



Universidad de Chile
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Curso: Conversión Electromecánica de la Energía
EL42C

CLASE AUXILIAR 6

Máquinas Síncronas y de Inducción

Profesor Auxiliar: Carlos Suazo M. *casuazo@ing.uchile.cl*
Lunes 12 de Noviembre de 2007

Problema 1:

Se quiere extraer agua de un pozo profundo, para lo cual se adquiere una bomba que, al hacerla girar a 1500 rpm es capaz de extraer $Q'_L = 9840$ litros/minuto con una presión equivalente h' de 12 metros. La eficiencia de la bomba en estas circunstancias es de $ef=85\%$. De esta forma la potencia en el eje requerida por la bomba es:

$$Peje [Watts] = \frac{1}{ef[\%]/100} \rho g [Kg/m^2/seg^2] Q [m^3/seg] h [m]$$

En el caso del agua $\rho g=10^4$ $[kg/m^2/seg^2]$. Por cierto que $Q[m^3/seg]=Q \cdot L$ [litros/min] /60000. Para mover la bomba Ud. Sugiere comprar un motor de 30 kW de las siguientes características:

$P_{nom}=30$ kW, 4 polos, 380 Volts entre fases, 50 Hz, 59 Amp, en delta
 $R1=0,02$ o/1, $R2=0,07$ o/1, $X1=0,08$ o/1, $X2=0,08$ o/1, $X_M=3$ o/1, $R_f=50$ o/1

a) Calcular la corriente y el factor de potencia tomados por el motor en condiciones de operación nominales. Suponga que el caudal de la bomba varía linealmente con la velocidad del motor. Suponga que la presión h varía cuadráticamente con el caudal. Como la velocidad resultará seguramente muy cercana a los 1500 rpm (de lo contrario el motor no sirve!!) puede suponer en primera aproximación que los valores del caudal y la presión serán los nominales.

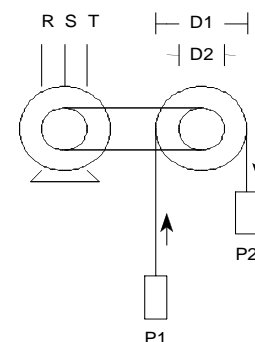
b) Meses después el usuario se da cuenta que necesita más caudal, para lo cual Usted sugiere comprar un convertidor de frecuencia. El usuario requiere $Q_L''=1,2 \cdot Q_L'$ litros/minuto, es de cir, un 20% más de caudal. Así Usted sugiere alimentar el motor con 60 Hz y con un voltaje $V''=1,2 \cdot 380$ Volts entre fases. Suponga que el caudal de la bomba varía linealmente con la velocidad del motor. Suponga que la presión h varía cuadráticamente con la velocidad del motor. Suponga que la eficiencia de la bomba no cambia. Calcular la corriente y el factor de potencia tomados por el motor, en las nuevas condiciones de operación. ¿Se quemará el motor debido a que ahora se le está demandando una mayor potencia en el eje? Haga un análisis crítico de las aproximaciones realizadas, en particular de los parámetros empleados del motor a 60 Hz con respecto de los conocidos a 50 Hz.

Problema 2:

Para llevar a la superficie el mineral de una mina subterránea, se emplea un motor de inducción de las siguientes características:

6.600 Volts entre fases, 50 Hz, 6 polos, 614 Amp.
 $R1 = 0,01$ p.u.; $R2 = 0,06$ p.u.; $X1 = 0,08$ p.u.
 $X2 = 0,08$ p.u.; $X_M = 3$ p.u.

Los parámetros están expresados en tanto por uno base del motor, es decir, 6.600 Volts entre fases (3810,5 Volts, fase neutro) y 614 Amp. Los diámetros de las poleas son $D1=2,3$ metros y $D2=0,205$ metros. Suponga que las correas se adhieren a las poleas firmemente y que las pérdidas en el hierro en el motor son despreciables. El voltaje de alimentación del motor es el nominal.



El peso a subir es de 18.500 kg, a lo que hay que agregar el peso del capacho que es 15.000 kg. El peso del contrapeso es de 21.250 kg. Así:

$$P1= 33.500 \text{ kg}; P2= 21.250 \text{ kg}.$$

Calcular la potencia activa y reactiva consumida por el motor. Calcule las pérdidas en estator y rotor y basado en estas estime la eficiencia a la cual opera la máquina.

Problema 3:

Se dispone de 3 transformadores monofásicos de 1300/220 Volts, 12 kVA, reactancia $X_T=0,08 \text{ o}/1$, base propia (es decir, voltaje nominal y potencia en kVA nominales de cada transformador). Con ellos se realiza un banco Dy con el que se alimenta un motor de inducción de las siguientes características:

$$P_{nom}=30 \text{ kW}, 4 \text{ polos}, 380 \text{ Volts entre fases}, 50 \text{ Hz}, 59 \text{ Amp.}$$

$$R1=0,02 \text{ o}/1, R2=0,07 \text{ o}/1, X1=0,08 \text{ o}/1, X2=0,08 \text{ o}/1, X_M=3 \text{ o}/1, R_f=50 \text{ o}/1.$$

Los parámetros de este motor están expresados en la base propia del motor, es decir, 380 Volts entre fases (219,4 Volts fase neutro) y 59 Amp.

El voltaje primario de alimentación del transformador es 1300 Volts entre fases. El motor mueve una carga caracterizada por:

$$T_{RES} [\text{Nm}] = 200 + 1,14 w_c ,$$

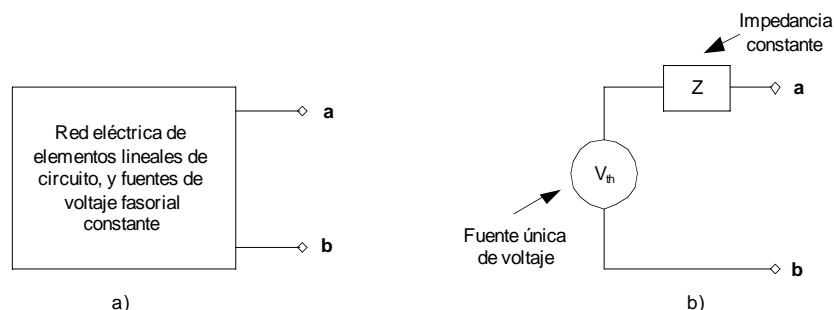
Con w_c velocidad de giro de la carga mecánica, en rad/seg.

La carga mecánica, así descrita, se conecta al motor a través de poleas de radios $R_{p1}=0,1 \text{ m}$, $R_{p2}=0,3 \text{ m}$; R_{p1} al lado del motor, R_{p2} al lado de la carga.

- Calcule la corriente de partida (indíquela en la línea de 380 Volts).
- Calcule el torque de partida del motor ¿Supera al torque resistente a velocidad cero?
- Calcule la tensión en bornes del secundario del transformador (tome en cuenta la caída en el transformador).
- Calcule la velocidad de régimen del motor (si es que éste parte).

Anexo: Torque y Potencia mediante el empleo del Teorema de Thevenin

Cuando se han de hacer resaltar las relaciones de torque y potencia, se obtiene una simplificación considerable del problema si se aplica el teorema de Thevenin de las redes del circuito equivalente de la máquina de inducción.



a) Red lineal general , y b) su equivalente en las terminales ab por el teorema de Thevenin .

Figura 1

En su forma general, el teorema de Thevenin permite el reemplazo de cualquier red de elementos lineales de circuito y fuentes de voltaje fasorial constante, vistas desde dos terminales: a y b (Figura 1), mediante una fuente única de tensión fasorial V_{th} en serie con una impedancia única Z (Figura 1). La tensión V_{th} es la que aparece entre las terminales a y b de la

red original cuando estas terminales están en circuito abierto; la impedancia Z es la que se ve desde los mismos terminales cuando se ponen en cortocircuito todas las fuentes voltaje dentro de la red. Para la aplicación del circuito equivalente de la máquina de inducción, se toman los puntos a y b como los designados así en la Figura 2., Entonces el circuito equivalente asume las formas que aparecen en la Figura 3, en donde se ha empleado el teorema de Thevenin para transformar la red a la izquierda de los puntos a y b en una fuente equivalente de voltaje V_{1a} en serie con una impedancia equivalente $R_{e1} + jX_{e1}$.

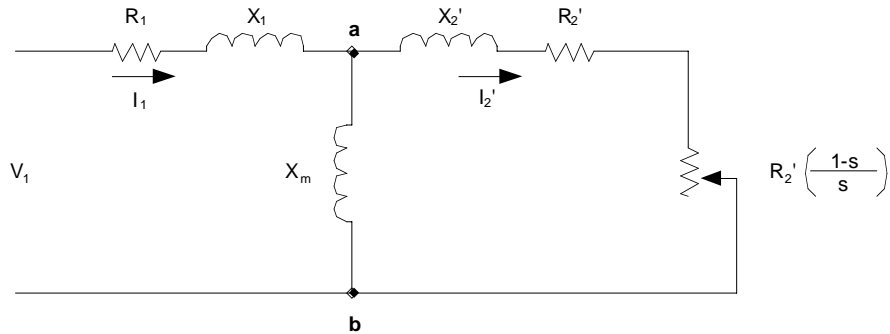


Figura 2.

Según el teorema de Thevenin, la fuente equivalente de voltaje V_{1a} es el voltaje que aparecería entre las terminales a y b de la Figura 2 estando abiertos los circuitos del rotor, y es

$$V_{1a} = V_1 - I_0(R_1 + jX_1) = V_1 \frac{jX_m}{R_1 + jX_{11}} \tag{1}$$

En la cual I_0 es la corriente de excitación con cero carga y

$$X_{11} = X_1 + X_m \tag{2}$$

es la reactancia propia del estator por fase, que es aproximadamente igual a la componente reactiva de la impedancia de la máquina a cero carga. Para la mayor parte de máquinas de inducción, se obtiene un error muy pequeño si se omite la resistencia del estator en la ecuación (1). La impedancia equivalente de Thevenin del estator $R_{e1} + j X_{e1}$ es la que hay entre las terminales a y b de la figura 2 vista hacia la fuente, con el voltaje de la fuente en cortocircuito, y por lo tanto es

$$R_{e1} + jX_{e1} = (R_1 + jX_1) \text{ en paralelo con } jX_m \tag{3}$$

$$R_{e1} + jX_{e1} = - \frac{X_1 \cdot X_m - jR_1 \cdot X_m}{R_1 + j(X_1 + X_m)}$$

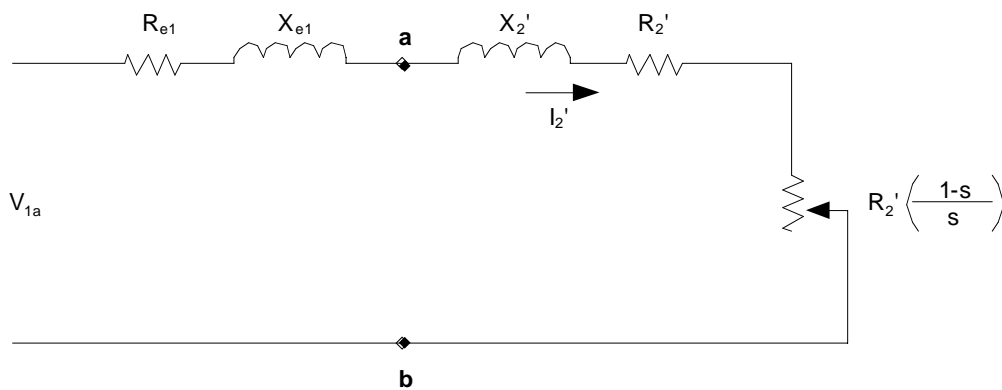


Figura 3

Del circuito equivalente de Thevenin (Figura 3) y de la expresión de torque, se obtiene

$$T = \frac{1}{\omega_s} \cdot \frac{3V_{1a}^2 \left(R_2' / s \right)}{\left(R_{e1} + R_2' / s \right)^2 + \left(X_{e1} + X_2 \right)^2} \quad (4)$$

Por lo tanto, el deslizamiento s_{maxT} en el torque máximo es

$$s_{maxT} = \frac{R_2'}{\sqrt{R_{e1}^2 + \left(X_{e1} + X_2 \right)^2}} \quad (5)$$

Y el torque correspondiente es,

$$T_{max} = \frac{1}{\omega_s} \cdot \left[\frac{3/2 V_{1a}^2}{R_{e1} + \sqrt{R_{e1}^2 + \left(X_{e1} + X_2 \right)^2}} \right] \quad (6)$$

Nota: La expresiones de torque corresponden a máquinas trifásicas