ANÁLISIS Y FUNCIONAMIENTO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS	3º de Grado en Ingeniería en Tecnología Industrial
	Curso 2016-17 **Convocatoria ORDINARIA**

Segundo Parcial 19 de mayo de 2017

EJERCICIOS

XVIII.- Una máquina síncrona trifásica de rotor cilíndrico y conexión estrella tiene las siguientes características nominales: 400 V, 50 Hz, 350 kVA, 1500 rpm.

Trabajando como generador es sometida a dos ensayos (ver Figura XVIII.1) con los resultados mostrados en la Tabla XVIII.a.

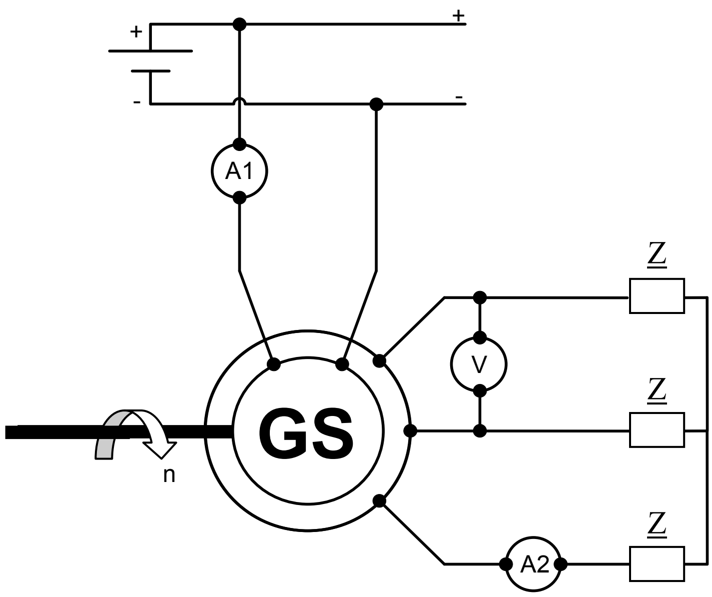


Figura XVIII.1

	Carga	Velocidad de giro	Lectura aparatos de medida		
			A1	A2	V
Ensayo A	Cortocircuito (Z=0)	1500 rpm	12,75 A	350 A	0
Ensayo B	Inductiva pura	1500 rpm	25,5 A	233,5 A	400 V

Tabla XVIII.a

Despreciando a efectos de cálculo la resistencia del inducido, las pérdidas internas de la máquina y los efectos de la saturación, se pide calcular:

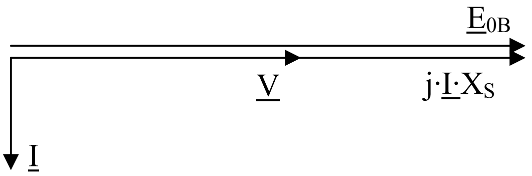
101.- Reactancia síncrona referida a 50 Hz.

Los dos ensayos están hechos a 1500 rpm que, de acuerdo a la placa de características, corresponde a 50 Hz.

Del Ensayo A (cortocircuito) se obtiene:

$$E_{0A} = I_{CC} \cdot X_S \qquad \Rightarrow \qquad E_{0A} = 350 \cdot X_S$$

Del Ensayo B (carga inductiva pura) se obtiene:



$$E_{0B} = V + I \cdot X_S \qquad \Rightarrow \qquad E_{0B} = \frac{400}{\sqrt{3}} + 233{,}5 \cdot X_S$$

Despreciando los efectos de la saturación:

$$\frac{E_{0A}}{E_{0B}} = \frac{k \cdot I_{eA}}{k \cdot I_{eB}} = \frac{12{,}75}{25{,}5} = 0{,}5$$

Por tanto:

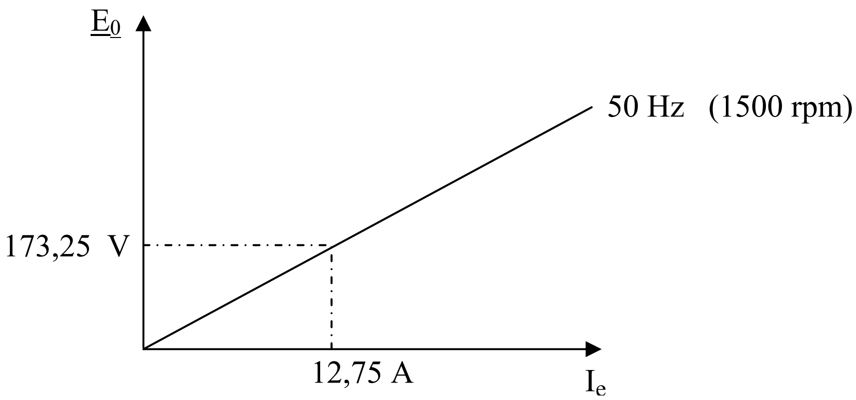
$$0{,}5 = \frac{350 \cdot X_S}{\frac{400}{\sqrt{3}} + 233{,}5 \cdot X_S} \qquad \Rightarrow \qquad \boxed{X_S = 0{,}495 \ \Omega}$$

102.- Tensión que medirá el voltímetro conectado en bornes del estator en un ensayo de vacío realizado a 1000 rpm con una intensidad de excitación de 20 A.

Del ensayo A (realizado con una Intensidad de excitación de 12,75 A) se obtiene:

$$E_{0A} = I_{CC} \cdot X_S \qquad \Rightarrow \qquad E_{0A} = 350 \cdot 0{,}495 = 173{,}25 \quad V$$

Por tanto:



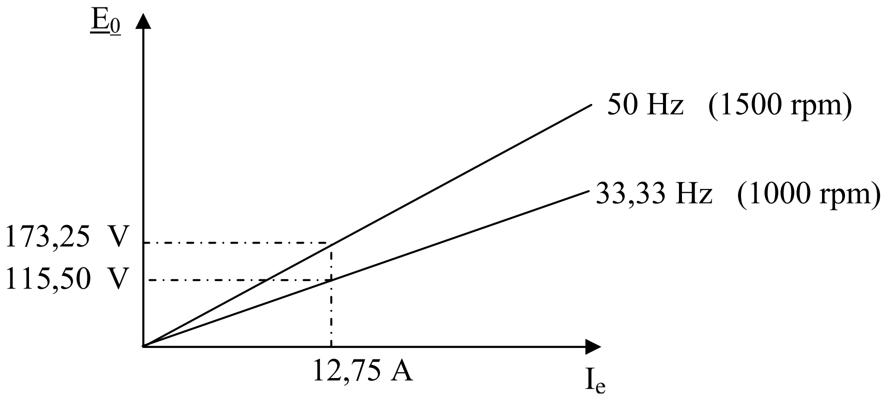
Lógicamente, idéntica característica de vacío se obtiene utilizando los datos del ensayo B.

La frecuencia correspondiente a 1000 rpm es:

$$p = \frac{60 \cdot f}{n} = \frac{60 \cdot 50}{1500} = 2 \qquad \Rightarrow \qquad f = \frac{p \cdot n}{60} = \frac{2 \cdot 1000}{60} = 33{,}33 \ \text{Hz}$$

La característica de vacío correspondiente a 33,33 Hz (1000 rpm) y excitación de 12,75 A es:

$$\left[\frac{E_{0\_33,33}}{E_{0\_50}}\right]_{I_e=cte=12,75} = \frac{33,33}{50} = \frac{2}{3} \quad \Rightarrow \quad E_{0\_33,33} = 173,25 \cdot \frac{2}{3} = 115,5 \text{ V}$$



Por tanto:

$$\left[E_{0\_33,33}\right]_{I_e=20} = 115,50 \cdot \frac{20}{12,75} = 181,18 \text{ V}$$

Como el voltímetro mide la tensión fase-fase:

$$U_0 = \sqrt{3} \cdot \left[E_{0\_33,33}\right]_{I_e=20} \quad \Rightarrow \quad \boxed{U_0 = 313,8 \text{ V}}$$

103.- Intensidad de excitación necesaria para alimentar a tensión nominal (400 V, 50 Hz) una carga que consume 150 kW con factor de potencia 0,8 inductivo.

La ecuación vectorial de un generador síncrono, considerando R=0, es:

$$\underline{E}_0 = \underline{V} + j \cdot \underline{I} \cdot X_S$$

En este caso:

$$\underline{V} = \frac{400}{\sqrt{3}} \,\underline{|0^\circ} \qquad \text{(se asigna ángulo 0º arbitrariamente)}$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} = \frac{150 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,8} = 270,633 \text{ A} \quad \Rightarrow \quad \underline{I} = 270,633 \,\underline{|-36,87^\circ}$$

$$j \cdot X_S = 0,495 \,\underline{|90^\circ}$$

Con ello resulta:

$$\underline{E}_0 = 329,25 \,\underline{|19^\circ}$$

Por tanto, con la característica de vacío a 50 Hz se obtiene:

$$I_e = \frac{329,25}{173,25} \cdot 12,75 \qquad \Rightarrow \qquad \boxed{I_e = 24,23 \ \text{A}}$$

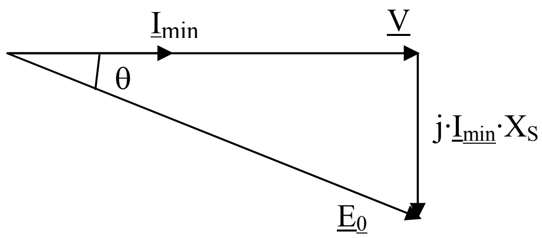
En un nuevo ensayo, la máquina se hace trabajar como motor (alimentada desde una red trifásica de 400 V a 50 Hz) arrastrando una carga mecánica que presenta un par resistente constante. El ensayo permite determinar que la intensidad que circula por el estator es mínima cuando la intensidad de excitación es de 17,5 A. Calcular:

104.- Par resistente presentado por la carga.

La ecuación vectorial de un motor síncrono, considerando R=0, es:

$$\underline{V} = \underline{E}_0 + \underline{I} \cdot jX_S$$

La intensidad es mínima cuando el motor trabaja con factor de potencia unitario (cos φ=1).



Donde se cumple que:

$$I_{min} = \frac{\sqrt{E_0^2 - V^2}}{X_S}$$

De esta expresión son conocidos los valores de:

$$E_0 = 173,25 \cdot \frac{17,5}{12,75} = 237,8 \ \text{V}$$

$$V = \frac{400}{\sqrt{3}}$$

$$X_S = 0,495 \ \Omega$$

Por tanto:

$$I_{min} = 114,5 \ \text{A}$$

El valor del par resistente presentado por la carga es igual al par desarrollado por el motor (debido a que se desprecian a efectos de cálculo las pérdidas internas).

$$\text{Par} = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n} = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi}{2 \cdot \pi \cdot n} = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot I_{min} \cdot 1}{2 \cdot \pi \cdot n} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 114,5 \cdot 1}{2 \cdot \pi \cdot \frac{1500}{60}} \qquad \Rightarrow \qquad \boxed{\text{Par} = 505 \ \text{Nm}}$$

XIX.- La placa de características de un motor asíncrono trifásico contiene los datos mostrados en la Figura XIX.1:

V	Hz	rpm	kW	cos φ	A
400 / 690	50	1470	45	0,92	74,5 / 43

Figura XIX.1:

En un ensayo de medida de resistencias, se determina que la resistencia por fase del estator es 0,12 Ω.

Despreciando a efectos de cálculo la influencia de las pérdidas en el hierro y de la rama de vacío, se pide calcular:

Cuando el motor funciona conectado a una red trifásica de 690 V a 50 Hz.

105.- Par de arranque directo.

Como se conecta a 690 V, su conexión es en estrella y su intensidad nominal 43 A. Los parámetros característicos de la máquina se calculan a partir de los datos de su placa de características.

La impedancia equivalente nominal es:

$$Z_{eN} = \frac{V_{1N}}{I_{1N}} = \frac{690/\sqrt{3}}{43} = 9{,}264458 \ \Omega$$

Por tanto:

$$R_1 + \frac{R_2'}{s_N} = Z_{eN} \cdot \cos\varphi_N = 9{,}264458 \cdot 0{,}92 = 8{,}5233 \ \Omega$$

$$X_1 + X_2' = Z_{eN} \cdot \mathrm{sen}\varphi_N = 9{,}264458 \cdot \sqrt{1-0{,}92^2} = 3{,}6309 \ \Omega$$

Teniendo en cuenta que la velocidad de sincronismo es 1500 rpm (inmediata superior a 1470 rpm entre las posibles a 50 Hz), el deslizamiento nominal es:

$$s_N = \frac{n_1 - n_{2N}}{n_1} = \frac{1500-1470}{1500} = 0{,}02$$

Los valores de resistencia son:

$$R_1 + \frac{R_2'}{s_N} = 8{,}5233 \ \Omega \qquad \Rightarrow \qquad \begin{cases} R_1 = 0{,}12 \ \Omega \\ R_2' = 0{,}168066 \ \Omega \end{cases}$$

El valor del par de arranque es:

$$C_{ma} = [C_m]_{s=1} = \left[\frac{3 \cdot V_1^2 \cdot R_2'}{2 \cdot \pi \cdot n_1 \cdot s \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(X_1 + X_2' \right)^2 \right]} \right]_{s=1} = \frac{3 \cdot V_1^2 \cdot R_2'}{2 \cdot \pi \cdot n_1 \cdot \left[\left(R_1 + R_2' \right)^2 + \left(X_1 + X_2' \right)^2 \right]}$$

Con los valores de $V_1 = \frac{690}{\sqrt{3}}$ V y $n_1 = \frac{1500}{60}$ rps , se llega a:

$$\boxed{C_{ma} = 38{,}4 \ \ \text{Nm}}$$

106.- Pérdidas por rozamiento.

$$P_R = P_{mi} - P_u = 3 \cdot I_1^2 \cdot R_2' \frac{1-s}{s} - P_u \qquad \text{(ya que en este caso } I_2' = I_1\text{)}$$

En el punto de funcionamiento nominal

$$P_R = 3 \cdot I_{1N}^2 \cdot R_2' \frac{1-s_N}{s_N} - P_{uN} = 3 \cdot 43^2 \cdot 0{,}168066 \frac{1-0{,}02}{0{,}02} - 45 \cdot 10^3 = 680{,}84 \ \ \text{W} \qquad \Rightarrow \qquad \boxed{P_R = 0{,}68 \ \ \text{kW}}$$

107.- Rango de velocidades correspondiente a la zona inestable de funcionamiento.

La velocidad correspondiente a par máximo es:

$$s_{C\max} = \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + \left(X_1 + X_2'\right)^2}} = \frac{0{,}168066}{\sqrt{0{,}12^2 + (3{,}6309)^2}} = 0{,}04626$$

$$n_{2\_C\max} = n_1 \cdot (1 - s_{C\max}) = 1500 \cdot (1 - 0{,}04626) = 1430{,}6 \ \ \text{rpm}$$

Por tanto, el rango de velocidades de la zona inestable es:

$$\boxed{0 \ \ \text{a} \ \ 1430{,}6 \ \ \text{rpm}}$$

Cuando el motor funciona conectado a una red trifásica de 400 V a 60 Hz.

108.- Intensidad de arranque en un arranque estrella-triángulo.

En un arranque estrella-triángulo, la conexión en el arranque es en estrella. Por tanto, la situación es equivalente a estudiar el arranque directo (del motor analizado en los apartados anteriores) sobre una red de 400 V, 60 Hz.

A 60 Hz:

$$\left[X_1 + X_2'\right]_{60\text{Hz}} = \left[X_1 + X_2'\right]_{50} \cdot \frac{60}{50} = 3{,}6309 \cdot \frac{60}{50} = 4{,}35708 \ \ \Omega$$

Por tanto:

$$I_{arranque} = \left[I_1\right]_{s=1} = \frac{V_1}{\sqrt{(R_1 + R_2^{'})^2 + (X_1 + X_2^{'})^2_{60Hz}}} = \frac{400\Big/\sqrt{3}}{\sqrt{(0{,}12 + 0{,}168066)^2 + (4{,}35708)^2}}$$

$$\boxed{I_{arranque} = 52{,}8 \ \text{A}}$$