

EL42C – Conversión Electromecánica de la Energía
Pauta Control 1

Problema 1

Pauta por: Gabriel Soubllette C.

a) Recordando Se tiene que:

$$\dot{V} = (r + j2\pi fL)i = \left(r + j2\pi f \frac{N^2}{\mathcal{R}_{eq}} \right) i$$

Dado que el hierro tiene permeabilidad infinita:

$$\Rightarrow \mathcal{R}_{eq} = \frac{2 \cdot 0.2 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-4} \cdot \mu_0} // \frac{2 \cdot 0.3 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-4} \cdot \mu_0} = 1.9098 \cdot 10^6$$

Entonces se tendrá que:

$$\dot{V} = \left(2.5 + j2\pi f \frac{300^2}{1.9098 \cdot 10^6} \right) i = (2.5 + j2\pi f \cdot 0.04712) i$$

• $V_1(t) = \sqrt{2}V_0 \sin(100\pi t)$:

$$\begin{aligned} \dot{V}_1 = V_0 &= (2.5 + j2\pi 50 \cdot 0.04712) \dot{I}_1 \\ \Rightarrow \dot{I}_1 &= \frac{V_0}{15.0128 \angle 80.41} \end{aligned}$$

• $V_2(t) = V_0$ (Continuo):

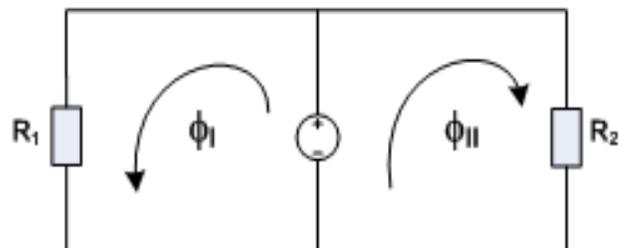
$$\begin{aligned} \dot{V}_2 = V_0 &= (2.5 + j2\pi \cdot 0 \cdot 0.04712) \dot{I}_2 \\ \Rightarrow \dot{I}_2 &= \frac{V_0}{2.5} \end{aligned}$$

Lo cual concluye que la afirmación es verdadera:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{V_0/15.0128}{V_0/2.5} \approx \frac{2.5}{15} = \frac{1}{6}$$

b) El circuito de reluctancia del circuito es el que se muestra en la figura. Además¹:

$$\begin{aligned} \phi_{m\acute{a}x} &= \frac{V_0}{4.44 \cdot N \cdot f} \\ &= \frac{10}{4.44 \cdot 300 \cdot 50} = 1.5015 \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$



¹ En estricto rigor, este resultado es incorrecto ya que no se debe considerar el voltaje de la fuente para el cálculo del flujo, sin embargo debido a que la caída de tensión por la resistencia del enrollado es pequeña, es una buena aproximación. La alternativa exacta es calcular el flujo utilizando el circuito de reluctancias.

$$\mathcal{R}_1 = 4.7746 \cdot 10^6 \quad \mathcal{R}_2 = 3.1831 \cdot 10^6$$

Mediante divisor de flujo, encontramos el flujo máximo por cada rama:

$$\phi_{I_{max}} = \frac{\mathcal{R}_2}{\mathcal{R}_1 + \mathcal{R}_2} \phi_{max} = \frac{4.7746 \cdot 10^6 \cdot 1.5015 \cdot 10^{-4}}{3.1831 \cdot 10^6 + 4.7746 \cdot 10^6} = 9.0089 \cdot 10^{-5} [Wb]$$

$$\phi_{II_{max}} = \frac{\mathcal{R}_1}{\mathcal{R}_1 + \mathcal{R}_2} \phi_{max} = \frac{3.1831 \cdot 10^6 \cdot 1.5015 \cdot 10^{-4}}{3.1831 \cdot 10^6 + 4.7746 \cdot 10^6} = 6.0060 \cdot 10^{-5} [Wb]$$

Como:

$$V_i = 4.44 \cdot N_i \cdot f \cdot \phi_{i_{max}}$$

Entonces:

$$V_A = 4.44 \cdot 200 \cdot 50 \cdot 9.0089 \cdot 10^{-5} = 3.9999 [V]$$

$$V_B = 4.44 \cdot 200 \cdot 50 \cdot 6.0060 \cdot 10^{-5} = 2.6667 [V]$$

Aproximando se encuentra que $V_A = 4[V]$ y $V_B = 3[V]$, lo cual concluye que la afirmación es verdadera²

NOTA: Para que se induzca una tensión en los medidores, el flujo debe ser variable, lo cual no ocurre cuando el voltaje aplicado a la bobina es continuo.

c) Los datos de placa del transformador nos entregan:

$$V_{AT} = 66 [kV] \quad V_{BT} = 6.9 [kV]$$

$$S = 10 [MVA] \quad f = 50 [Hz]$$

Además, los parámetros circuitales referidos a AT son:

$$r_1 = r'_2 = 8.7 [\Omega] \quad r'_{Fe} = 20 [k\Omega]$$

$$x_1 = x'_2 = 15.07 [\Omega] \quad x'_m = 6 [k\Omega]$$

i) Recordando que la prueba de cortocircuito nos entrega el valor de $r_1 + r'_2$ y $x_1 + x'_2$:

$$r_1 + r'_2 = \frac{P}{|I|^2} = \frac{391.5 [kW]}{|150 [A]|^2} = 17.4 [\Omega]$$

$$x_1 + x'_2 = \frac{Q}{|I|^2} = \frac{\sqrt{(5.22 \cdot 150)^2 - 391.5^2}}{|150 [A]|^2} = 30.1377 [\Omega]$$

Según los parámetros circuitales: $r_1 + r'_2 = 17.4 [\Omega]$ y $x_1 + x'_2 = 30.14 [\Omega]$, lo cual concluye que la afirmación es verdadera.

ii) La prueba de circuito abierto nos entrega los valores de r_{Fe} y x_m :

² Si se llega a los voltajes correctos, pero por decimales se puso que es falso, se considera correcta la respuesta.

$$r_{Fe} = \frac{|V|^2}{P} = \frac{|6.9[kV]|^2}{150[kW]} = 317.4[\Omega]$$

$$x_m = \frac{|V|^2}{Q} = \frac{|6.9[kV]|^2}{\sqrt{(6.9 \cdot 105.2)^2 - 150^2}} = 67.0363[\Omega]$$

Refiriendo el resultado al lado de alta tensión:

$$r'_{Fe} = a^2 r_{Fe} = \left(\frac{66}{6.9}\right)^2 317.4[\Omega] \approx 29[k\Omega]$$

$$x'_m = a^2 x_m = \left(\frac{66}{6.9}\right)^2 67.0363[\Omega] \approx 6[k\Omega]$$

Los parámetros circuitales de la rama paralela del transformador son $r'_{fe} = 20[k\Omega]$ y $x'_m = 6[\Omega]$. Según los valores obtenidos de la prueba de circuito abierto, el valor de la resistencia del hierro da distinto, se concluye que los resultados obtenidos de la prueba son falsos.

iii) Veamos que ocurre para los parámetros si el transformador es conectado a $79.2[kV]$ y a $60[Hz]$:

- r_1 y r_2 :

Dado que son la resistencia propia del enrollado, no son dependientes del voltaje ni la frecuencia, por lo tanto no cambian

- x_1 y x_2 :

Dado que $x = \omega L$, se puede concluir que:

$$x_{60} = \frac{\omega_{60}}{\omega_{50}} x_{50} = \frac{60}{50} 15.07 = 18.08[\Omega]$$

- r_{Fe} :

Las pérdidas en el núcleo dependen de la frecuencia de la forma $Af + Bf^2$, por lo que si f aumenta de $50[Hz]$ a $60[Hz]$, también lo harán estas pérdidas y por ende la resistencia para modelar las pérdidas r_{Fe} .

- x_m :

Recordando que la densidad de flujo máxima que circulara por el transformador se calcula con la formula $B_{m\acute{a}x} = \frac{V}{4.44 N f}$, es posible determinar la densidad de flujo máxima para un voltaje de $66[kV]$ @ $50[Hz]$ y $79.2[kV]$ @ $60[Hz]$:

$$B_{m\acute{a}x} = \frac{66[kV]}{4.44 \cdot 300[Vueltas] \cdot 50[Hz]} = 0.99099[Wb]$$

$$B_{m\acute{a}x} = \frac{79.2[kV]}{4.44 \cdot 300[Vueltas] \cdot 60[Hz]} = 0.99099[Wb]$$



Profesor de Cátedra: Jorge Romo/Alfredo Muñoz
Profesor Auxiliar: Lorenzo Reyes
loreyes@ing.uchile.cl

Las densidades de flujo para ambos casos son iguales, esto implica que el transformador, al igual que para la condición inicial, no se encuentra saturado al ser conectado a un voltaje de $79.2[kV]@60[Hz]$. Lo que concluye que $x_m \rightarrow \infty$ por saturación, dado que no está saturado

Dado que $x_m \rightarrow \infty$ por saturación, la afirmación es falsa.