

Problemas

2.1 Una carga trifásica de 10 MVA, con una tensión nominal (entre líneas) de 20 kV, ha de ser alimentada por un banco de transformadores monofásicos. La tensión (entre líneas) de suministro es de 132 kV. Se dispone de varios transformadores monofásicos, pero todos tienen devanados con tensiones nominales por debajo de 100 kV y corrientes nominales por debajo de 250 A.

- ¿Es posible alimentar la carga utilizando sólo tres transformadores monofásicos?
- Si es así, especifique las conexiones trifásicas en el lado de baja y en el lado de alta de los transformadores monofásicos.

2.2 Dibujar el circuito equivalente por fase del sistema cuyo esquema unifilar se muestra en la Figura 2.12. Los valores nominales (potencias trifásicas y tensiones entre líneas) se dan a continuación.

Generador:	30 MVA;	13,8 kV;	$X_S = 0,10$ p.u.
Motor:	20 MVA;	13,8 kV;	$X_S = 0,08$ p.u.
T1:	20 MVA;	13,2/132 kV;	$X_{cc} = 0,10$ p.u.
T2:	15 MVA;	138/13,8 kV;	$X_{cc} = 0,12$ p.u.
Línea:	$20 + j 100 \Omega$		

Escoja los valores nominales del generador como valores base en la parte del generador.

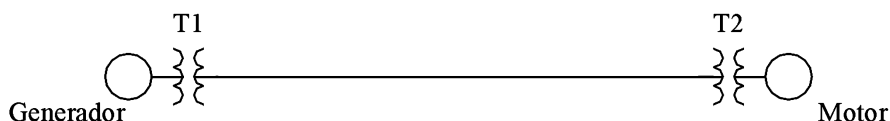


Figura 2.12 Esquema unifilar para el Problema 2.2.

2.3 Para el sistema del problema anterior, y considerando que la tensión en el motor es 13,2 kV cuando éste consume 15 MW con un factor de potencia de 0,85 en adelanto, obtener:

- La corriente en el motor, la corriente en la línea de transmisión, la tensión en terminales del generador, la tensión en el extremo

emisor de la línea de transmisión y la potencia compleja que suministra el generador en tanto por unidad.

(b) Los valores reales de las cantidades por unidad obtenidas en (a).

2.4 El esquema unifilar de un sistema trifásico de potencia se muestra en la Figura 2.13. Los datos suministrados por los fabricantes para cada una de las máquinas son los siguientes:

G:	90 MVA	22 kV	$X = 18 \%$
T1:	50 MVA	22/220 kV	$X = 10 \%$
T2:	40 MVA	220/11 kV	$X = 6,0 \%$
T3:	40 MVA	22/110 kV	$X = 6,4 \%$
T4:	40 MVA	110/11 kV	$X = 8,0 \%$
M:	66,5 MVA	10,45 kV	$X = 18,5 \%$

La carga trifásica del nudo 4 absorbe 57 MVA, con factor de potencia 0,6 en retraso, a una tensión de 10,45 kV. Las líneas 1 y 2 tienen reactancias de 48,4 y 64,43 Ω , respectivamente. El motor funciona a plena carga con factor de potencia 0,8 en adelanto, a la tensión de 10,45 kV en sus terminales. Se pide:

- Dibuje el circuito equivalente por fase, indicando los valores de las impedancias por unidad, utilizando una potencia base común de 100 MVA y una tensión de 22 kV en el lado del generador.
- Determine la tensión en el nudo del generador (nudo 1).
- Determine las 'fem' internas del generador y del motor.

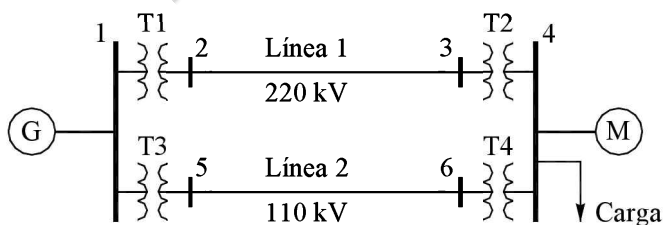


Figura 2.13 Esquema unifilar para el Problema 2.4.

2.5 Tres transformadores monofásicos idénticos de 9 MVA, 7,2/4,16 kV se conectan en estrella por el lado de alta tensión y en triángulo por el de baja. La impedancia de cortocircuito de cada transformador referida al lado de alta es $0,12 + j 0,82 \Omega$. El transformador trifásico

formado alimenta una carga trifásica equilibrada de 18 MVA, factor de potencia 0,8 en retraso, a una tensión de 4,16 kV (línea-línea). Determinar la tensión (línea-línea) en los terminales de alta tensión del transformador.

- 2.6** Un transformador trifásico estrella-triángulo de 400 MVA, 240/24 kV tiene una impedancia serie equivalente de $1,2 + j 6 \Omega$ por fase, referida al lado de alta tensión. El transformador alimenta, por su lado de baja tensión, una carga trifásica de 400 MVA y factor de potencia 0,8 en retraso, a una tensión en terminales de 24 kV (línea-línea). El primario está conectado a una línea de $0,6 + j 1,2 \Omega$ por fase. Determine la tensión (línea-línea) en los terminales de alta tensión del transformador y en el extremo emisor de la línea.

- 2.7** Considerar el sistema trifásico de la Figura 2.14. Desde el nudo de generación (nudo 1) la energía eléctrica es transformada a 230 kV (nudo 2) por dos transformadores trifásicos idénticos en paralelo, T1 y T2. Desde este nudo parte una línea de 230 kV y 50 km que termina en el nudo 3. Un tercer transformador T3 transforma la energía alimentando un nudo de 69 kV de una subestación (nudo 4). Se quiere mantener este último nudo a una tensión exactamente de 69 kV. ¿A qué tensión ha de mantenerse el nudo 1 si la carga del sistema es la indicada en la figura?

Datos del sistema:

T1 y T2: 150 MVA, YY, 23/230 kV

T3: 150 MVA, YY, 230/69 kV

Todos los transformadores tienen impedancias de dispersión de $j 0,1$ p.u. basadas en sus respectivos valores nominales. La línea tiene una

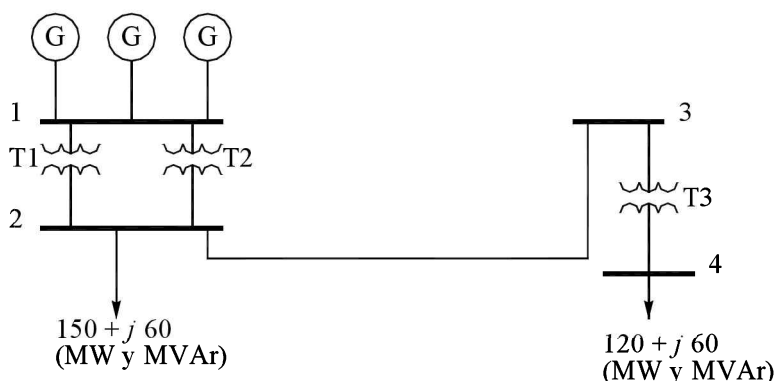


Figura 2.14 Esquema unifilar para el Problema 2.7.

reactancia de 60Ω por fase. (Se desprecian todas las resistencias y todas las corrientes de magnetización.)

- 2.8** Un transformador monofásico de 40 MVA, 20/400 kV tiene las siguientes impedancias serie:

$$\vec{Z}_1 = 0,9 + j1,8 \Omega \text{ y } \vec{Z}_2 = 128 + j288 \Omega.$$

Haciendo uso de los valores nominales del transformador como base, determine el valor por unidad de la impedancia del transformador a partir del valor óhmico referido al lado de baja tensión. Determinar también el valor por unidad de la impedancia a partir del valor óhmico referido al lado de alta tensión.

- 2.9** El esquema unifilar de un sistema eléctrico trifásico se muestra en la Figura 2.15. La reactancia del transformador es del 20 % referida a una base de 100 MVA y 23/115 kV. La impedancia de la línea es $\vec{Z} = j66,125 \Omega$. La carga en el nudo 2 es $\vec{S}_2 = 184,8 \text{ MW} + j 6,6 \text{ MVAR}$ y en el nudo 3 es $\vec{S}_3 = 0 \text{ MW} + j20 \text{ MVAR}$. Se quiere mantener la tensión en el nudo 3 a 115 kV. Trabajando en el sistema por unidad, determine la tensión en los nudos 2 y 1.

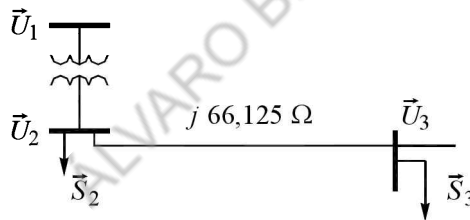


Figura 2.15 Esquema unifilar para el Problema 2.9.

- 2.10** El esquema unifilar de un sistema de energía eléctrica trifásico se muestra en la Figura 2.16. Las impedancias están indicadas en tanto por unidad sobre una base de 100 MVA y 400 kV. La carga en el nudo 2 es $\vec{S}_2 = 15,93 \text{ MW} - j33,4 \text{ MVAR}$ y en el nudo 3 es $\vec{S}_3 =$

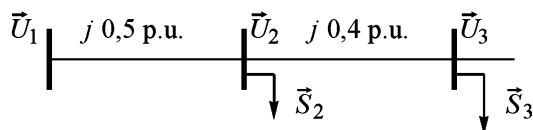


Figura 2.16 Esquema unifilar para el Problema 2.10

77 MW + $j14$ MVar. Se quiere mantener la tensión del nudo 3 en 400 kV. Trabajando en el sistema por unidad, determine la tensión en los nudos 2 y 1.

- 2.11** Dibuje el esquema por fase del sistema de energía eléctrica mostrado en la Figura 2.17 indicando todas las impedancias en valores por unidad sobre una base de 100 MVA y 132 kV en la zona correspondiente a la línea que interconecta el transformador T1 con el T2. Los datos necesarios son los siguientes:

G1: 50 MVA; 12,2 kV; $X = 0,15$ pu

G2: 20 MVA; 13,8 kV; $X = 0,15$ pu

T1: 80 MVA; 12,2/161 kV; $X = 0,1$ pu

T2: 40 MVA; 13,8/161 kV; $X = 0,1$ pu

Carga: 50 MVA, factor de potencia 0,8 en retraso, funcionando a 154 kV.

Además, se pide:

- Trabajando en el sistema por unidad, con la carga indicada y el generador G2 fuera de servicio, calcule la tensión (en kV) que debe haber en terminales del generador G1.
- Determine la impedancia por unidad de la carga considerándola modelada por una combinación de resistencia e inductancia en serie.

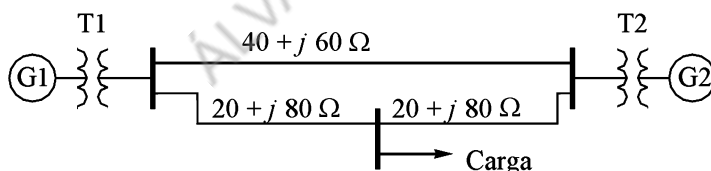


Figura 2.17 Esquema unifilar para el Problema 2.11.

- 2.12** Considere el esquema unifilar de la Figura 2.18. Los valores nominales de los componentes son los siguientes:

Generador 1: 750 MVA 18 kV $X_S = 0,20$ p.u.

Generador 2: 750 MVA 18 kV $X_S = 0,20$ p.u.

Motor 3: 1.500 MVA 20 kV $X_S = 0,20$ p.u.

T1, T2, T3, T4: 750 MVA 500/20 kV $X_{cc} = 0,10$ p.u.

T5: 1.500 MVA 500/20 kV $X_{cc} = 0,10$ p.u.

Despreciando la resistencia, los desfases de los transformadores y las reactancias de magnetización, dibujar el esquema de reactancias por

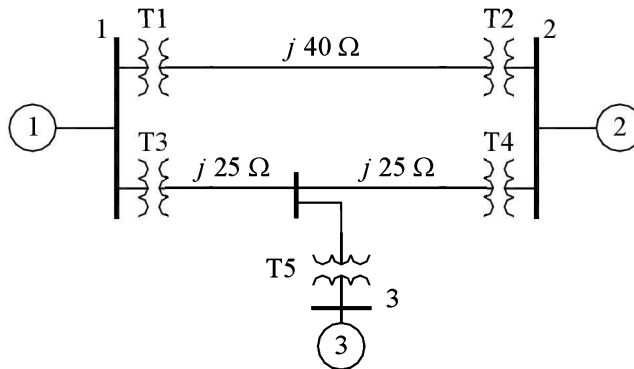


Figura 2.18 Esquema unifilar para el Problema 2.12.

fase, indicando los valores de las reactancias por unidad sobre una base de 100 MVA y 500 kV en el lado de la línea de 40 Ω .

- 2.13** Para el sistema del problema anterior, el motor absorbe una potencia de 1.200 MW con factor de potencia 0,8 en adelante con la tensión en el nudo 3 a 18 kV. Determine las tensiones en kV en los nudos 1 y 2. Suponga que los generadores 1 y 2 suministran iguales potencias activas e iguales potencias reactivas.
- 2.14** La Figura 2.19 muestra una parte del esquema unifilar de un sistema de energía eléctrica donde aparece un transformador regulador junto con sus datos nominales y el desvío de relación 1:0,9. La reactancia de cortocircuito del mismo es de 0,4 Ω , referida al lado de 20 kV. Dibuje de nuevo la figura, sustituyendo el símbolo del transformador por su circuito equivalente por unidad, indicando claramente en el mismo los valores numéricos de los elementos que forman parte de dicho circuito equivalente.

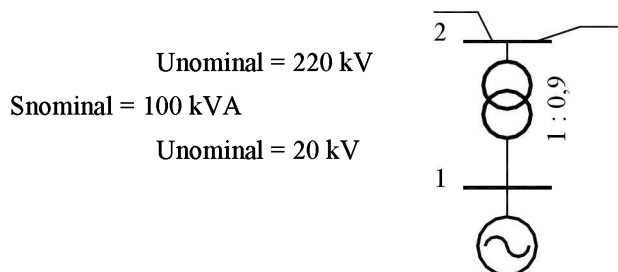


Figura 2.19 Esquema unifilar para el Problema 2.14.

EJERCICIOS CAPÍTULO 2.

1 Carga trifásica 10MVA con 20KV entre líneas, se alimenta con traf monofásicos.

La tensión de suministro es 132 KV

Tenemos varios traf monofásicos con tensiones nominales $< 100KV$ y $I_n < 250A$.

a) ¿Es posible alimentar la carga utilizando solo tres transformadores monofásicos?

$$S = 10 \cdot 10^6 VA$$

$$U = 20 \cdot 10^3 V$$

$$U_L = 132 \cdot 10^3 V$$

Para que puedan conectarse a 132 KV, los devanados de AT deben estar conectados en Δ .

$$U_{AT} = \frac{U_L}{\sqrt{3}} = \frac{132 KV}{\sqrt{3}} = 76'2102 KV \rightarrow \text{Tensión que recibirán los devanados de AT.}$$

$$I_{CARGA} = \frac{S}{\frac{U}{\sqrt{3}}} = \frac{10 \cdot 10^6}{\frac{20 \cdot 10^3}{\sqrt{3}}} = 288'6751 A$$

Si la tensión nominal en el lado de BT es 20 KV y se conecta en Δ , la corriente en cada transformador sería de

$$\frac{I_{CARGA}}{\sqrt{3}} = \frac{288'6751}{\sqrt{3}} = 166'6667 A$$

2- Dibujar el circuito equivalente base-neutro. Valores nominales:

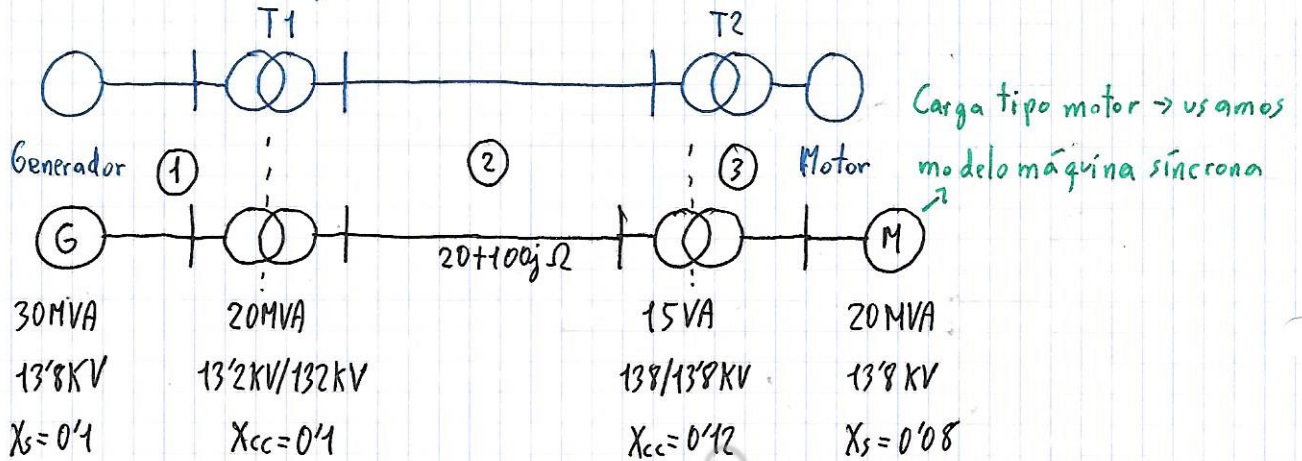
Generador: 30 MVA 13.8 kV $X_s = 0.1 \text{ pu}$

Motor: 20 MVA 13.8 kV $X_s = 0.08 \text{ pu}$

T1: 20 MVA 13.2/132 kV $X_{cc} = 0.1 \text{ pu}$

T2: 15 MVA 138/13.8 kV $X_{cc} = 0.12 \text{ pu}$

Línea $20 + j100 \Omega$



$S_B = 30 \text{ MVA} \rightarrow$ Vicente lo hace con 100

$V_{B1} = 13.8 \text{ kV}$

$V_{B2} = 13.2 \text{ kV}$

$V_{B3} = 13.8 \text{ kV}$

GENERADOR:

$Z_B = Z_{W6} = j \cdot 0.1$

\rightarrow Dentro del mismo subsistema.

TRANSFORMADOR 1:

$$Z_{T1} = Z_N \left(\frac{V_W}{V_B} \right)^2 \cdot \frac{S_B}{S_W} = j \cdot 0.1 \cdot \left(\frac{13.2}{13.8} \right)^2 \cdot \frac{30}{20} = j \cdot 0.1372$$

TRANSFORMADOR 2:

$$Z_{T2} = 0.12 j \cdot \frac{30}{15} = j \cdot 0.24$$

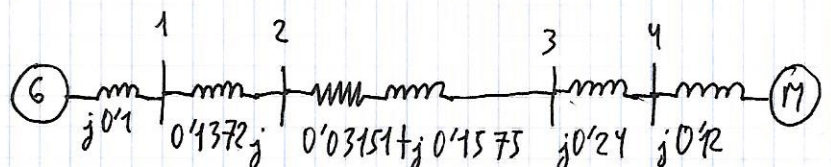
MOTOR:

$$Z_M = j \cdot 0.08 \cdot \frac{30}{20} = j \cdot 0.12$$

LÍNEA

$$Z_B = \frac{V_B^2}{S_B} = \frac{138 \text{ kV}^2}{30 \text{ M}} = 634.8 \Omega$$

$$Z_L = 0.03151 + j \cdot 0.1575$$



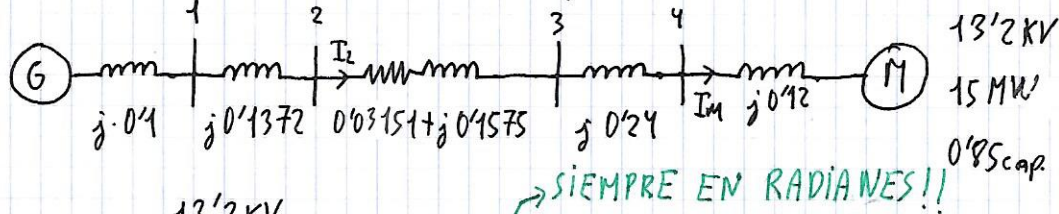
3 Tensión del motor $\rightarrow 13.2 \text{ kV}$

Consumo $\rightarrow 15 \text{ MW}$

$$Q = P \cdot \tan \varphi$$

$\text{fp} = 0.85$ en adelante. $\cos \varphi = 0.85$

a) Obtener I_M, I_L, V_G, V_L, S_G . Normal y pu.



$$V_M = V_L = \frac{13.2 \text{ kV}}{13.8 \text{ kV}} = 0.9565 \angle 0$$

\rightarrow SIEMPRE EN RADIANTES!!

$$P_M = \frac{15 \text{ M}}{30 \text{ M}} = 0.5$$

$$I_M = \left(\frac{S_M}{V_M} \right)^* = \left(\frac{0.5 - j0.3099}{0.9565 \angle 0} \right)^* = 0.5227 + j0.3240 \text{ pu} = I_L \text{ (pu)}$$

$$Q_M = P_M \cdot \tan \varphi_M = P_M \cdot \tan (\arccos(\cos \varphi)) = 0.5 \tan (\arccos 0.85) = 0.3099$$

$$I_{BM} = \frac{S_B}{\sqrt{3} V_B} = \frac{30 \text{ M}}{\sqrt{3} \cdot 13.8 \text{ kV}} = 1255.11 \text{ A}$$

$$I_{BL} = \frac{30 \text{ M}}{\sqrt{3} \cdot 13.8 \text{ kV}} = 1255.11 \text{ A}$$

$$I_M = 656.04 + j406.7 = 771.9 \angle 0.555 \text{ A}$$

$$I_L = I_M \cdot I_{BL} = 65.6 + j40.7 = 77.2 \angle 0.555 \text{ A}$$

$$\vec{V}_1 = \vec{V}_4 + \Delta \vec{V} = \vec{V}_4 + I \sum Z_i = 0.8 + j0.29 = 0.8506 \angle 0.347 \text{ pu}$$

$$\vec{V}_G = \vec{V}_1 \cdot 13.8 \text{ kV} = 11.738 \angle 0.347 \text{ kV}$$

$$v_2 = v_{gn} + i1 \cdot i_{gn} \cdot (z_1 + x_{e2}) = 1 + 0.5227 + j0.3240 (0.03151 + j0.1575 + j0.24) = 0.91153 \angle 0.2527 \text{ pu}$$

$$\vec{V}_2 = v_2 \cdot V_{B2} = v_2 \cdot 13.2 = 12.03225 \angle 0.2527 \text{ kV}$$

$$s_{gn} = v_{gn} \cdot i_{gn}^* = (0.8361 + j0.3029) \cdot (0.15 + j0.0930)^* = 0.15357 - j0.03228 \text{ pu}$$

$$S_G = s_{gn} \cdot S_b = s_{gn} \cdot 100 \text{ MVA} = 15.3575 - j3.2287 \text{ MVA}$$