Profesores : Jorge Romo L.
Alfredo Muñoz R.
Profesor Auxiliar : Eduardo Zamora D.
Tiempo : 2.0 hrs.
Fecha : 10/09/2010

EL4001 – Conversión de la Energía y Sistemas de Eléctricos

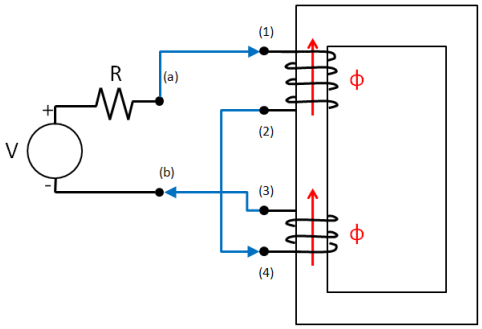
Pauta Control 1

Problema 1: Ayudante, Enrique Guerrero

Parte a)

i)

En esta configuración los flujos producidos por ambas bobinas se suman:



De la ley de Ampére, $LH = 2Ni$, pero $\mu H = B$ y $BA = \phi$, con lo que:

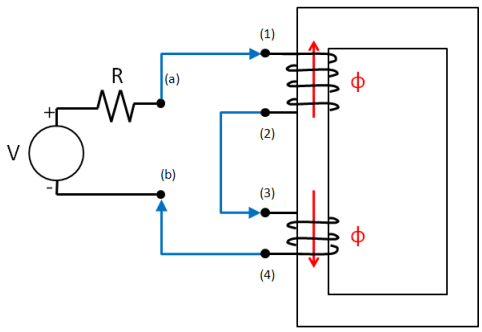
$$\frac{L\phi}{\mu A} = 2Ni$$

En corriente continua y régimen permanente, solo hay caída de potencial en la resistencia, con lo que

$$\frac{L\phi}{\mu A} = 2N\frac{V}{R} \Rightarrow \phi = \frac{2N\mu AV}{RL}$$

ii)

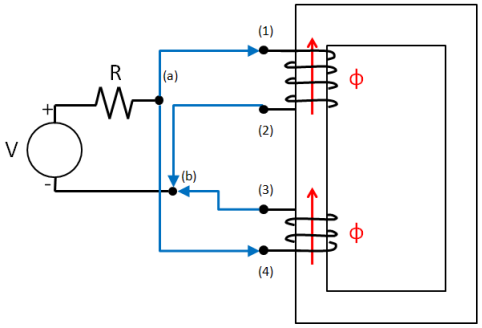
En esta configuración, dado que la corriente que circula por las bobinas es la misma, los números de vueltas son iguales para cada una y las polaridades están invertidas, los flujos se anulan, con lo que $\phi = 0$



iii)

La configuración de los enrollados y su simetría permiten suponer que la mitad de la corriente inyectada por la fuente se dirigirá a cada una. Con esto los flujos son iguales, se refuerzan por la polaridad de conexión y tienen cada uno la mitad de la magnitud de (i). Así se tiene, por analogía:

$$\phi = \frac{N\mu AV}{RL}.$$



iv)

El caso es similar al de la parte (i), considerando ahora que la corriente alterna produce una contra f.e.m. en los enrollados, que actúan ahora como una bobina de 2N vueltas. Se tiene entonces:

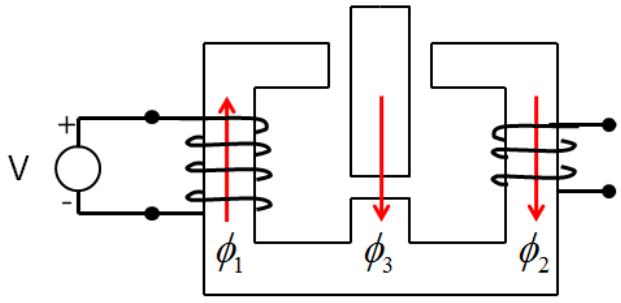
$$\dot{V} = (R + j\omega L)\dot{I}$$

$$L = \frac{(2N)^2 \mu A}{l}$$

$$\therefore\ \dot{I} = \frac{\dot{V}}{R + j\omega L} \Rightarrow \dot{\phi} = \frac{2N\mu A}{l}\left(\frac{\dot{V}}{R + j\omega\frac{(2N)^2\mu A}{l}}\right)$$

$$\phi(t) = \frac{2N\mu A}{l}\frac{V}{\sqrt{R^2 + \omega^2\left(\frac{4N^2\mu A}{l}\right)^2}}\cos(\omega t - tg^{-1}\left(\frac{4N^2\mu\omega A}{Rl}\right))$$

Parte b)



Se quiere $\frac{V_1}{2} = 4,44 N_2 f \phi_{2max}$, luego $\frac{V_1}{8,88 f \phi_{2max}} = N_2$.

Dado que se desprecia la resistencia del enrollado, debe cumplirse:

$$V_1 = 4,44 N_1 f \phi_{1max}$$

De donde se despeja ϕ_{1max}. Del circuito de reluctancia es posible obtener, utilizando el teorema de divisor de corriente, que $\phi_{2max} = \phi_{1max} \frac{g}{g+e}$.

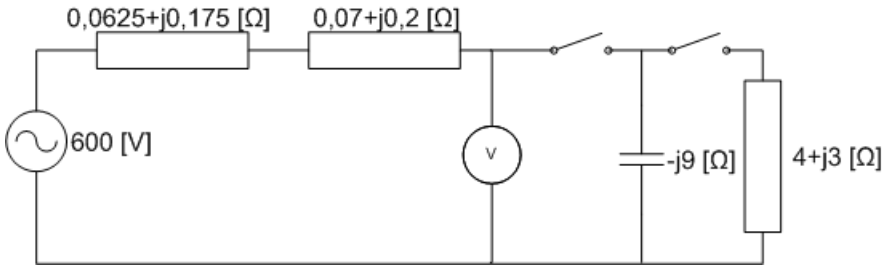
Con esto:

$$N_2 = N_1 \frac{g+e}{2g}$$

Nótese que si e = g, entonces por simetría el flujo ϕ_1 se divide simétricamente entre ϕ_2 y ϕ_3, resultando $N_2 = \frac{N_1}{2}$.

Parte c)

Al referir el circuito original al secundario se obtiene el siguiente equivalente:



i)

Al tenerse ambos interruptores cerrados, es posible calcular el paralelo entre la carga y el condensador, obteniéndose $Z_{eq} = 6,2404 \angle 3,18^o [\Omega]$. La corriente entonces alcanza el valor fasorial $i_1 = 93,691 \angle -6,47^o [A]$. Refiriendo al primario (donde se mide la corriente), $i = 4,6846 \angle -6,47^o [A]$. Para el voltaje medido, bastará hacer el divisor de voltaje correspondiente o multiplicar la corriente por la impedancia Z_{eq}. Se obtiene $V = 584,6696 \angle -3,29^o [V]$.

ii)

Al tenerse ambos interruptores abiertos no circula corriente por el secundario. En consecuencia, por el primario tampoco (transformador ideal). Así $i = 0[A]$. Por la misma causa, no hay caída de tensión luego del transformador, con lo que $V = 600[V]$.

iii)

Se utiliza la impedancia del condensador ignorando la del consumo.

$$i_1 = \frac{600}{0{,}1325 - j8{,}625} = 69{,}5570\angle 89{,}12^{o}[\text{A}] \Rightarrow i = \frac{i_1}{20} = 3{,}4779\angle 89{,}12^{o}[\text{A}]$$

$$V = 600 \cdot \frac{-j9}{0{,}1325 - j8{,}625} = 626{,}0131\angle -0{,}88^{o}[\text{V}]$$

<u>Problema 2: Ayudante, Alejandro Abarzúa</u>

Parte a) (4 puntos)

Primeros obtenemos la corriente $I_B$que sale de la siguiente ecuación:

$$I_B^* = \frac{\dot{S}}{\dot{V}} = \frac{6000 < \cos^{-1}(0{,}7)}{110}$$

Donde se obtiene $I_B = 54{,}5455 < -45{,}573°\ [A]$

Como el factor de potencia es inductivo, se tiene que el ángulo de la potencia es positivo.

Luego el voltaje en el secundario del transformador de 2:1 es:

$$V_{RB} = I_B \cdot 0{,}03 + 110 = 111{,}1516 < -0.6024°\ [V]$$

Y por la transformación $V_A = 2 \cdot V_{RB} = 222{,}3032 < -0.6024°\ [V]$

Además la corriente que pasa por el primario del transformador de 3:1 es:

$$I_B' = \frac{I_B}{2} = 27.2727 < -45.5730°\ [A]$$

Luego la corriente que pasa por el sector A es:

$$I_A = \frac{V_A}{Z_A} = 31.7576 < -30.6024°\ [A]$$

Entonces para calcular el voltaje que mide el multímetro se obtiene de:

$$V = V_A + (I_A + I_B') \cdot 0.2 = 231.7694 < -2.3407°\ [V]$$

Con este voltaje se puede calcular el aporte de corriente del condensador:

$$I_C = \frac{V}{-j15} = 15.4513 < 87.6593°\ [A]$$

Con lo anterior, para calcular la lectura del amperímetro, basta referir la corriente total del secundario al primario del transformador de 52:1, quedando:

$$A = \frac{I_A + I_B' + I_C}{52} = 0.9848 < -23.2379°\ [A]$$

Finalmente el valor de V_o es:

$$V_o = A \cdot 150 + V \cdot 52 = 12190{,}1294 < -2.5884° \; [V]$$

Parte b) (2 puntos)

Solo se ocupará una alguna de las siguientes relaciones equivalentes:

$$S = P + jQ = V \cdot I^* = \frac{|V|^2}{Z^*}$$

Para el consumo del sector A se tiene:

$$S_A = \frac{|V_A|^2}{Z_A^*} = 6113.9801 + j3529.9081 \; [VA]$$

Para el consumo del sector B se tiene:

$$S_B = 6000 \cdot 0.7 + j6000 \cdot \sin(\cos^{-1} 0.7) = 4200 + j4284.8571 \; [VA]$$

La potencia que entrega la fuente es:

$$S_f = V_o \cdot A^* = 11233.8683 + j4233.6433 \; [VA]$$

Veamos las relaciones entre las potencias:

$$P_{A+B} = 10313{,}9801 \; [W] < P_f = 11233.8683 \; [W]$$

$$Q_{A+B} = 7814.7652 \; [VAr] > \; Q_f = 4233.6433 \; [VAr]$$

¿A qué se deben las diferencias entre las potencias consumidas por ambos sectores, frente a la recibida?

R. La diferencia de potencia activa está ligada íntegramente a las resistencias no consideradas, las cuales modelan las líneas de cobre.

$$0.2 \cdot |I_A + I_B'|^2 + 0.03 \cdot |I_B|^2 + 150 \cdot |A|^2 = 919.8874 \; [W]$$

$$P_f = P_{A+B} + 919.8874 = 11233.8675 \; [W]$$

Así se comprueba que las pérdidas vienen de las líneas de cobre, (el error es de aproximaciones)

En cuanto a la diferencia de potencia reactiva, debe haber alguien que esté metiendo reactivos al sistema, este es el condensador, quien a diferencia de las inductancias, "genera" reactivos. Esto se puede comprobar:

$$-j15 \cdot |I_C|^2 = -3581.1401 \; [VAr]$$

$$Q_f = Q_{A+B} + \; -3581.1401 = 4233.6251 [VAr]$$

El signo de la potencia reactiva indica la entrega de ellos, no el consumo.

De esta forma quedan comprobadas las causas de las diferencias es las potencias tanto teóricamente como analíticamente. La comprobación analítica no era necesaria, solo bastaba argumentar correctamente.

Problema 3: Ayudante, Piero Izquierdo

a)

$$P_{totales} = P_{Fe} + P_{Cu} = 10[MW] - 9.6[MW] = 400[KW]$$

$$P_{nucleo} = \frac{V_{in}^2}{R_{FE}} = \frac{(66 \cdot 10^3[V])^2}{40 \cdot 10^3[\Omega]} = 108.9[KW]$$

$$P_{Cu} = 400[KW] - 108.9[KW] = 291.1[KW]$$

b)

$$V_{in} = I_{sec}'\left(R_1 + R_2' + j(X_1 + X_2')\right) + \frac{P_{carga}}{I_{sec}^*} \qquad / \cdot I_{sec}'^{*}[1]$$

$$V_{in} \cdot I_{sec}'^{*} = |I_{sec}'|^2 \cdot \left(R_1 + R_2' + j(X_1 + X_2')\right) + P_{carga}$$

Separamos parte real de imaginaria

$$V_{in}|I_{sec}'| \cdot \cos(\phi) = |I_{sec}'|^2 \cdot (R_1 + R_2') + P_{carga} \qquad (1)$$

$$-V_{in}|I_{sec}'| \cdot \sin(\phi) = |I_{sec}'|^2 \cdot (X_1 + X_2') \qquad (2)$$

Resolviendo: $|I_{sec}'| = 150.18[A]$ y $\phi = -3.796°$

$$|I_{sec}| = \frac{66}{6.9} \cdot 150.18[A] = 1436.5[A]$$

$$I_{prim} = |I_{sec}'| + \frac{V_{in}}{R_{Fe}//X_m} = (150.18\angle -3.796)[A] + (11.121\angle -81.469°)[A]$$

$$|I_{prim}| = 154.94[A]$$

c)

$$Q_{Fe} = \frac{V_{prim}^2}{X_m} = \frac{(66 \cdot 10^3[V])^2}{6 \cdot 10^3[\Omega]} = 726[KVAr]$$

$$Q_{Cu} = (X_1 + X_2')|I_{sec}'|^2 = 2 \cdot 14.55[\Omega] \cdot 150.22[A] = 656.67[KVAr]$$

$$Q_{suminitrada} = Q_{Fe} + Q_{Cu} = 1382.7[KVAr]$$

d)

$$|V_{vacio}| = 6.9[KV]$$

$$|V_{carga}| = \left|\frac{P_{carga}}{I_{sec}}\right| = \left|\frac{9.6[MW]}{1436.5[A]}\right| = 6.683[KV]$$

$$Reg = \frac{|V_{vacio}| - |V_{carga}|}{|V_{carga}|} = \frac{6.9[KV] - 6.683[KV]}{6.683[KV]} = 3.25\%$$

---

[1] resolviendo con TI: **Csolve(66E^3=i_*(2*4.45+j2*14.55)+9.6E^6/conj(i_),i_)**, es importante que la variable este de la forma "i_", para resolver ecuaciones complejas.