ck} = \frac{1}{2\pi f C_k} \rightarrow = \frac{1}{2\pi\cdot 50\cdot 1'2038743075\cdot 10^{-8}} = 264404'584599\,\Omega$$

$X = X_{Lk}\cdot l \rightarrow X_L =$ $\qquad$ $X_c = X_{ck}\cdot l \rightarrow X_c =$

Hallar los valores del coeficiente de autoinducción y de la capacidad, ambos por kilómetro de línea, para una línea de características similares a las del supuesto de la figura. Las distancias se mantienen



Conservando las distancias del anterior ejercicio $d = \sqrt[3]{11'2 \cdot 11'2 \cdot 16} = 12'6139762609$ m

$$r_e = R \cdot \sqrt[n]{n \cdot \frac{r}{R}} \rightarrow r_e = \frac{450}{2} \cdot \sqrt[4]{4 \cdot \frac{\frac{25'4}{2}}{\frac{450}{2}}} = 155'096792583 \text{ mm } ?$$

PAG 61 VOL I

$$L_K = \left(\frac{0'5}{4} + 2 \ln \left(\frac{12613'9762609}{155'096792583} \right) \right) \cdot 10^{-4} \text{ H/km} \rightarrow L_K = 8'92202262992 \cdot 10^{-4} \text{ H/km}$$ //

$$C_K = \frac{0'0556}{\ln \frac{d}{r}} \cdot 10^{-6} \text{ F/km} \rightarrow C_K = \frac{0'0556}{\ln \left(\frac{12613'9762609}{155'096792583} \right)} \cdot 10^{-6} =$$

$C_K = 1'26406404392 \cdot 10^{-8}$ F/km //

D

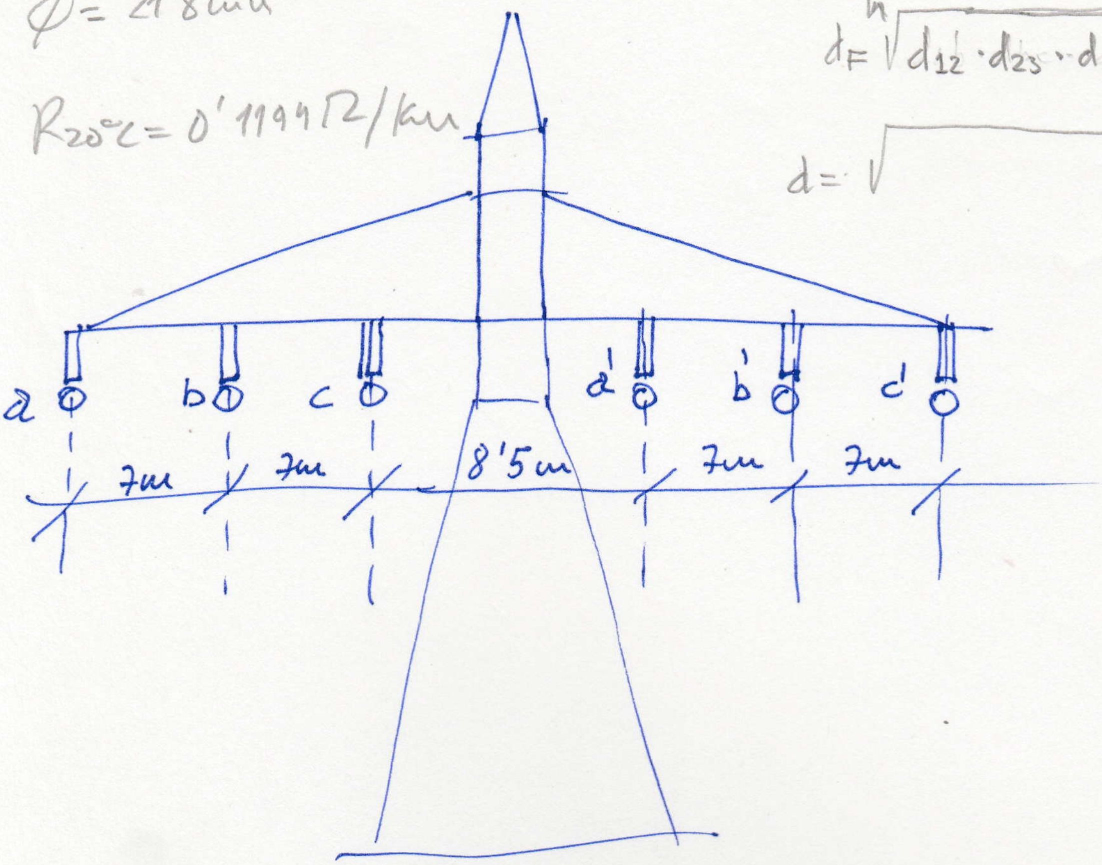
Hallar los valores del coeficiente de autoinducción y de la capacidad por kilómetro para una línea de tensión nominal 220kV, 50Hz. El conductor empleado es el LA280 y las distancias de separación entre fases se muestran en la figura:

$\phi = 21'8 \, mm$

$R_{20°C} = 0'1194 \, \Omega/km$

$d_F = \sqrt[n]{d_{12} \cdot d_{23} \cdot d_{13}}$

$d = \sqrt{}$



$$d_1 = \sqrt{\frac{d_{ab} \cdot d_{ab'} \cdot d_{ac} \cdot d_{ac'}}{d_{aa'}}} \; ; \quad d_2 = \sqrt{\frac{d_{ba} \cdot d_{ba'} \cdot d_{bc} \cdot d_{bc'}}{d_{bb'}}} \; ;$$

$$d_3 = \sqrt{\frac{d_{ca} \cdot d_{ca'} \cdot d_{cb} \cdot d_{cb'}}{d_{cc'}}} \rightarrow d_1 = \sqrt{\frac{7 \cdot 29'5 \cdot 14 \cdot 36'5}{22'5}} = 14'4373657869 \, m$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{7 \cdot 15'5 \cdot 7 \cdot 29'5}{22'5}} = 6'65261482053 \, m \quad d_3 = \sqrt{\frac{14 \cdot 8'5 \cdot 7 \cdot 15'5}{22'5}} = 5'05016806956 \, m$$

PAG 65 VOL I

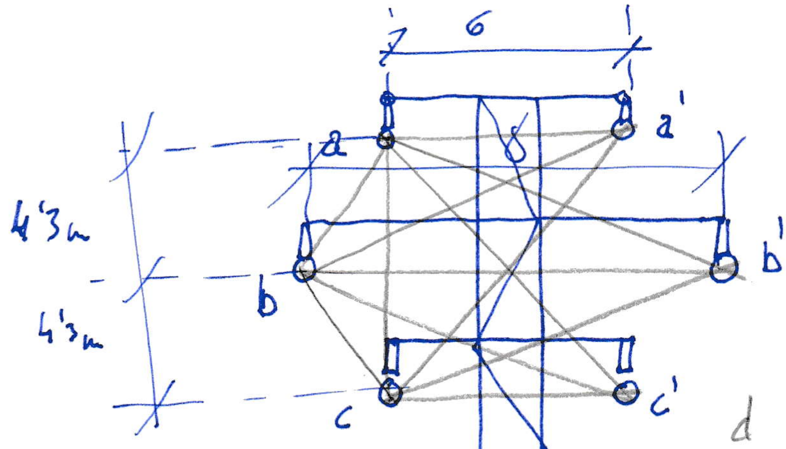
$$d_1 = \sqrt[3]{14'4373657869 \cdot 6'65261482053 \cdot 5'05016806956} = 7'85709595241 \, m$$

$$r = \frac{21'8}{2} =$$

$$L_k = \left(\frac{0'55}{2} + 2 \ln \left(\frac{7857'09595241}{\frac{21'8}{2}} \right) \right) \cdot 10^{-4} \, H/km$$

E

Hallar los valores del coeficiente de autoinducción y de la capacidad por Kilómetro para una línea de tensión nominal 132kV, a 50Hz. El conductor empleado es el LA280 y las distancias de separación entre fases se muestran en la figura 2.11.



$R_{eq} = \frac{R_{200}}{2} = \frac{0'1194}{2} = 0'0597$

$\phi = 21'8mm$

$d = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{23} \cdot d_{31}}$

d

$d_1 = \sqrt{\frac{d_{ab} \cdot d_{ab'} \cdot d_{ac} \cdot d_{ac'}}{d_{aa'}}}$

$d_2 = \sqrt{\frac{d_{ba} \cdot d_{ba'} \cdot d_{bc} \cdot d_{bc'}}{d_{bb'}}}$

$d_3 = \sqrt{\frac{d_{ca} \cdot d_{ca'} \cdot d_{cb} \cdot d_{cb'}}{d_{cc'}}}$

$d_{ab} = \sqrt{4'3^2 + 1} = 4'41474801093$

$d_{ab'} = \sqrt{4'3^2 + 7^2} = 8'21522975942$

$d_{ac} = \cancel{\sqrt{}}\ 4'3 \cdot 2 = 8'6$

$d_{aa'} = 6$

$d_{ac'} = \sqrt{(4'3 \cdot 2)^2 + 6^2} = 10'4861813831m$

$R_{eq} = \frac{\phi}{2} = 10'4mm$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4'41474801093 \cdot 8'21522975942 \cdot 8'6 \cdot 10'4861813831}{6}} = 9'53168046465m$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{4'41474801093 \cdot 8'21522975942 \cdot 4'41474801093 \cdot 8'21522975942}{8}} = 4'53352115496$$

$$d_3 = \sqrt{\frac{8'6 \cdot 10'4861813831 \cdot 8'21522975942 \cdot 4'41474801093}{6}} = 9'53168046467$$

$$d = \sqrt[3]{9'53168046465 \cdot 4'53352115496 \cdot 9'53168046467} = 8'72769473895m$$

$$L_{ek} = \left(\frac{0'5}{1} + 2\ln\left(\frac{2727'69473895}{10'4}\right)\right) \cdot 10^{-4} = \frac{1'15448986485 \cdot 10^{-3}\ H/km}{2\ \text{ternas}} =$$

F

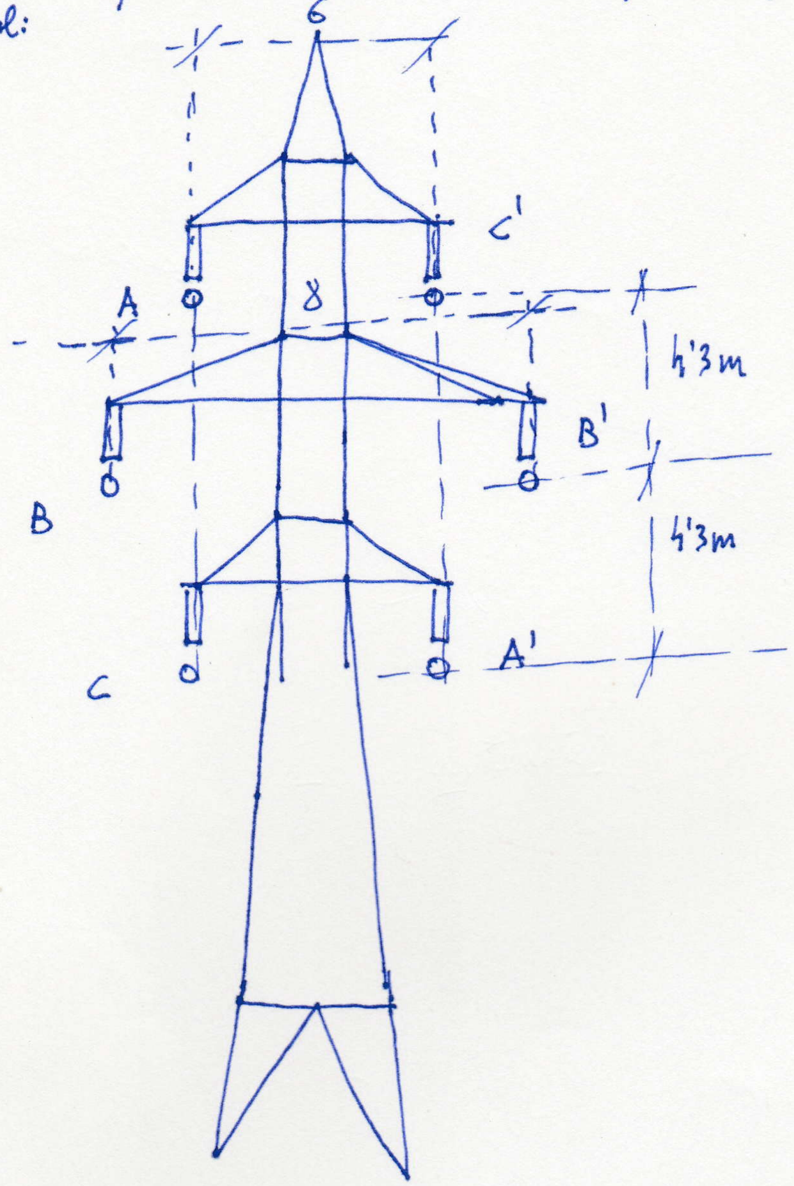
$L_{ok} = 5'77244932425 \cdot 10^{-4}\ H/Km \qquad X_{Lk} = 2\pi f L_{ok}.$

$$C_K = \frac{0'0556}{\ln\left(\frac{d}{r}\right)} \cdot 10^{-6}\ F/Km \rightarrow C_K = \frac{0'0556}{\ln\left(\frac{2727'694473895}{10'4}\right)} \cdot 10^{-6}$$

$C_k = 1'00679964152 \cdot 10^{-8}\ F/Km \cdot 2$

$C_k = 2'01359928304 \cdot 10^{-8}\ F/Km$ //

Hallar los coeficientes de autoinducción y de la capacidad, ambos por kilómetro de línea, para la línea de 80km de longitud, sec 132kV, 50Hz.
Determinar la resistencia, la reactancia de autoinducción, la susceptancia, la impedancia serie y la admitancia paralelo de la línea sabiendo que está formada por LA280 en disposición vertical:



LA280 tiene una resistencia $R_{20°C} = 0'1195\ \Omega/km$ $R_{eq} = \frac{R_{20°C}}{2} = 0'05975\ \Omega/km$

La reactancia de $X_{Lk} = 2\pi f \cdot L$ viene determinada por el coeficiente de autoinducción

$$L_{ak} = \left(\frac{0'5}{n^{o}} + 2\ln\left(\frac{d}{r_e}\right)\right) \cdot 10^{-4}\ H/Km,$$ el radio equivalente es el propio conductor:

$d = \sqrt[3]{d_1 \cdot d_2 \cdot d_3}$ siendo..

$d_2 = \frac{\sqrt{d_{ba} \cdot d_{ba'} \cdot d_{bc} \cdot d_{bc'}}}{d_{bb'}}$

$d_1 = \frac{\sqrt{d_{ab} \cdot d_{ab'} \cdot d_{ac} \cdot d_{ac'}}}{d_{aa'}}$

$d_3 = \frac{\sqrt{d_{ca} \cdot d_{ca'} \cdot d_{cb} \cdot d_{bc'}}}{d_{cc'}}$

$$d_1 = \frac{\sqrt{4'41474801093 \cdot 8'21522975942 \cdot (4'3 \cdot 2) \cdot 6}}{10'4861813831} = 4'12544025537\,m$$

siendo $dab = \sqrt{1^2 + 4'3^2} = 4'41474801093\,m$ y $dba' = \sqrt{4'3^2 + (6+1)^2} = 8'21522975942\,m$

$$daa' = \sqrt{6^2 + (4'3 \cdot 2)^2} = 10'4861813831\,m$$

$$d_2 = \frac{\sqrt{4'41474801093 \cdot 8'21522975942 \cdot 4'41474801093 \cdot 8'21522975942}}{8} = 4'53352115496\,m$$

$$d_3 = \frac{\sqrt{(4'3 \cdot 2) \cdot 6 \cdot 4'41474801093 \cdot 8'21522975942}}{10'4861813831} = 4'12544025537\,m$$

$$d_1 = \sqrt[3]{4'12544025537 \cdot 4'53352115496 \cdot 4'12544025537} = 4'2572133651\,m$$

$$r = \frac{21'8}{2} = 10'9\,mm$$

$$L_{ak} = \frac{\left(\frac{0'5}{1} + 2\ln\left(\frac{4257'21336511\,mm}{10'9\,mm}\right)\right) \cdot 10^{-4}}{2} = 6'21760729635 \cdot 10^{-4}\,H/Km$$

$$X_{Lk} = 2\pi \cdot 50 \cdot 6'21760729635 \cdot 10^{-4} = 0'195331894051\,\Omega$$

$$X_{Ck} = \frac{1}{2\pi f \cdot C_k} \rightarrow \quad \text{siendo} \quad C_k = \frac{0'05556}{\ln\frac{d}{r}} \cdot 10^{-6}\,F/Km$$

$$C_k = \frac{0'05556}{\ln\left(\frac{4'25721336511}{10'9}\right)} \cdot 10^{-6} = 9'31696695828 \cdot 10^{-9}\,F \cdot 2\,Km = 1'86339339166 \cdot 10^{-8}\,F/Km$$

$$X_{Ck} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 1'86339339166 \cdot 10^{-8}} = 170822'697777\,\Omega$$

La susceptancia será $B = \frac{1}{X_{Ck}} \rightarrow B = 5'85402299 \cdot 10^{-6}\,S/Km.$

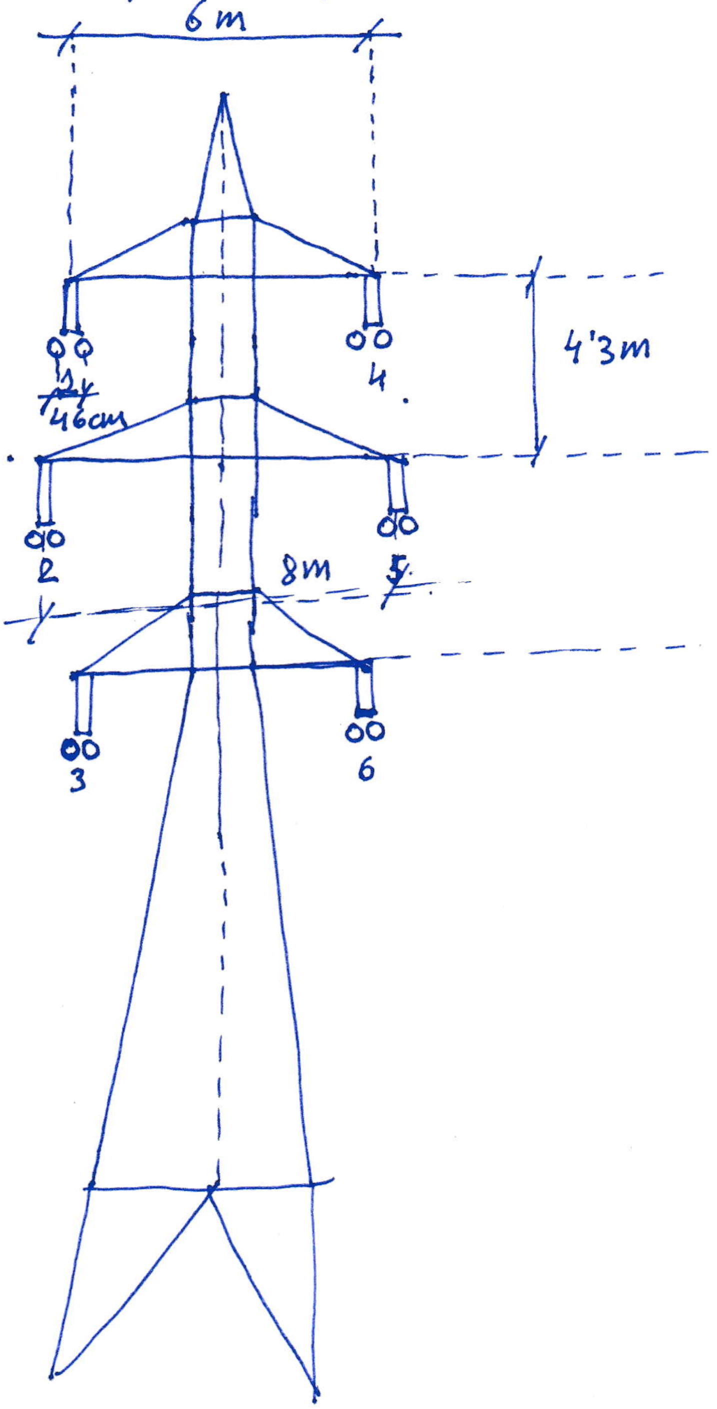
$Z_K = \sqrt{R_K^2 + X_{LK}^2} \rightarrow \quad Z = \sqrt{0'05975^2 + 0'195331894051^2} = 0'204266030378\Omega/Km$

$Z = Z_K \cdot l \rightarrow Z = 80 \cdot 0'20426603037 87 = 16'341282463 \Omega$ //

P)5.21 En la línea de 80 km de longitud de doble circuito a 132 kV, 50 Hz de la figura 2.22, se desconocen las constantes kilométricas fundamentales, así como las características eléctricas derivadas. Determinar la resistencia, la reactancia de autoinducción, la susceptancia, la impedancia serie y la admitancia paralelo de la línea sabiendo que está formada por dos LA280 en disposición vertical acoplados en paralelo:

a) Empleando el primer conjunto de expresiones del Anexo II:

b) Empleando el segundo conjunto de expresiones del Anexo II:



Primero sacamos la resistencia equivalente, en este caso, es una linea duplex pero lleva dos pares de circuits, 2 por cada lado.

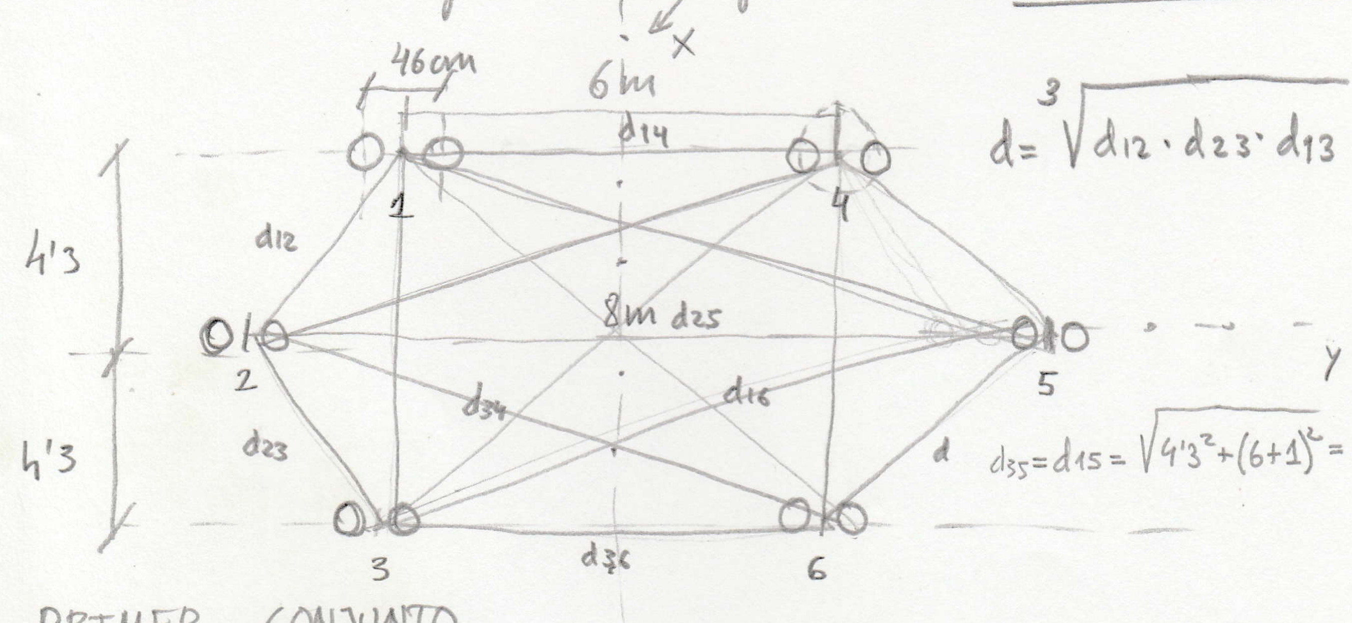
$$R_{eq} = \frac{R_{20°C}}{n°_1} \cdot \frac{1}{n°_2}$$ siendo $n°_1$ = numero de circuitos, $n°_2$ = numero de ramas

$$R_{eq} = \frac{0'1195}{2} \cdot \frac{1}{2} = 0'029875\ \Omega$$

El coeficiente de autoinducción o inductancia de la linea se calcula mediante:

$$L_{ak} = \left(\frac{0'5}{n°} + 2 \ln \frac{d}{re}\right) \cdot 10^{-4}$$ siendo n: el numero de circuitos

d: distancia media geometrica   eje de simetria, se considera simetrico.



$$d = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{23} \cdot d_{13}}$$

$$d_{35} = d_{15} = \sqrt{4'3^2 + (6+1)^2} = 8'21522975942\ m$$

PRIMER CONJUNTO

$$d_1 = \frac{\sqrt{d_{12} \cdot d_{15} \cdot d_{13} \cdot d_{14}}}{d_{16}} \ ; \ d_2 = \frac{\sqrt{d_{21} \cdot d_{26} \cdot d_{23} \cdot d_{24}}}{d_{25}} \ ; \ d_3 = \frac{\sqrt{d_{31} \cdot d_{36} \cdot d_{32} \cdot d_{35}}}{d_{34}}$$

$$d_{12} = \sqrt{1^2 + 4'3^2} = d_{23} \ ; \qquad d_{16} = d_{34} = \sqrt{6^2 + (4'3 \cdot 2)^2} = 10'4861813831\ m$$

Expresado analiticamente ... $d_{16} = d_{34} = \sqrt{d_{14}^2 + d_{13}^2}$ || $d_{12} = 4'41474801093\ m$

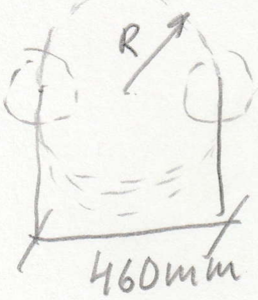
$$d_1 = \sqrt{\frac{4'41474801093 \cdot 8'21522975942 \cdot (4'3 \cdot 2) \cdot 6}{10'4861813831}} = \sqrt{\frac{1871'43753277}{10'4861813831}} = 4'12544025537\ m$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{4'41474801093 \cdot 8'21522975942 \cdot 4'41474801093 \cdot 8'21522975942}{8}} = 4'53352115496\,m$$

$$d_3 = \sqrt{\frac{(4'3-2)\cdot 6 \cdot 4'41474801093 \cdot 8'21522975942}{10'4861813831}} = 4'12544025537\,m$$

$$d = \sqrt[3]{4'12544025537 \cdot 4'53352115496 \cdot 4'12544025537} = 4'25721336511\,m$$

el radio equivalente es: $r_e = R \cdot \sqrt[n]{n \cdot \frac{r}{R}}$ siendo nº el número de conductores



$$r_e = \frac{460}{2} \cdot \sqrt[2]{2 \cdot \frac{\frac{21'8}{2}}{\frac{460}{2}}} = 70'8096038684\,mm$$

La inductancia será: $L_{ak} = \frac{0'5}{2} + 2\ln\left(\frac{4257'21336511}{70'8096038684}\right) \cdot 10^{-4}$

$L_{ak} = 8'44275089244 \cdot 10^{-4}\ H/Km$

→ Al tratarse de dos circuitos en paralelo, el valor final de L_{ak} es de:

$$L_k = \frac{8'44275089244 \cdot 10^{-4}}{2} = 4'22137544622 \cdot 10^{-4}\ H/Km$$

La capacidad kilométrica será:

$$C_k = \frac{0'0555}{\ln\frac{d}{r}} \cdot 10^{-6}\ F/km \rightarrow C_k = \frac{0'0555}{\ln\left(\frac{4'25721336511}{70'8096038684}\right)} \cdot 10^{-6}$$

$C_k = 1'35485628035 \cdot 10^{-8}\ F/km$

→ Al tratarse de dos circuitos en paralelo el valor final C_k es de:

$$C_k = 2 \cdot 1'35485628035 \cdot 10^{-8} = 2'7097125607 \cdot 10^{-8}\ F/km$$

El valor de la reactancia capacitiva X_{CK} =

$$X_{CK} = \frac{1}{2\pi f \cdot C_K} \Rightarrow X_{CK} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 2'7097125607 \cdot 10^{-8}} = 117469'982167 \ \Omega/km$$

La susceptancia será

$$B = \frac{1}{X_{CK}} = \frac{1}{117469'982167} = 8'51281307405 \cdot 10^{-6} \ S/km$$

La reactancia inductiva será:

$$X_{LK} = 2\pi f L_{AK} \rightarrow X_{LK} = 2\pi \cdot 50 \cdot 4'22137544622 \cdot 10^{-4} = 0'132618420899 \ \Omega/km.$$

SEGUNDO CONJUNTO :

$$d_1 = \sqrt[4]{d_{12} \cdot d_{15} \cdot d_{62} \cdot d_{65}} \ ; \quad d_2 = \sqrt[4]{d_{23} \cdot d_{24} \cdot d_{53} \cdot d_{54}} \ ;$$

$$d_3 = \sqrt[4]{d_{13} \cdot d_{14} \cdot d_{63} \cdot d_{64}}$$

siendo la distancia media geométrica

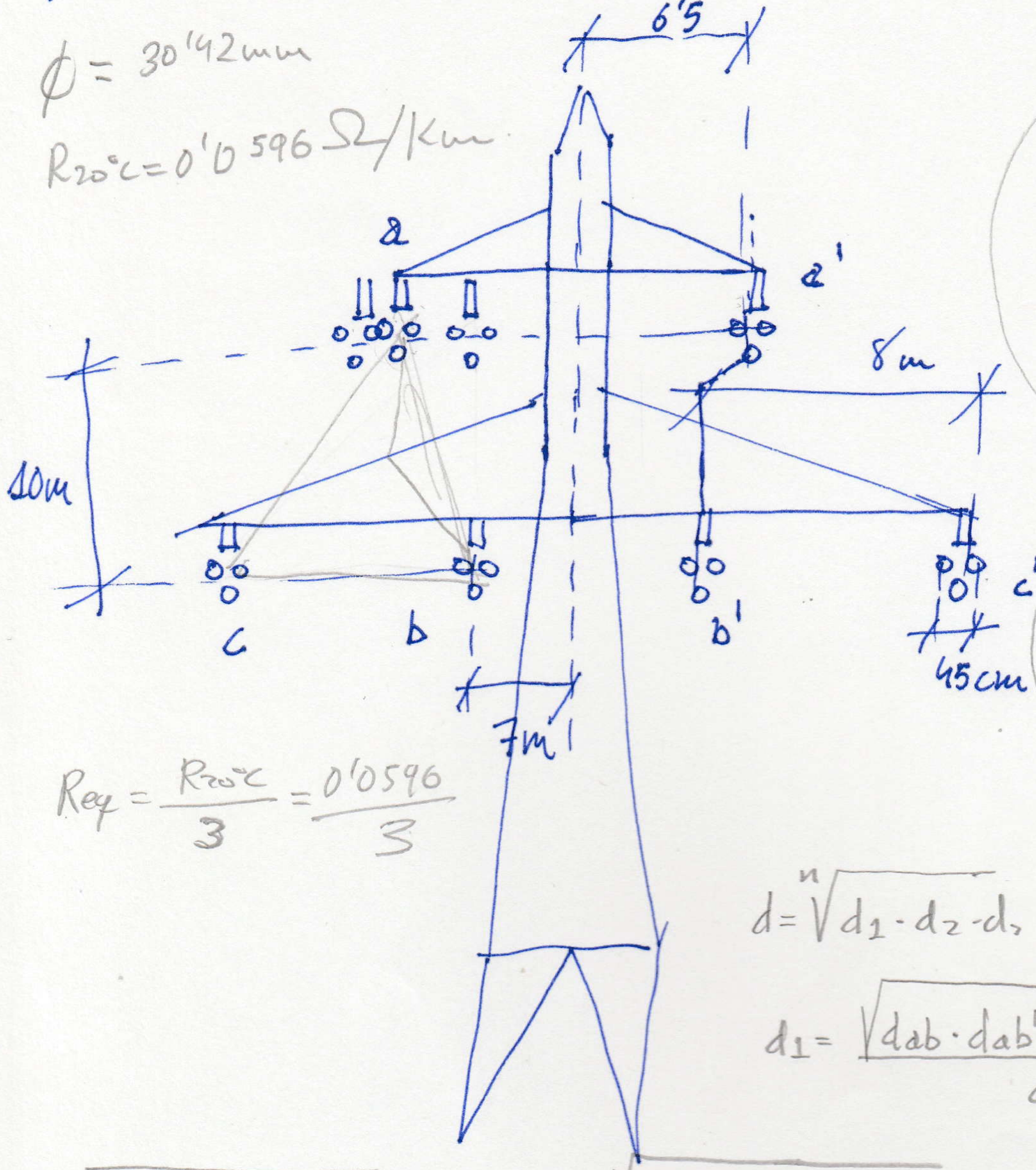
$$d = \sqrt[3]{d_1 \cdot d_2 \cdot d_3}$$

N

Hallar los valores del coeficiente de autoinducción y de la capacidad por kilómetro de una línea de tensión nominal 400kV, a 50Hz. El conductor empleado es el LA545 y las distancias de separación entre fases se muestran en la figura:

$\phi = 30'42 mm$

$R_{20°C} = 0'0596\ \Omega/Km$



$d_{ac} = \sqrt{10^2 + 8^2} = 12'806248475$

$d_{ab} = 10 \ ; \ d_{bc} = 8$

$d_{ab'} = \sqrt{(6'5 \cdot 2)^2 + 10^2} = 16'4012194669$

$d_{ac'} = \sqrt{((6'5 \cdot 2) + (8))^2 + 10^2}$

$d_{aa'} = 6'5 \cdot 2 =$

$d_{ac'} = 23'2594066992 m$

$$R_{eq} = \frac{R_{20°C}}{3} = \frac{0'0596}{3}$$

$$d = \sqrt[n]{d_1 \cdot d_2 \cdot d_3}$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{d_{ab} \cdot d_{ab'} \cdot d_{ac} \cdot d_{ac'}}{d_{aa'}}}$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{d_{ba} \cdot d_{ba'} \cdot d_{bc} \cdot d_{bc'}}{d_{bb'}}} \qquad d_3 = \sqrt{\frac{d_{ca} \cdot d_{ca'} \cdot d_{cb} \cdot d_{cb'}}{d_{cc'}}}$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{10 \cdot 16'4012194669 \cdot 12'806248475 \cdot 23'2594066992}{6'5 \cdot 2}} = 17'0021951231 m$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{10 \cdot 16'4012194669 \cdot 8 \cdot (6'5 \cdot 2 + 8)}{6'5 \cdot 2}} = 12'7687786538 m$$

$$d_3 = \sqrt{\frac{12'806248475 \cdot 23'2594066992 \cdot 8 \cdot (6'5 \cdot 2 + 8)}{(6'5 \cdot 2) + (8 \cdot 2)}} = 7'71377418831$$

$$d = \sqrt[3]{17'0021951231 \cdot 12'7687786538 \cdot 7'71377418831} = 11'8751861257 m \ ?$$

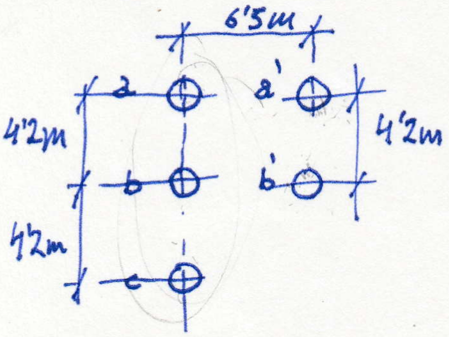
$$re = R \cdot \sqrt[n]{\frac{r}{R} \cdot n} \Rightarrow re = \frac{450}{2} \cdot \sqrt[3]{3 \cdot \frac{\frac{30'42}{2}}{\frac{450}{2}}} \rightarrow 132'191998489 \text{ mm}$$

$$L_{ak} = \frac{\left(\frac{0'5}{3} + 2\ln\left(\frac{11875'1861257}{132'191998489}\right)\right) \cdot 10^{-4} \text{ H/Km}}{2 \text{ ternos}} = 4'58128423608 \cdot 10^{-4} \text{ H/km.}$$

$$C_K = \frac{0'0556}{\ln \frac{d}{r}} \cdot 10^{-6} \text{ F/km} \rightarrow C_K = \frac{0'0556}{\ln\left(\frac{11875'1861257}{132'191998484}\right)} \cdot 10^{-6} \cdot 2 \text{ ternos}$$

$$C_K = 2'4722368564 \cdot 10^{-8} \text{ F/Km.}$$

P5.22) Encontrar el valor de la inductancia por kilómetro de línea para la línea monofásica mostrada, sabiendo que un conductor está formado por 3 filamentos idénticos y paralelos de radio 0'25cm, mientras que el otro está formado por 2 filamentos también idénticos y paralelos de radio 0'45cm.



r_K = 1° terna 0'25cm

r_K = 2 terna 0'45 cm

En el caso de conductores compuestos, siendo a la primera terna sin apostrofes, y la segunda con apostrofes:

La distancia media geométrica es: $d=\sqrt[m\cdot n]{(d_{aa'}\cdot d_{ab'}\ldots d_{am'})\cdot\ldots\cdot(d_{na'}\cdot d_{nb'}\cdot\ldots\cdot d_{nm'})}$

Donde n representa los conductores de la primera terna, y m los de la segunda terna

$$d=\sqrt[(2\cdot 3)]{6'5\cdot 7'73886296558\cdot 7'73886296558\cdot 6'5\cdot 10'6212052047\cdot 7'73886296558} = 7'69730443743\ m$$

donde $d_{ab'}=\sqrt{6'5^2+4'2^2} = 7'73886296558\,m$ | $d_{a'c}=\sqrt{(4'2\cdot 2)^2+6'5^2} = 10'6212052047$

el radio equivalente del cable en eje X es:

$$re_x=\sqrt[n^2]{d_{aa}\cdot d_{ab}\cdot\ldots\cdot d_{an})^n\cdot\ldots\cdot(d_{na}\cdot d_{nb}\cdot\ldots\cdot d_{nn})}$$

$$re_x=\sqrt[3^2]{(0'25\cdot 10^{-2}\cdot 0'7788)^3\cdot 4'2\cdot 8'4\cdot 4'2\cdot 4'2\cdot 8'4\cdot 4'2} = 0'379184344946\ m$$

radio del conductor

siendo $d_{aa_x} = d_{bb} = d_{cc} = D_{KK} = r_K\cdot e^{-\frac{1}{4}} = 0'7788\cdot r_K \rightarrow 0'7788\cdot 0'25\cdot 10^{-2}$

Y el radio equivalente por el eje Y:

$$re_y=\sqrt[m^2]{d_{a'a'}\cdot d_{a'b'}\cdot\ldots\cdot d_{a'm'})^m\cdot\ldots\cdot(d_{m'a'}\cdot d_{m'b'}\cdot\ldots\cdot d_{m'm'})}$$

$$re_y=\sqrt[2^2]{(0'45\cdot 10^{-2}\cdot 0'7788)^2\cdot 4'2\cdot 4'2} = 0'121323204705\ m$$

$$L_{xk} = 2 \cdot \ln\left(\frac{d}{r_{ex}}\right) \cdot 10^{-4}\ H/Km$$

$$L_{xk} = 2 \cdot \ln\left(\frac{7'69730443743}{0'3791843449946}\right) \cdot 10^{-4} \rightarrow L_{xk} = 6'02120597678 \cdot 10^{-4}\ H/km$$

$$L_{yk} = 2 \cdot \ln\left(\frac{7'69730443743}{0'121323204705}\right) \cdot 10^{-4} \rightarrow L_{yk} = 8'30033475142 \cdot 10^{-4}\ H/km$$

Siendo $L_K = L_x + L_y \Rightarrow 1'43215407282 \cdot 10^{-3}\ H/Km.$

$$d_{aa} = \left(r_K \cdot e^{-\frac{1}{4}}\right)^n \quad ; \quad d_{a'a'} = \left(r_K \cdot e^{-\frac{1}{4}}\right)^m$$

radio 1° terna   radio 2° terna.

→ Faltan ejercicios de hallar U_{2f} por método en π y en T y U_{10f} en π en T y U_{20f} en π y en T

→ Todos los diagramas fasoriales ($U_{2f}\angle 0°$)

→ Preguntar Regulación de voltaje y preguntar

→ Preguntar EN VACIO $U_1 = cte$ $U_2 = cte$

x   y

→ PAG 400 ICQ.   – Compensador síncrono.

ANGULO DE CARGA 369 $P = \frac{U_N^2}{X_L} \cdot \operatorname{sen} \delta$

– FASORES DE $\vec{S}_{12}$? → $\boxed{1w \angle 0°}$

– LIBRO DE FASORES Y MOTORES ASINCRONOS BUENO.

– EN S PV → U cte.

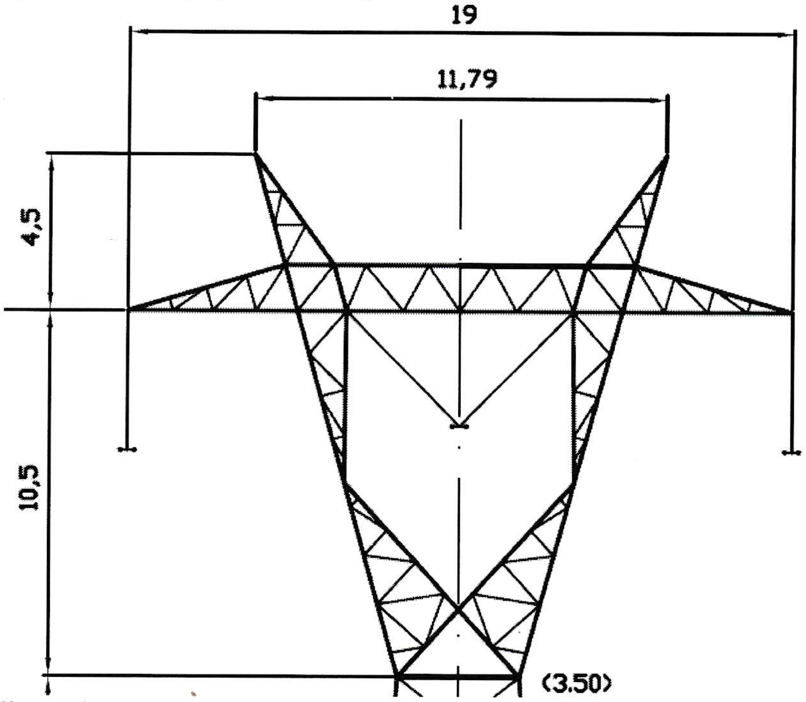
→ δ →

9

ELOY BELTRAN BETRAN 24-02-15

16

P5. Se desea proyectar una línea eléctrica de 400 kV, con una longitud de 120 km y para una potencia de 1000 MVA con factor de potencia 0,9 inductivo, por lo tanto se ha decidido construir una línea dúplex con el conductor 485-AL1/63-ST1A (antiguo LA-545 Cardinal) utilizando apoyos de la siguiente forma:



Siendo la distancia entre conductores del haz de 40 cm. Empleando el método de parámetros distribuidos, determinar:

1º) La c.d.t. y el rendimiento de la línea cuando suministra en régimen permanente una carga trifásica equilibrada de 1000 MVA con factor de potencia 0,9 inductivo a la tensión nominal.

2º) El valor máximo de la potencia activa que puede suministrar la línea suponiendo que las tensiones en sus extremos son iguales a 400 kV.

3º) Si se considera una línea con los mismos parámetros de L_K y C_K pero sin resistencia ($R_K = 0$) y 250 km de longitud calcular la nueva potencia máxima suponiendo que las tensiones en sus extremos son iguales a 400 kV.

1) Resolveremos por el método de parametros distribuidos, la caída de tensión y el rendimiento de la línea cuando suministra en régimen permanente una carga trifásica equilibrada de 1000MVA con un factor de potencia 0'9 inductivo a la tensión nominal de 400kV, calculando los parámetros A, B y C, siendo A≡D, que son los que utilizaremos para utilizar la ley de Kirchoff; para posteriormente resolver mediante $U_{1f} \cdot \sqrt{3} = U_1$, la caída de tensión porcentual, y con $\vec{I}_1$, el rendimiento de la línea.

Pero primero que todo ello, hay que determinar los parámetros de la línea. R_K, L_{dK}, C_K..

Primero sabemos que nos encontramos ante una línea dúplex trifásica cuyo conductor es LA 485-AL1/63 ST1-A, Para averiguar el parámetro R_K, nos vamos a la Normativa de Iberdrola NI 54.63.01 de Julio 2010, y nos fijamos que $R_{20°C} = 0'0596\ \Omega/Km$, pero, teniendo en cuenta que Iberdrola no suele construir torres de muy alta tensión, porque aquí tiene competencia Red eléctrica Española, y teniendo en cuenta también, que es un dato menos desfavorable que el que hay en la página 203 del libro de Antonio Fayos cuya tabla F30 muestra $R_{20°C} = 0'0597\ \Omega/Km$, se toma éste último, que es más desfavorable:

→ Teniendo en cuenta que es una línea dúplex en paralelo según la página 201 del libro A. Fayos la Resistencia equivalente es $R_{Keq} = \frac{R_K}{n}$ siendo n el número de conductores del haz:

$$R_K = \frac{0'0597}{2} = 0'02985\ \Omega/Km$$

Luego por otra parte, tenemos que hallar el coeficiente de autoinducción kilométrica para ello emplearemos: $L_{dK} = \left(\frac{0'5}{n} + 2 \ln \frac{d}{re}\right) \cdot 10^{-4}\ (H/Km)$

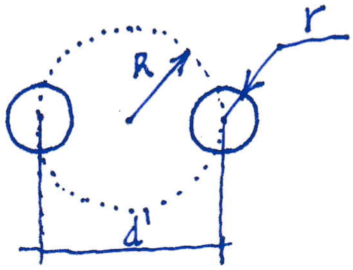
Siendo n = nº de conductores del haz

d = la distancia media geométrica entre centros de haces de conductores, dependiendo de su valor de la disposición de los conductores en la línea.

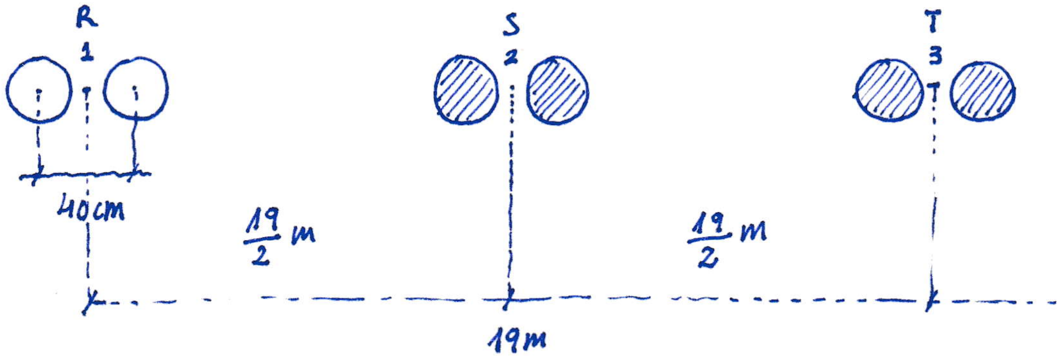
Por otro lado $r_e = R\sqrt[n]{n\cdot\frac{r}{R}}$ donde n = nº de conductores del haz.

r = el radio del conductor

R = Radio de la circunferencia que pasa por el centro de los conductores.



Tenemos la siguiente línea:



• Suponiendo simetría en la línea

d= es la distancia media geométrica $\rightarrow$ $d=\sqrt[n]{d_{12}\cdot d_{23}\cdot d_{31}}$

$$d=\sqrt[3]{\frac{19000}{2}\cdot\frac{19000}{2}\cdot 19000} = 11969'25\ mm$$

$$r_e = 200\cdot\sqrt[2]{2\cdot\frac{\frac{30'42}{2}}{200}} = 78mm$$

Suponiendo que $R=\frac{d'}{2}$ y que el diametro del conductor sea $\phi = 30'42$ mm

Tenemos todos los datos necesarios para calcular L_{ak}

$$L_{ak}=\left(\frac{0'5}{2}+2\ln\left(\frac{11969'25}{78}\right)\right)\cdot 10^{-4} \rightarrow L_{ak}= 1'031677463\cdot 10^{-3}\ H/km$$

Calculamos ahora la capacidad kilometrica C_K que viene determinada mediante la expresión:

$$C_K=\frac{0'0555}{\ln\frac{d}{r}}\cdot 10^{-6}\ F/km$$ para una línea simétrica plana

Siendo: $C_K = \dfrac{0'0555}{\ln \dfrac{11969'25}{78}} \cdot 10^{-6} \rightarrow C_K = 1'1026372 \cdot 10^{-8}\ F/km$

Una vez ya conocemos los parámetros kilométricos de nuestra línea, necesitamos saber la variación de tensión y el rendimiento de la línea a través de las leyes de kirchoff

$\vec{U}_{1f} = \vec{A} \cdot \vec{U}_{2f} + \vec{B} \cdot \vec{I}_2$ y $\vec{I}_1 = \vec{C} \cdot \vec{U}_{2f} + \vec{D} \cdot \vec{I}_2$, siendo las constantes

$\vec{A} = \vec{D} = \cosh \vec{\theta}$; $\vec{B} = \vec{Z}_c \cdot \operatorname{senh} \vec{\theta}$; $\vec{C} = \dfrac{\operatorname{senh} \vec{\theta}}{\vec{Z}_c}$

Para hallar $\vec{\theta}$ (el ángulo característico) $\vec{\theta} = \beta \cdot l$ hace falta hallar $\beta = \sqrt{\vec{Z}_K \cdot \vec{Y}_K}$ y para hallar $\vec{Z}_K = \sqrt{R_K^2 + X_{LK}^2}$ siendo $X_{LK} = 2\pi f \cdot L_{AK}$ y $\vec{Y}_K = 2\pi f \cdot C_K$.

Empezamos calculando el parámetro A:

→ Comenzamos calculando la Impedancia kilométrica $\vec{Z}_K$, haciendo la suma vectorial de R_K y X_{LK} siendo $X_{LK} = 2\pi \cdot 50 \cdot 1'031677463 \cdot 10^{-3} \rightarrow X_{LK} = 0'324111034\ \Omega/km$

$\vec{Z}_K = \sqrt{0'02985^2 + 0'324111034^2} = 0'3254826952 \underline{|84'73801339^\circ}\ \Omega/km$

Siendo el argumento $\varphi = \operatorname{arctg}\left(\dfrac{X_{LK}}{R_K}\right) \rightarrow \operatorname{arctg}\left(\dfrac{0'324111034}{0'02985}\right) = 84'73801339^\circ$

La Admitancia kilométrica será:

$\vec{Y}_K = 2\pi \cdot 50 \cdot 1'1026372 \cdot 10^{-8} = 3'464036927 \cdot 10^{-6} \underline{|90^\circ}$ S/km

Por lo que la constante de propagación es:

$$\beta = \sqrt{0'3254826952 \underline{|84'73801339^\circ} \cdot 3'464036927 \cdot 10^{-6} \underline{|90^\circ}} = 1'06183053039 \cdot 10^{-3} \underline{|87'369006695^\circ}$$

El ángulo de propagación es:

$$\vec{\theta} = 1'06183053039 \cdot 10^{-3} \angle 87'369006695^\circ \cdot 120\,km = 0'127419663646 \angle 87'369006695^\circ$$

Siendo $\vec{A}$:

$$\vec{A} = \vec{D} = \cosh\left(0'127419663646 \angle 87'369006695^\circ\right) = 0'991927396106 \angle 0'04288^\circ$$

Seguimos calculando, ahora el parámetro B:

→ Para ello comenzamos calculando la impedancia característica Z_c que es

$$\vec{Z}_c = \sqrt{\frac{\vec{Z}_k}{\vec{Y}_k}} \rightarrow \vec{Z}_c = \sqrt{\frac{0'3254826952 \angle 84'73801339^\circ}{3'464036927 \cdot 10^{-6} \angle 90^\circ}} = 306'529795371 \angle -2'630993330499^\circ\ \Omega$$

Siendo $\vec{B}$:

$$\vec{B} = 306'529795371 \angle -2'630993330499^\circ \cdot \operatorname{senh}\left(0'127419663646 \angle 87'369006695^\circ\right)$$

$$\vec{B} = 38'9527650997 \angle 84'7522474661^\circ$$

Finalmente seguimos calculando el parámetro C:

$$\vec{C} = \frac{\operatorname{senh}\left(0'127419663646 \angle 87'369006695^\circ\right)}{306'529795371 \angle -2'630993330499^\circ} = 4'14565255554 \cdot 10^{-4} \angle 90'0142340761^\circ$$

Una vez ya tenemos todos los parametros, puesto que $\vec{A} \equiv \vec{D}$, podemos aplicar la ley de kirchoff

$U_{1f} = \vec{A} \cdot \vec{U}_{2f} + \vec{B} \cdot \vec{I}_2$ Sabiendo que, la tensión de fase al final de la línea es U_{2f} y que está en el origen. $U_{2f} = \dfrac{400000}{\sqrt{3}} \angle 0°$.

Tambien, como nos dan la potencia aparente $S = 1000000000\,VA$, se puede hallar I_2

$$I_2 = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_2} \rightarrow I_2 = \frac{1000000000}{\sqrt{3} \cdot 400000} = 1443'375673 \angle -25'84193276° \; A$$

Cuyo argumento es cos(0'9) inductivo, por lo tanto en retraso, y por lo tanto negativo (En retraso respecto de la tensión, que está en el origen)

$\arccos(0'9i) = \varphi = -25'84193276°$

$$U_{1f} = 0'9919273961 06 \angle 0'042887552944° \cdot \frac{400000}{\sqrt{3}} \angle 0° + 38'9527650997 \angle 84'7522474661° \cdot 1443'375673 \angle -25'84193276°$$

$U_{1f} = 262592'203668 \angle 10'6032890053° \; V$, Siendo la tension al inicio de la linea ...

$$U_1 = U_{1f} \cdot \sqrt{3} \rightarrow U_1 = 262592'203668 \cdot \sqrt{3} = 454823'0384\,V$$

Por otro lado la intensidad $I_1 = \vec{C} \cdot \vec{U}_{2f} + \vec{D} \cdot \vec{I}_2$

$$I_1 = 4'14565255554 \cdot 10^{-4} \angle 90'0142340761° \cdot \frac{400000}{\sqrt{3}} \angle 0° + 0'9919273961 \angle 0'042887552944° \cdot 1443'375673 \angle -25'84193276°$$

$$I_1 = 1392'70434294 \angle -22'2510649773° \; A$$

La caída de tensión porcentual es:

$$\Delta U\% = \frac{U_1 - U_2}{UN} \cdot 100 \rightarrow \Delta U\% = \frac{454823'0384 - 400000}{400000} \cdot 100 = 13'70576\%$$

B

El rendiment de la línea es:

$$\eta\% = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 \rightarrow \eta\% = \frac{\sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1} \cdot 100$$

Siendo (φ_1) la resta del argument de la intensidad $\vec{I}_1$ con la tensión $\vec{U}_{1f}$

$$\varphi_1 = ((\varphi_1' + \beta) - (\alpha + \beta)) \rightarrow \varphi_1 = \text{argument}(\vec{U}_{1f} - \vec{I}_{1f})$$

Según el Diagrama fasorial

$$\varphi_1 = 10'6032890053° - (-22'2510649773°) = 32'85435398°$$

Sea el rendimiento pues:

$$\eta\% = \frac{\sqrt{3} \cdot 400000 \cdot 1443'375673 \cdot 0'9}{\sqrt{3} \cdot 454823'0384 \cdot 1392'70434294 \cdot 0'8400523306} \cdot 100 = 97'65043\%$$

B

2) El valor máximo de la potencia activa que puede suministrar la línea suponiendo que las tensiones en sus extremos son iguales a 400kV:

Siendo la expresión de la potencia máxima que puede transportar una línea en función de la tensión esta determinada por:

$$P_{MAX\ LINEA} = \frac{U_1 \cdot U_2}{Z} - \frac{U_2^2}{Z} \cdot \cos \beta_Z$$

. siendo Z, la impedancia de la línea determinada por la siguiente expresión $Z = Z_K \cdot l \rightarrow Z = 0'3254826952 \underline{|84'73801339^\circ} \cdot 120\,km$

$\vec{Z} = 39'057923424 \underline{|84'73801339^\circ}$; Y el $\cos \beta_Z$ el $\operatorname{arctg}\left(\frac{X_{LK}}{R_K}\right) = \beta_Z$

$$\varphi = \operatorname{arctg}\left(\frac{0'324111034}{0'02985}\right) \rightarrow \beta_Z = 84'73801339^\circ.$$

La potencia máxima que puede transportar será:

B

$$P_{MAX\ LINEA} = \left(\frac{400000^2}{39'057923424} - \frac{400000^2}{39'057923424} \cdot \cos 84'73801339^\circ\right) = 3720'791995\ MW$$

3) Si se considera una línea con los mismos parámetros de L_K y C_K, pero $R_K = 0\ \Omega/km$ y una longitud de 250 km calcula la nueva potencia máxima suponiendo que las tensiones en sus extremos son iguales a 400 kV.

Si $R_K = 0\ \Omega/km$ entonces $\text{arctg}\left(\frac{X_{LK}}{R_K}\right) \rightarrow \text{arctg}\left(\frac{0'324111034}{0}\right) = \infty = 90° = \beta_Z$

Y en consecuencia
$\cos 90° = 0$
se anula el 2º término

Y en consecuencia $Z_K = X_{LK}$, por lo tanto $Z = Z_K \cdot l \rightarrow Z = 0'324111034 \cdot 250\ km$

$\vec{Z} = 81'0277585\ \Omega$

Por lo tanto $P_{MAX\ LINEA} = \frac{400\,000^2}{81'0277585} = 1974'63194\ MW$

B