Problemas

5.1 Un generador monofásico de 50 Hz suministra 5.000 kW con factor de potencia 0,707 en retraso a través de una línea aérea de 20 km de longitud. La resistencia y la inductancia de la línea son 0,0195 Ω/km y 0,63 mH/km, respectivamente. La tensión en el extremo receptor se quiere mantener en el valor constante 10 kV. Se pide calcular la tensión en el extremo emisor y la caída de tensión porcentual en la línea.

5.2 Usando el modelo en π nominal de la línea, hallar la tensión en el extremo emisor y la 'regulación' $(U_{2\ \text{vacío}} - U_2)/U_2$, para una línea trifásica de 50 Hz y 250 km de longitud, que suministra 25 MVA con factor de potencia 0,8 en retraso a una carga trifásica equilibrada, a una tensión de 132 kV. Los conductores de la línea están situados formando un triángulo equilátero de 3 m de lado. La resistencia del conductor es de 0,11 Ω/km y su diámetro efectivo es de 1,6 cm. Despreciar la conductancia en derivación.

5.3 Una línea trifásica de 50 Hz tiene 400 km de longitud. La tensión en el extremo emisor es 220 kV. Los parámetros de la línea son $R_u = 0{,}125$ Ω/km, $X_u = 0{,}4$ Ω/km, $B_u = 2{,}8\ 10^{-6}$ S/km. Hallar:

(a) La corriente en el extremo emisor y la tensión en el extremo receptor con la línea en vacío.

(b) La longitud máxima que puede tener la línea para que la tensión en el extremo receptor no exceda de 235 kV cuando la misma opera en vacío.

(c) La frecuencia máxima a la que puede trabajar la línea de 400 km para que la tensión en el extremo receptor no exceda de 250 kV cuando opera en vacío.

5.4 Una línea trifásica de 50 Hz y 300 km de longitud tiene una impedancia serie total de $40 + j25\ \Omega$ y una susceptancia en derivación total de 10^{-3} S. La carga conectada al extremo receptor es de 50 MW a 220 kV con factor de potencia 0,8 en retraso (inductivo). Calcular la tensión, la corriente y el factor de potencia en el extremo emisor de la línea usando

(a) la aproximación de línea corta.

(b) el circuito equivalente en π nominal.

(c) el modelo general.

Comparar resultados y comentar.

5.5 Una línea de transmisión trifásica, a 50 Hz, 275 kV, 400 km, tiene los siguientes parámetros por fase. Resistencia 0,035 Ω/km, inductancia 1,1 mH/km, capacidad 0,012 μF/km. Si la línea está alimentada a 275 kV, determinar la potencia reactiva de la reactancia (ideal, con pérdidas despreciables) paralelo que es necesario conectar en el extremo receptor de la línea para mantener 275 kV en dicho extremo en la condición de carga nula. Usar el modelo en π nominal.

5.6 Una línea trifásica de transporte tiene los parámetros de transmisión $\vec{A} = 0,93\angle 1,5°$, $\vec{B} = 115\angle 77°$. Si la tensión en el extremo receptor es 275 kV, determinar:

(a) La tensión en el extremo emisor necesaria si la carga conectada en el extremo receptor es de 250 MW con factor de potencia 0,85 en retraso.

(b) La máxima potencia transmisible si la tensión en el extremo emisor se mantiene en 295 kV.

(c) La potencia reactiva adicional que ha de ser inyectada en el extremo receptor cuando se alimenta a una carga de 400 MVA con factor de potencia 0,8 en retraso, manteniendo la tensión en el extremo emisor en 295 kV.

5.7 Una línea de distribución tiene una resistencia serie de 3 Ω y una reactancia de 10 Ω, y alimenta una carga de 2 MW con factor de potencia 0,85 en retraso. La tensión en el extremo receptor se mantiene en 11 kV por medio de un condensador estático de 2,1 MVAr. Calcular la tensión y el factor de potencia en el extremo emisor. ¿Cuál es la 'regulación' y el rendimiento del distribuidor?

5.8 Una línea aérea trifásica tiene una resistencia y una reactancia por fase de 5 y 25 Ω respectivamente. La carga en el extremo receptor es de 15 MW, 33 kV, factor de potencia 0,8 en retraso.

(a) Hallar la potencia reactiva del equipo de compensación necesario para alimentar esa carga con una tensión en el extremo emisor de 33 kV.

(b) Calcular la carga adicional con factor de potencia 0,8 en retraso que puede ser alimentada, con el equipo de compensación anterior conectado, si se permite ahora que la tensión en el extremo receptor caiga a 28 kV (suponiendo que la tensión en el extremo emisor se mantiene en 33 kV).

5.9 Una línea trifásica de 420 kV tiene una longitud de 463 km. Se considera como línea sin pérdidas. La línea se pone en servicio con una tensión de 420 kV en su extremo emisor. Cuando la carga en el extremo receptor está desconectada, la tensión en el extremo receptor es 700 kV, y la corriente en el extremo emisor es $646\angle 90°$ A.

(a) Halle la constante de fase β en radianes por km y la impedancia característica Z_c en Ω.

(b) Se van a instalar reactancias de compensación (considérelas ideales, es decir, sin resistencia) en el extremo receptor, para mantener $U_1 = U_2 = 420$ kV. Determine el valor de la reactancia por fase necesaria, así como la potencia reactiva trifásica correspondiente.

5.10 Se desea transportar una potencia de 3.600 MW a través de cuatro líneas de transporte idénticas, de 50 Hz, a una distancia de 300 km. Para el diseño preliminar, supóngase que la constante de fase y la impedancia característica son $\beta = 9{,}46\ 10^{-4}$ rad/km y $R_c = 343\ \Omega$. Determinar la tensión nominal de la línea, basándose en el criterio de límite práctico de transmisión. Suponer $U_1 = 1$ por unidad, $U_2 = 0{,}9$ por unidad y $\delta = 36{,}87°$.

5.11 Los parámetros de transmisión $ABCD$ de una línea trifásica sin pérdidas, de 500 kV, son:

$$\vec{A} = \vec{D} = 0{,}86 + j0 \quad ; \quad \vec{B} = 0 + j130{,}2 \quad ; \quad \vec{C} = j0{,}002$$

(a) Determinar las magnitudes eléctricas en el extremo emisor y la regulación de tensión cuando la línea suministra 1.000 MVA a 500 kV con factor de potencia 0,8 en retraso.

Para mejorar el comportamiento de la línea, se han instalado condensadores serie a ambos lados de la línea. La reactancia total por fase de los condensadores serie es $X_C = 100\ \Omega$.

(b) Determinar los parámetros de transmisión del conjunto línea más condensadores.

(c) Determinar las magnitudes eléctricas en el extremo emisor y la regulación de tensión cuando la línea suministra 1.000 MVA a 500 kV con factor de potencia 0,8 en retraso.

EJERCICIOS CAP 5

1 Generador monofásico. $f=50Hz$.

$P=5000\,KW$ con $fdp = 0'707$ en retraso. $\rightarrow \delta = 0'7855$

Línea aérea de 20 Km.

$R=0'0195\,\Omega/Km = 0'0195\cdot10^{-3}\,\Omega/m$ $\quad L=0'63\,mH/Km = 0'63\cdot10^{-6}\,H/m$

$U_2 = 10KV.$

U_1 ? $\quad \frac{U_1-U_2}{U_1}$?

$Sb = 5000\,KVA$

$Ub = 10KV$

$$Zb = \frac{Ub^2}{Sb} = \frac{(10\cdot10^3)^2}{5000\cdot10^3} = 20\Omega$$

$$z = \frac{(R+X_L j)\cdot L}{Zb} = \frac{(0'0195\cdot10^{-3}\Omega + 2\cdot\pi\cdot50\cdot0'63\cdot10^{-6}\,j)\,20000m}{20\Omega} = 0'0195+0'1979j\ pu$$

$p=1$

$q = p\cdot\tan(acos(fdp)) = 1\cdot\tan(0'7855) = 1'0003_{pu}$

$u_2=1$

$s = p+qj = 1+1'0003j$

$$i = \left(\frac{s}{u}\right)^* = \left(\frac{1+1'0003}{1}\right)^* = 1-1'0003j$$

$$u_1 = u_2 + i\cdot z = 1+(1-1'0003j)(0'0195+0'1979j) = 1'2175+0'1784j = 1'2305\,\underline{|0'1455}$$

$$\boxed{U_1 = |u_1|\cdot Ub = 1'2305\cdot10KV = 12'305\ KV}$$

$$\boxed{\text{Caída de tensión} = \frac{12'305-10}{10}\cdot100 = 23'05\%}$$

2— Modelo en π nominal.

U_1? Regulación $\frac{U_{2vacío}-U_2}{U_2}$? para trifásica $f=50Hz$ $L=250Km$ $S=25$ MVA $fdp=0'8$ en retraso a carga trifásica equilibrada de 132 KV. Los conductores forman $\Delta 3m$. $R=0'11\Omega/Km$ y $diam=1'6cm$. Se desprecia la conductancia en derivación.

$R_v=R_c=0'11\cdot 10^{-3}\,\Omega/m$

$$L_v=\frac{\mu_0}{2\pi}Ln\frac{D}{re^{-1/4}}\,[H\cdot m^{-1}]=\frac{4\pi\cdot 10^{-7}}{2\pi}\cdot Ln\frac{3}{0'008m\cdot e^{-1/4}}=1'2354\cdot 10^{-6}$$

$$C_v=\frac{2\pi\cdot\varepsilon_0}{Ln\left(\frac{D}{r}\right)}=\frac{2\pi\cdot 8'8542\cdot 10^{-12}}{Ln\left(\frac{3}{0'008}\right)}=9'3864\cdot 10^{-12}$$

$$Z_v=R_v+2\pi fL_v\cdot j=0'11\cdot 10^{-3}+2\pi\cdot 50\cdot 1'2354\cdot 10^{-6}j=1'1\cdot 10^{-4}+3'8811\cdot 10^{-4}j$$

$$Y_v=2\pi f\cdot C_v j=2\pi\cdot 50\cdot 9'3864\cdot 10^{-12}j=2'9488\cdot 10^{-9}j$$

$$Z=Z_v\cdot Long=(1'1\cdot 10^{-4}+3'8811\cdot 10^{-4}j)\cdot 250\cdot 10^3=27'5+97'0275j$$

$$Y=Y_v\cdot Long=2'9488\cdot 10^{-9}j\cdot 250\cdot 10^3=7'372\cdot 10^{-4}j$$

$Sb=25MVA$

$Ub=132KV$

$$Zb=\frac{Ub^2}{Sb}=\frac{(132\cdot 10^3)^2}{25\cdot 10^6}=696'96\,\Omega$$

$$Yb=\frac{1}{Zb}=\frac{1}{696'96}=1'4348\cdot 10^{-3}S$$

$$Ib=\frac{Sb}{Ub\cdot\sqrt{3}}=\frac{25\cdot 10^6}{132\cdot 10^3\sqrt{3}}=109'3466$$

$$S_2=S\cdot fdp+j\cdot S\cdot sen(acos(fdp))=25\cdot 10^6\cdot 0'8+25\cdot 10^6\cdot sen(0'6435)j=2\cdot 10^7+1'5\cdot 10^7j$$

$$s_2=\frac{S_2}{Sb}=\frac{2\cdot 10^7+1'5\cdot 10^7j}{25\cdot 10^6}=0'8+0'6j\,pu$$

$u_2=1pu$

$$z=\frac{Z}{Zb}=\frac{27'5+97'0275j}{696'96\Omega}=0'0395+0'1392j\,pu$$

$$y=\frac{Y}{Yb}=\frac{7'372\cdot 10^{-4}j}{1'4348\cdot 10^{-3}S}=0'5138j\,pu$$

$$T=\begin{bmatrix} 1+\frac{z\cdot y}{2} & z \\ y\left(1+\frac{z\cdot y}{4}\right) & 1+\frac{z\cdot y}{2} \end{bmatrix}$$

$$i_2=\left(\frac{s_2}{v_2}\right)^*=\left(\frac{0'8+0'6j}{1}\right)^*=0'8-0'6j$$

$v_1 i_1 = T\cdot[v_2; i_2] \rightarrow$ El elemento 1 será v_1 y el 2 i_1

$$\boxed{V_1=v_1i_1(1)\cdot Vb=(1'0793+0'0978j)\cdot 132KV=143'0513\angle 0'0904\ KV}$$

$$v_{20}=\frac{v_1}{T(1)}=\frac{(1'0793+0'0978j)}{0'9642+0'0101j}=1'1203+0'0897j=1'1239\angle 0'0799$$

$$\boxed{\text{Regulación}}=\frac{v_{20}-v_2}{v_2}=\frac{1'1239-1}{1}=0'1239\rightarrow \boxed{12'39\%}$$

3 — $f=50\,Hz$ $L=400\,Km$. $U_1=220\,KV$ $R_v=0'125\,\Omega/Km$ $X_v=0'4\,\Omega/Km$ $B_v=2'8\cdot10^{-6}\,S/Km$

Hallar:

a) I_1? U_{20}?

$Ub=220\,KV$

$Sb=100\,MVA$ → Por ejemplo.

$$Zb=\frac{Ub^2}{Sb}=\frac{(220\cdot10^3)^2}{100\cdot10^6}=484\,\Omega$$

$$Yb=\frac{1}{Zb}=\frac{1}{484}=2'0661\cdot10^{-3}\,S$$

$$Ib=\frac{Sb}{Ub\cdot\sqrt{3}}=\frac{100\cdot10^6}{220\cdot10^3\cdot\sqrt{3}}=262'4319\,A$$

$v_1=1\,pu$

$$L_v=\frac{0'4\cdot10^{-3}}{2\pi\cdot50}=1'2732\cdot10^{-6}\,H/m$$

$$C_v=\frac{B_v}{2\pi f}=\frac{2'8\cdot10^{-9}\,S/m}{2\pi\cdot50}=8'9127\cdot10^{-12}\,F/m$$

$$Z_v=X_v j+R_v=0'4\cdot10^{-3}j+0'125\cdot10^{-3}$$

Esta mal pero es lo que le sale a Vicente.

$$z_v=\frac{Z_v}{Zb}=\frac{0'125\cdot10^{-3}+0'4\cdot10^{-3}j}{484}=2'5826\cdot10^{-7}+9'6783\cdot10^{-7}j$$

$$y_v=\frac{Y_v}{Yb}=\frac{2i\cdot\pi\cdot50\cdot8'9927\cdot10^{-12}}{2'0661\cdot10^{-3}}=1'3674\cdot10^{-6}j$$

$$\begin{pmatrix}U_1=220\,KV\\ I_1\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}\cosh(\vec{\gamma}L) & \vec{Z_c}\cdot\operatorname{Senh}(\vec{\gamma}L)\\ \frac{\operatorname{Senh}(\vec{\gamma}L)}{Z_c} & \cosh(\vec{\gamma}L)\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\vec{U_2}\\ 0\end{pmatrix}$$

→ Circuito abierto.

$$\vec{U_1}=\vec{U_2}\cdot\cosh(\vec{\gamma}L)\rightarrow\vec{U_2}=\frac{\vec{U_1}}{\cosh(\vec{\gamma}L)}$$

$$\vec{I_1}=\frac{\operatorname{Senh}(\vec{\gamma}L)}{\vec{Z_c}}\vec{U_2}$$

b) Longitud máxima para que el extremo no exceda los 235KV en vacío.

$$\frac{\vec{U_1}}{\vec{U_2}} = \cosh(\vec{\gamma} L)$$

c) Frecuencia máxima a la que puede trabajar la línea de 400Km para que no exceda 250KV.

$$\vec{U_1} = \cosh(\vec{\gamma} L) \cdot \vec{U_2} = \cosh\left(\sqrt{\vec{Z_0} \cdot \vec{Y_0}}\, L\right) \cdot \vec{U_2} = \cosh\left(\sqrt{(R_u + j\,2\pi f L_u) \cdot (j\,2\pi f C_u)}\, L\right) \vec{U_2}$$

4 $f = 50\ Hz$ $L = 300 km$ $z_1 = 40 + j25 \Omega$ $B = 10^{-3} S$

$P = 50 MW$ $V_2 = 220 KV$ con fdp $= 0'8$ en retraso

U_1, I_1 y fdp.

a) Aproximación de línea corta. → Modelo dipolar

$$\begin{pmatrix} \vec{U_1} \\ \vec{I_1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & z \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{U_2} \\ \vec{I_2} \end{pmatrix} \qquad \begin{cases} \vec{U_1} = \vec{U_2} + \vec{z}\,\vec{I_2} \\ \vec{I_1} = \vec{I_2} \end{cases}$$

Bases:

$Sb = 50 MVA$ $\quad zb = \dfrac{Ub^2}{Sb} = 968 \Omega$ $\quad Yb = \dfrac{1}{Zb} = 1'0331 mS$ $\quad Ib = \dfrac{Sb}{Ub\sqrt{3}} = 131'2160\ A$

$Ub = 220 KV$

$\vec{s_1} = \vec{v_1} \cdot conj(\vec{i_1})$ → Si imag $s_1 > 0$ → retraso

fdp corta $= \cos(angle(s_1))$ imag $s_1 < 0$ → adelanto

Todo el rato igual.

b) Circuito equivalente en π nominal. → Media

$$\begin{pmatrix} \vec{U_1} \\ \vec{I_1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 + \frac{z'y'}{2} & z' \\ y'\left(1 + \frac{z'y'}{4}\right) & 1 + \frac{z'y'}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{U_2} \\ \vec{I_2} \end{pmatrix}$$

$$\vec{v_1} = \left(1 + \frac{z \cdot y}{2}\right) u_2 + z \cdot i_2$$

$$i_1 = y\left(1 + \frac{zy}{4}\right) \cdot u_2 + \left(1 + \frac{z \cdot y}{2}\right) i_2$$

c) Modelo general. → Larga.

$$\begin{pmatrix} \vec{U_1} \\ \vec{I_1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cosh(\vec{\gamma} l) & z_c \cdot \operatorname{senh}(\vec{\gamma} l) \\ \frac{1}{z_c} \operatorname{Senh}(\vec{\gamma} l) & \cosh(\vec{\gamma} l) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \vec{U_2} \\ \vec{I_2} \end{pmatrix}$$

$$v_1 = v_2 \cdot \cosh(\vec{\gamma} l) + z_c \cdot \operatorname{senh}(\vec{\gamma} l) \cdot i_2$$

$$i_1 = \frac{1}{z_c} \operatorname{senh}(\vec{\gamma} l) \cdot v_2 + \cosh(\vec{\gamma} l) \cdot i_2$$

5- $f = 50\ Hz$

$U = 275\ KV$

$L_{long} = 400\ Km$

$R_u = 0'035\ \Omega/Km$

$L_u = 1'1\ mH/Km$

$C_u = 0'012\ \mu F/Km$

$V_1 = 275\ KV$

Q? Para que la línea tenga 275KV sin carga) Idial y con pérdidas despreciables. → Paralelo.

Modelo π nominal.

$$\begin{pmatrix} v \\ i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \overset{a}{1+\frac{z\cdot y}{2}} & \overset{b}{z} \\ \overset{c}{y\left(1+\frac{z\cdot y}{4}\right)} & \overset{d}{1+\frac{z\cdot y}{2}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_2 \\ i_2 \end{pmatrix}_{y_1}$$

$$v_1 = (a + b\cdot y_1)\cdot v_2$$

$$q_e = (v_2)^2 \cdot y_1$$

6 — $\vec{A} = 0'93 \angle 1'5^\circ$ $\vec{B} = 115 \angle 77^\circ \Omega$ $U_2 = 275\,KV$

a) U_1 si la P de la carga es $P = 250\,MW$ con fdp 0'85 en retraso.

$$\begin{pmatrix} \vec{U_1} \\ \vec{I_1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \vec{A} & \vec{B} \\ \vec{C} & \vec{D} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \vec{U_2} \\ \vec{I_2} \end{pmatrix} \qquad \vec{U_1} = \vec{A}\vec{U_2} + \vec{B}\vec{I_2}$$

$$\vec{I_2} = \left(\frac{\vec{S_2}}{\vec{U_2}} \right)^*$$

$$|\vec{A}| = |\vec{A}| \cdot \cos(\overset{1'5}{\alpha}) + j|\vec{A}| \cdot sen(\alpha)$$

Si no nos dicen nada, usamos el modelo general de la línea.

$$\begin{pmatrix} \vec{A} & \vec{B} \\ \vec{C} & \vec{D} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cosh(\vec{\gamma}L) & \vec{Z_c}\, senh(\vec{\gamma}L) \\ \frac{1}{\vec{Z_c}} senh(\vec{\gamma}L) & \cosh(\vec{\gamma}L) \end{pmatrix}$$

$[\vec{\gamma}] = \frac{rad}{m}$ $[\vec{\gamma}\vec{L}] = rad \rightarrow [\vec{A}] = [\vec{\gamma}L] = rad \rightarrow \vec{A}$ no hay que convertirlo a pu

$\vec{B} = \vec{Z_c} \cdot sen(\vec{\gamma}L) \rightarrow [\vec{Z_c}] = \Omega \rightarrow \vec{B}$ si que hay que convertirlo a pu.

b) Máxima potencia transmisible su $U_1 = 295\,KV$.

$$P_2 = \frac{U_1 \cdot U_2}{Z} \cdot \cos(\theta - \delta) - \frac{U_2^2}{Z} \cos(\theta) - \frac{Y}{2} U_2^2 \cos(-\Psi)$$

No aparece en el libro.

(Pág 121)

$$\begin{cases} \vec{Z} = \vec{Z_c} \cdot senh(\vec{\gamma}L) \\ \frac{\vec{Y}}{2} = \frac{1}{\vec{Z_c}} \tanh\left(\frac{\vec{\gamma}L}{2}\right) \end{cases}$$

c) Potencia reactiva para $S_2 = 400\,MVA$ con fdp $= 0'8$ retraso y $U_1 = 295\,KV$?

Iteramos la ecuación $\vec{U_1} = \vec{A} \cdot \vec{U_2} + \vec{B} \cdot \vec{I_2}$

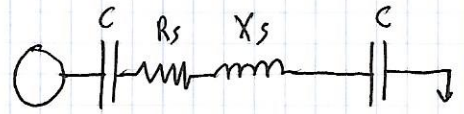
Nos da 400 KV en vez de 195 KV. Colocamos una carga capacitiva en el extremo receptor.

7— Resistencia serie $=3\Omega$ $X_s=10\Omega$ Carga $P_2=2$ MW $fdp_2=0'8$ en retraso.
$U_2=11KV$ $q_C=2'1MVAr$. U_1? fdp_1? Regulación y rendimiento?

$0'95 \leq U_2 < 1'05$

Para solucionarlo, banco de condensadores en serie.

$$P_2=\frac{U_1 \cdot V_2}{Z} \cos(\theta-\delta)$$



$z=R_s+X_s j$

$q_2=p_2 \cdot \tan(\text{acos}(fdp_2))$.

$s_2=p_2+(q_2-q_c)\cdot j$

$$i_2=\left(\frac{s_2}{u_2}\right)^*$$

$v_1=u_2+i_2 \cdot z$

$\boxed{V_1=v_1 \cdot Ub=10'9572\ KV}$

$s_1=v_1 \cdot i_2^*$

$fdp=\cos(\text{angle}(s_1))$ (En adelanto si es negativo)

$u_{20}=v_1$

$$\text{Regulación}=\frac{u_{20}-u_2}{u_2} \qquad \text{Rendimiento}=\frac{\text{real}(s_2)}{\text{real}(s_1)}$$