ANÁLISIS Y FUNCIONAMIENTO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS	3º de Grado en Ingeniería en Tecnología Industrial
	Curso 2013-14 **Convocatoria de JULIO**

Segundo Parcial 1 de julio de 2014

EJERCICIOS

XVIII.- Un generador síncrono trifásico de rotor cilíndrico tiene las siguientes características nominales: 400 V, 50 Hz, 160 kVA, 6 polos y conexión estrella.

El generador funciona alimentando a tensión nominal (400 V a 50 Hz) una carga resistiva pura que consume P= 80 kW. En esas condiciones la intensidad de excitación es de 10 A y el ángulo de par de 15º.

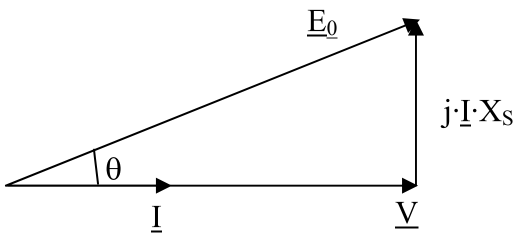
NOTA: A efectos de cálculo se considerarán despreciables los efectos de la saturación, las pérdidas internas y la resistencia interna de los devanados del estator.

Calcular:

101.- La reactancia síncrona

A) 0,536 Ω **B)** 0,782 Ω

La representación vectorial correspondiente a un caso de carga resistiva pura permite deducir fácilmente la relación existente entre las diferentes magnitudes y parámetros.



$$V = V_N = \frac{400}{\sqrt{3}} = 230{,}94 \ \text{V}$$

$$E_0 = \frac{V}{\cos\theta} = \frac{230{,}94}{\cos 15^\circ} = 239{,}087 \ \text{V}$$

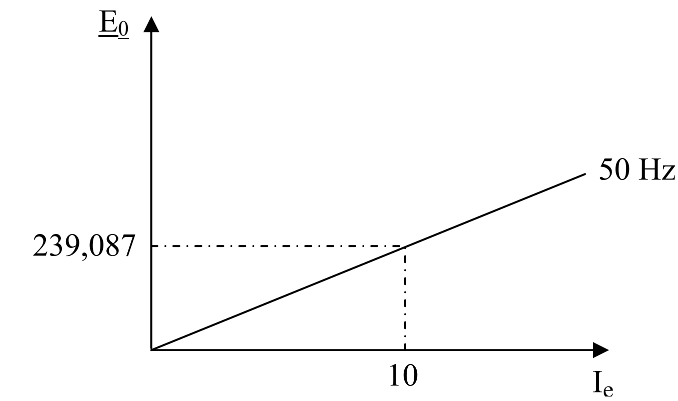
$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_N \cdot \cos\varphi} = \frac{80 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 1} = 115{,}47 \ \text{A}$$

$$X_S = \frac{\sqrt{E_0^2 - V^2}}{I} = \frac{\sqrt{239{,}087^2 - 230{,}94^2}}{115{,}47} \quad \Rightarrow \quad \boxed{X_S = 0{,}536 \ \Omega}$$

102.- Intensidad de excitación necesaria en el ensayo de vacío para que cuando el rotor gire a 500 rpm la tensión en bornes sea de 400 V.

A) 21,7 A **B)** 19,3 A

Los cálculos del apartado anterior permiten definir la característica de vacío a 50 Hz.

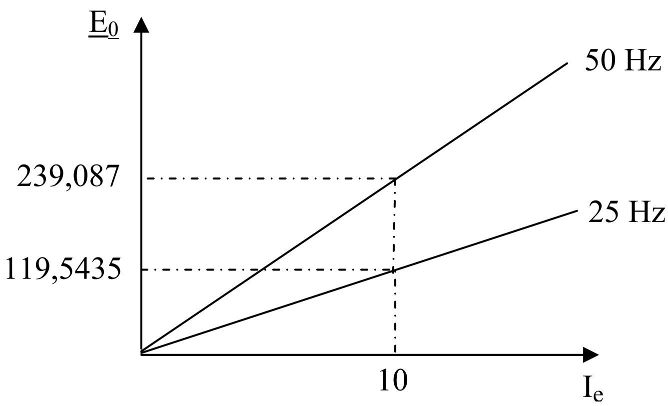


A 500 rpm la frecuencia de la tensión generada es:

$$f = \frac{p \cdot n}{60} = \frac{3 \cdot 500}{60} = 25 \text{ Hz}$$

A intensidad de excitación constante, la tensión generada es proporcional a la frecuencia.

$$[E_0]_{25\text{ Hz}} = [E_0]_{50\text{ Hz}} \cdot \frac{25}{50} = 239{,}087 \cdot \frac{25}{50} = 119{,}5435 \text{ V}$$



Por tanto:

$$I_e = \frac{400}{\sqrt{3}} \cdot \frac{10}{119{,}5435} \qquad \Rightarrow \qquad \boxed{I_e = 19{,}3 \text{ A}}$$

Ahora se hace trabajar a la máquina síncrona como motor conectado a una fuente trifásica equilibrada de 400 V (50 Hz) y moviendo una carga mecánica que presenta un par resistente constante. En estas condiciones se observa que la intensidad de excitación es de 6 A y el ángulo de par de 10º.

Calcular

103.- Potencia activa absorbida por el motor

A) 36,4 kW **B)** 32,2 kW

La aplicación de la ecuación de la potencia activa en función de factores internos conduce directamente a la solución.

$$P = 3 \cdot \frac{V \cdot E_0}{X_S} \cdot \operatorname{sen}\theta = 3 \cdot \frac{230{,}94 \cdot (239{,}087 \cdot 6/10)}{0{,}536} \cdot \operatorname{sen}10^\circ = 32198{,}30 \ \text{W} \quad \Rightarrow \quad \boxed{P = 32{,}2 \ \text{kW}}$$

104.- Factor de potencia del motor

A) 0,267 (ind) **B)** 0,381 (ind)

Se puede hallar resolviendo la ecuación vectorial.

$$\underline{V} = \underline{E}_0 + j \cdot \underline{I} \cdot X_S \quad \Rightarrow \quad \underline{I} = \frac{\underline{V} - \underline{E}_0}{j \cdot X_S}$$

En este caso:

$$\underline{V} = 230{,}94 \ \lfloor 0^\circ \qquad \text{(si se toma como referencia angular esta tensión)}$$

$$\underline{E}_0 = E_0 \ \lfloor -\theta = \left(239{,}087 \cdot \frac{6}{10}\right) \lfloor -10^\circ \qquad \text{(ya que en un motor } \underline{E}_0 \text{ esta retrasada respecto a } \underline{V}\text{)}$$

$$j \cdot X_S = 0{,}536 \ \lfloor 90^\circ$$

Sustituyendo en la ecuación vectorial se obtiene:

$$\underline{I} = 173{,}6 \ \lfloor -74{,}47^\circ \quad \Rightarrow \quad \boxed{\cos\varphi = 0{,}267 \ (\text{ind})}$$

XIX.- Las características nominales de un motor asíncrono trifásico de jaula de ardilla, con 4 polos y conectado en estrella, son las siguientes:

400 V; 18,5 kW; 50 Hz; 35,77 A; $\cos\varphi = 0{,}84$

Sobre este motor se ha realizado el ensayo de medida de la resistencia estatórica, midiéndose entre dos bornes de la máquina 0,48 Ω.

Sabiendo que las pérdidas mecánicas se consideran constantes dentro de la zona estable de funcionamiento e iguales a 400 W, calcular:

NOTA: Al realizar los cálculos, despreciar las pérdidas en el hierro y la influencia de la rama de vacío en el circuito equivalente

105.- Pérdidas por calentamiento en los devanados del rotor cuando el motor trabaja en condiciones nominales.

A) 995,8 W **B)** 805,7 W

El balance potencias, despreciando las pérdidas en el hierro, es:

$$P_1 = P_{J1} + P_{J2} + P_R + P_u$$

Los valores correspondiente al punto de funcionamiento nominal es:

$$[P_1]_N = \sqrt{3}\cdot U_{1N}\cdot I_{1N}\cdot\cos\varphi_N = \sqrt{3}\cdot 400\cdot 35{,}77\cdot 0{,}84 = 20817{,}0337 \text{ W}$$

$$[P_{J1}]_N = 3\cdot I_{1N}^2\cdot R_1 = 3\cdot 35{,}77^2\cdot 0{,}24 = 921{,}2349 \text{ W} \qquad \text{(ya que } R_1 = \frac{0{,}48}{2} = 0{,}24\ \Omega\text{)}$$

$$[P_u]_N = 18500 \text{ W}$$

$$P_R = 400 \text{ W}$$

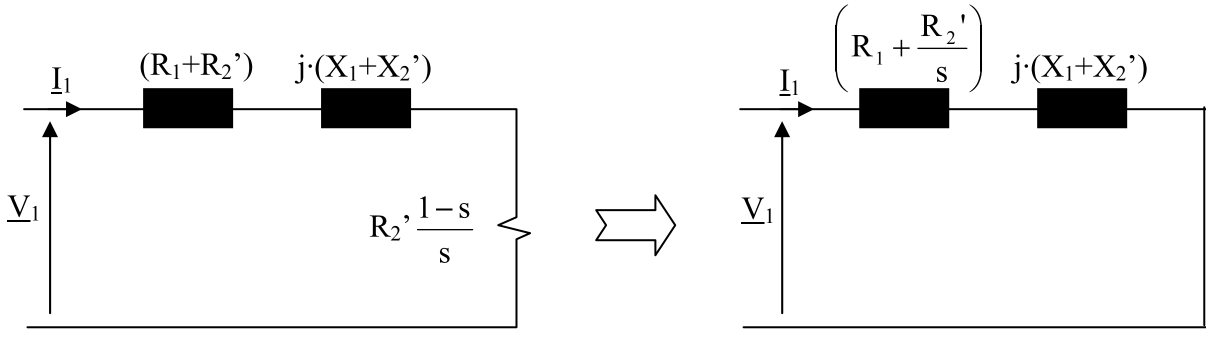
Por tanto:

$$[P_{J2}]_N = [P_1]_N - [P_{J1}]_N - [P_u]_N - P_R \quad \Rightarrow \quad \boxed{[P_{J2}]_N = 995{,}8 \text{ W}}$$

106.- Velocidad nominal o de plena carga del motor

A) 1440 rpm **B)** 1425 rpm

El circuito equivalente del motor asíncrono es:



La impedancia equivalente que presenta el motor en condiciones nominales es:

$$[Z_e]_N = \sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s_N}\right)^2 + (X_1 + X'_2)^2} = \frac{V_{1N}}{I_{1N}} = \frac{400/\sqrt{3}}{35,77} = 6,4562\ \Omega$$

La parte resistiva de esta impedancia es

$$R_1 + \frac{R'_2}{s_N} = [Z_e]_N \cdot \cos\varphi_N = 6,4562 \cdot 0,84 = 5,4232\ \Omega$$

La resistencia del rotor referida al estator es:

$$R'_2 = \frac{[P_{J2}]_N}{3 \cdot I_{1N}^2} = \frac{995,8}{3 \cdot 35,77^2} = 0,2594\ \Omega$$

Por tanto, el deslizamiento nominal es:

$$s_N = \frac{R'_2}{[Z_e]_N \cdot \cos\varphi_N - R_1} = \frac{0,2594}{5,4232 - 0,24} = 0,05$$

Y la velocidad nominal:

$$n_{2N} = n_1(1 - s_N) = 1500(1 - 0,05) \quad \Rightarrow \quad \boxed{n_{2N} = 1425\ \text{rpm}}$$

107.- Rendimiento del motor cuando alimentado a 400 V (50 Hz), el rotor gira a 1440 rpm.

A) 90,4 % B) 94,5 %

$$\eta = \frac{P_u}{P_1} \cdot 100 \qquad \text{(con valores referidos a 1440 rpm)}$$

La reactancia equivalente del motor es:

$$X_1 + X'_2 = [Z_e]_N \cdot \text{sen}\varphi_N = 6,4562 \cdot \sqrt{1 - 0,84^2} = 3,503\ \Omega$$

Los valores correspondientes a 1440 rpm son:

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{1500 - 1440}{1500} = 0,04$$

$$I_1 = \frac{V_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X'_2)^2}} = \frac{400/\sqrt{3}}{\sqrt{\left(0,24 + \frac{0,2594}{0,04}\right)^2 + (3,503)^2}} = 30,4564\ \text{A}$$

$$\cos\varphi = \frac{R_1 + \frac{R_2^{'}}{s}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2^{'}}{s}\right)^2 + \left(X_1 + X_2^{'}\right)^2}} = \frac{0{,}24 + \frac{0{,}2594}{0{,}04}}{\sqrt{\left(0{,}24 + \frac{0{,}2594}{0{,}04}\right)^2 + (3{,}503)^2}} = 0{,}8869$$

Con todo ello:

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot U_{1N} \cdot I_1 \cdot \cos\varphi \;\; = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 30{,}4564 \cdot 0{,}8869 = 18714{,}311 \;\; W$$

Por otro lado:

$$P_u = P_{mi} - P_R = 3 \cdot I_1^2 \cdot R_2^{'} \cdot \frac{1-s}{s} - P_R = 3 \cdot (30{,}4564)^2 \cdot 0{,}2594 \cdot \frac{1 - 0{,}04}{0{,}04} - 400 = 16924{,}4559 \;\; W$$

Por lo que el rendimiento es:

$$\eta = \frac{P_u}{P_1} \cdot 100 = \frac{16924{,}4559}{18714{,}311} \cdot 100 \qquad \Rightarrow \qquad \boxed{\eta = 90{,}4\,\%}$$

108.- Reactancia por fase que hay que intercalar entre el estator de la máquina y la red para que la intensidad de arranque sea 1,5 veces la intensidad nominal.

A) 0,77 Ω **B)** 1,85 Ω

Con inserción de reactancias (ΔX), la intensidad de arranque (s=1) es:

$$I_a = 1{,}5 \cdot I_{1N} = \frac{V_1}{\sqrt{\left(R_1 + R_2^{'}\right)^2 + \left(X_1 + X_2^{'} + \Delta X\right)^2}}$$

Por tanto:

$$\Delta X = \sqrt{\left(\frac{V_1}{1{,}5 \cdot I_{1N}}\right)^2 - \left(R_1 + R_2^{'}\right)^2} - \left(X_1 + X_2^{'}\right) = \sqrt{\left(\frac{400/\sqrt{3}}{1{,}5 \cdot 35{,}77}\right)^2 - (0{,}24 + 0{,}2594)^2} - 3{,}503$$

$$\boxed{\Delta X = 0{,}77 \;\; \Omega}$$