

EXAMEN. 17 DE MAYO DE 2013

CURSO 2012/2013

ALUMNA/O:

**Problema 1.**

Un sistema eléctrico de potencia está constituido por un generador trifásico de 300MVA, 20kV, con una impedancia inductiva en serie de 0,25 p.u. Este generador alimenta a dos motores trifásicos a través de una línea trifásica de 64km. Dicha línea tiene un transformador trifásico elevador de la tensión  $T_A$  en el inicio, de 350MVA, 20/220kV, con una reactancia  $X_A=10\%$  y otro reductor en el final,  $T_B$ , también trifásico de 300MVA, 230/13,2kV, con una reactancia  $X_B=10\%$ . La potencia nominal del motor M1 es de 200MVA y del motor M2 es de 100MVA, ambos con una impedancia inductiva en serie del 20% y con una tensión nominal de 13,2kV. La impedancia en serie de la línea es de  $0,5\Omega/\text{km}$ , puramente inductiva.

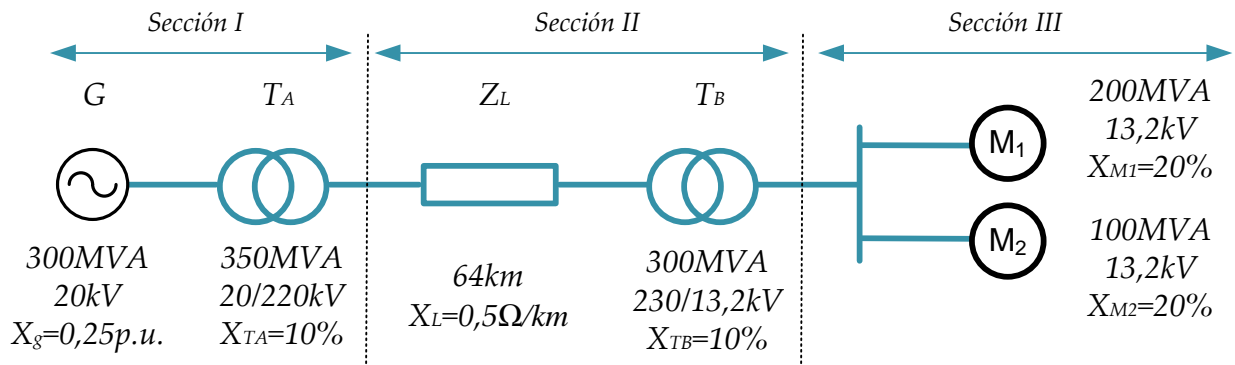
Tómese como valores base los valores nominales del generador.

Se pide:

- Dibujar el esquema unifilar del sistema eléctrico descrito **(0,25 puntos)**
- Obtener las tensiones base en cada sección del sistema eléctrico **(0,25 puntos)**
- Obtener las impedancias base en cada sección del sistema eléctrico **(0,5 puntos)**
- Obtener las reactancias de los transformadores en p.u. referidas a los valores base del sistema eléctrico **(0,75 puntos)**
- Obtener la reactancia de la línea en p.u. referida a los valores base del sistema eléctrico **(0,75 puntos)**
- Obtener las reactancias de los motores en p.u. referidas a los valores base del sistema eléctrico **(1 punto)**
- Dibujar el circuito equivalente monofásico del sistema eléctrico descrito en valores p.u. **(0,75 puntos)**
- Si el motor M1 mueve una carga de 120MW y el M2 otra de 60MW, ambas con factor de potencia unidad y con una tensión de 12,5kV. ¿Cuál es la potencia consumida total por la carga en valores p.u.? **(0,75 puntos)**
- Obtener la intensidad consumida por los motores en valores p.u. **(0,75 puntos)**
- Obtener la tensión real en el primario de  $T_B$ . **(1 punto)**
- Obtener la tensión real en el comienzo de la línea. **(1 punto)**
- Obtener el porcentaje de tensión que cae desde el generador hasta el final de la línea. **(0,75 puntos)**

Se pide:

a) Dibujar el esquema unifilar del sistema eléctrico descrito (0,25 puntos)



b) Obtener las tensiones base en cada sección del sistema eléctrico. (0,25 puntos)

Como valores base se toman los del generador.

$$S_b = 300MVA$$

En la Sección I la tensión base es la del generador:

$$V_{bI} = 20kV$$

En la Sección II, por la relación de transformación de TA:

$$V_{bII} = 20kV \cdot \frac{220kV}{20kV}$$

$$V_{bII} = 220kV$$

En la Sección III, por la relación de transformación de TB:

$$V_{bIII} = 220kV \cdot \frac{13,2kV}{230kV}$$

$$V_{bIII} = 12,62kV$$

c) Obtener las impedancias base en cada sección del sistema eléctrico (0,5 puntos)

En la Sección I la impedancia base es la del generador:

$$Z_{bI} = \frac{V_{bI}^2}{S_b} = \frac{20kV^2}{300MVA} = 1,33\Omega$$

En la Sección II:

$$Z_{bII} = \frac{V_{bII}^2}{S_b} = \frac{220kV^2}{300MVA} = 161,33\Omega$$

En la Sección III:

$$Z_{bIII} = \frac{V_{bIII}^2}{S_b} = \frac{12,62kV^2}{300MVA} = 0,53\Omega$$

- d) *Obtener las reactancias de los transformadores en p.u. referidas a los valores base del sistema eléctrico (0,75 puntos)*

El cambio de base para el transformador T<sub>A</sub>:

$$X_{TAp.u.I} = X_{TAp.u.} \frac{\frac{V_{bTA}^2}{S_{bTA}}}{\frac{V_{bI}^2}{S_b}} = 0,1 \cdot \frac{20kV^2}{20kV^2} = 0,1 \cdot \frac{300MVA}{350MVA}$$

$$X_{TAp.u.I} = 0,0857 p.u.$$

El cambio de base para el transformador T<sub>B</sub>:

$$X_{TBp.u.II} = X_{TBp.u.} \frac{\frac{V_{bTB}^2}{S_{bTB}}}{\frac{V_{bII}^2}{S_b}} = 0,1 \cdot \frac{230kV^2}{220kV^2} = 0,1 \cdot \frac{230kVA^2}{220kVA^2}$$

$$X_{TBp.u.II} = 0,1093 p.u.$$

- e) *Obtener la reactancia de la línea en p.u. referida a los valores base del sistema eléctrico (0,75 puntos)*

La reactancia en serie de la línea es de 0,5Ω/km y a línea tiene un total de 64km, por tanto:

$$X_L = 0,5\Omega/km \cdot 64km = 32\Omega$$

La impedancia base de la línea de transmisión es Z<sub>bII</sub>, por lo que la reactancia en valores p.u. resulta:

$$X_{Lp.u.II} = \frac{X_L}{Z_{bII}} = \frac{32\Omega}{161,33\Omega} = 0,1983 p.u.$$

- f) *Obtener las reactancias de los motores en p.u. referidas a los valores base del sistema eléctrico (0,75 puntos)*

El cambio de base para el transformador M<sub>1</sub>:

$$X_{M1p.u.III} = X_{M1p.u.} \frac{\frac{V_{bM1}^2}{S_{bM1}}}{\frac{V_{bIII}^2}{S_b}} = 0,2 \cdot \frac{13,2kV^2}{12,62kV^2}$$

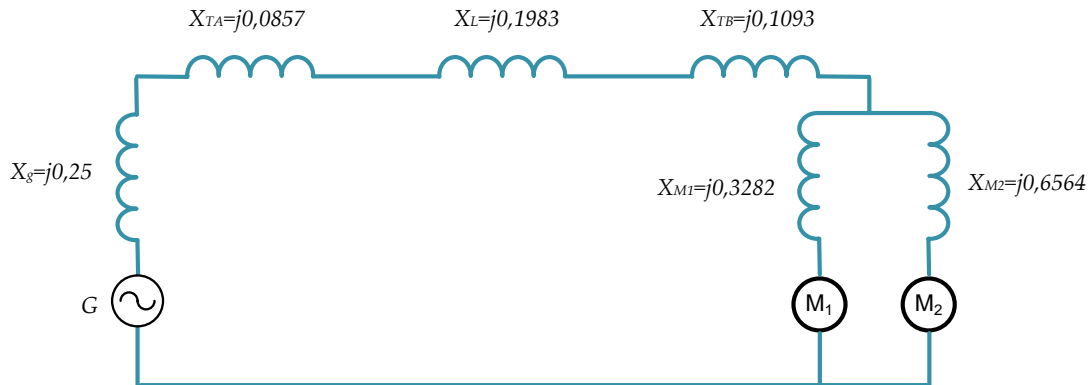
$$X_{M1p.u.III} = 0,3282 p.u.$$

El cambio de base para el transformador M<sub>2</sub>:

$$X_{M2p.u.III} = X_{M2p.u.} \frac{\frac{V_{bM2}^2}{S_{bM2}}}{\frac{V_{bIII}^2}{S_b}} = 0,2 \cdot \frac{100MVA}{12,62kV^2}$$

$$X_{M2p.u.III} = 0,6564 p.u.$$

g) Dibujar el circuito equivalente monofásico del sistema eléctrico descrito en valores p.u. (0,5 puntos)



h) Si el motor M1 mueve una carga de 120MW y el M2 otra de 60MW, ambas con factor de potencia unidad y con una tensión de 12,5kV. ¿Cuál es la potencia consumida total por la carga en valores p.u.? (0,5 puntos)

La potencia total es la suma de las dos potencias, ya que ambas son potencias activas.

$$P_T = P_{M1} + P_{M2} = 120MW + 60MW = 180MW$$

Que expresada en valores p.u. resulta:

$$P_{M1p.u.III} = \frac{P_{M1}}{S_b} = \frac{120MW}{300MVA} = 0,4p.u.$$

$$P_{M2p.u.III} = \frac{P_{M2}}{S_b} = \frac{60MW}{300MVA} = 0,2p.u.$$

$$P_{Tp.u.III} = \frac{P_T}{S_b} = \frac{180MW}{300MVA} = 0,6p.u.$$

i) Obtener la intensidad consumida por los motores en valores p.u. (0,75 puntos)

La tensión de los motores en valores p.u.

$$V_{M1p.u.III} = V_{M2p.u.III} = \frac{V_{M1,2}}{V_{bIII}} = \frac{12,5kV}{12,62kV} = 0,99\angle 0^\circ p.u.$$

que tomaremos como origen de fases para el resto del sistema.

La intensidad en valores p.u. consumida por M1, conocida su potencia y su tensión, resulta.

$$I_{M1p.u.III}^* = \frac{P_{M1p.u.III}}{V_{M1p.u.III}} = \frac{0,4p.u.}{0,99\angle 0^\circ p.u.} = 0,4038\angle 0^\circ p.u.$$

La intensidad en valores p.u. consumida por M2, conocida su potencia y su tensión, resulta.

$$I_{M2p.u.III}^* = \frac{P_{M2p.u.III}}{V_{M2p.u.III}} = \frac{0,2p.u.}{0,99\angle 0^\circ p.u.} = 0,202\angle 0^\circ p.u.$$

La intensidad total en valores p.u. consumida por los dos motores, conocida su potencia y su tensión, resulta.

$$I_{Tp.u.III}^* = \frac{P_{Tp.u.III}}{V_{M1,2p.u.III}} = \frac{0,6p.u.}{0,99\angle 0^\circ p.u.} = 0,605\angle 0^\circ p.u.$$

j) Obtener la tensión real en el primario de T<sub>b</sub>. (0,75 puntos)

Con la tensión en bornes de los motores ya calculada y la corriente que consumen conjuntamente, la tensión en el primario de  $T_B$ , aplicando la Ley de Ohm, resulta:

$$V_{TBp.u.II} = I_{Tp.u.III} \cdot X_{TBp.u.II} + V_{M1,2p.u.III}$$

$$V_{TBp.u.II} = 0,605 \angle 0^\circ \text{ p.u.} \cdot 0,1093 \angle 90^\circ \text{ p.u.} + 0,99 \angle 0^\circ \text{ p.u.}$$

$$V_{TBp.u.II} = 0,9922 \angle 3,82^\circ \text{ p.u.}$$

Y al tensión real es, pues:

$$V_{TB} = V_{TBp.u.II} \cdot V_{bII} = 0,9922 \angle 3,82^\circ \text{ p.u.} \cdot 220 \text{ kV}$$

$$\boxed{V_{TB} = 218,28 \angle 3,82^\circ \text{ kV}}$$

k) *Obtener la tensión real en el comienzo de la línea. (0,75 puntos)*

Con la tensión en el primario de  $T_B$  ya calculada y la corriente que circula por el circuito, la tensión en el comienzo de la línea, aplicando la Ley de Ohm, resulta:

$$V_{Lp.u.II} = I_{Tp.u.III} \cdot (X_{Lp.u.II} + X_{TBp.u.II}) + V_{M1,2p.u.III}$$

$$V_{Lp.u.II} = 0,605 \angle 0^\circ \text{ p.u.} \cdot (0,1983 \angle 90^\circ \text{ p.u.} + 0,1093 \angle 90^\circ \text{ p.u.}) + 0,99 \angle 0^\circ \text{ p.u.}$$

$$V_{Lp.u.II} = 1,007 \angle 10,64^\circ \text{ p.u.}$$

Y al tensión real es, pues:

$$V_L = V_{Lp.u.II} \cdot V_{bII} = 1,007 \angle 10,64^\circ \text{ p.u.} \cdot 220 \text{ kV}$$

$$\boxed{V_L = 221,61 \angle 10,64^\circ \text{ kV}}$$

l) *Obtener el porcentaje de tensión que cae desde el generador hasta el final de la línea. (0,5 puntos)*

Con la tensión en el comienzo de línea ya calculada y la corriente que circula por el circuito, la tensión en bornes del generador, aplicando la Ley de Ohm, resulta:

$$V_{Gp.u.I} = I_{Tp.u.III} \cdot (X_{TAp.u.I} + X_{Lp.u.II} + X_{TBp.u.II}) + V_{M1,2p.u.III}$$

$$V_{Gp.u.I} = 0,605 \angle 0^\circ \text{ p.u.} \cdot (0,0857 \angle 90^\circ \text{ p.u.} + 0,1983 \angle 90^\circ \text{ p.u.} + 0,1093 \angle 90^\circ \text{ p.u.}) + 0,99 \angle 0^\circ \text{ p.u.}$$

$$V_{Gp.u.I} = 1,018 \angle 13,51^\circ \text{ p.u.}$$

Y al tensión real es, pues:

$$V_G = V_{Gp.u.I} \cdot V_{bI} = 1,018 \angle 13,51^\circ \text{ p.u.} \cdot 20 \text{ kV}$$

$$V_G = 20,36 \angle 13,51^\circ \text{ kV}$$

La regulación de tensión es, pues:

$$\boxed{\frac{|V_{Gp.u.I}| - |V_{TBp.u.II}|}{|V_{TBp.u.II}|} = \frac{1,018 - 0,9922}{0,9922} \cdot 100 = 2,79\%}$$