

Ejercicio 2-MAs

Los ensayos de una máquina asíncrona trifásica de 400 V, 50 Hz, 4 polos, 1.410 rpm, con el estator conectado en triángulo, proporcionan los siguientes resultados:

E. VACÍO: 400 V, 6 A, 1.600 W.

E. DE ROTOR BLOQUEADO: 50 V, 20A, 1.500 W.

Resistencia por fase del estator en caliente de 2Ω .

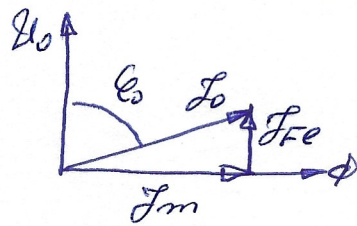
Pérdidas mecánicas consideradas constantes a diferentes velocidades y frecuencias =300 W.

Determinar:

- 1.- Los parámetros del circuito equivalente aproximado de la máquina.
- 2.- La corriente nominal, I_{1n} , y el factor de potencia nominal, $\cos\phi_{1n}$, (no despreciar la corriente de vacío I_0). Par de arranque, par máximo, par nominal y par útil.
- 3.- Si la corriente I'_2 es un 60% de la corriente de arranque, I'_{2a} , ¿cuáles serían la velocidad, el par interno y el par en el eje en esas condiciones?.
- 4.- Si a través de un convertidor de frecuencia se baja la frecuencia a 45 Hz, suponiendo que se mantiene constante el deslizamiento nominal y las pérdidas mecánicas, determinar el par de arranque, par máximo, par nominal y par útil en estas nuevas condiciones.
- 5.- Si se acciona dicha máquina mediante una turbina eólica a 1.650 rpm, ¿cuáles son las potencias activa y reactiva en bornes y cuál es el par de salida de la turbina. (Considerar el circuito equivalente aproximado y que la tensión de la red es de 400 V y la frecuencia 50 Hz no despreciar la corriente de vacío I_0).

$$1) P_0 = 1.600 = P_{Fe} + 3.2 \left(\frac{6}{\sqrt{3}} \right)^2 + 300 \Rightarrow P_{Fe} = 1.228 \text{ W}$$

$$P_{Fe} = 1.228 = \sqrt{3} \cdot U_0 I_0 \cos \phi_0 \Rightarrow \cos \phi_0 = \frac{1.228}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 6} = 0,2954$$



$$\phi_0 = 72,81^\circ \rightarrow \sin \phi_0 = 0,9554$$

$$I_{Fe} = I_0 \cos \phi_0 = \frac{6}{\sqrt{3}} \cdot 0,2954 = 1,023 \text{ A}$$

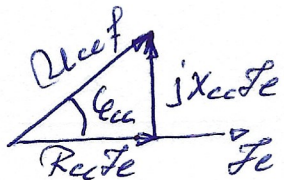
$$I_m = I_0 \sin \phi_0 = \frac{6}{\sqrt{3}} \cdot 0,9554 = 3,31 \text{ A}$$

$$R_{Fe} = \frac{U_0 I}{I_{Fe}} = \frac{400}{1,023} = 391 \Omega$$

$$X_m = \frac{U_0 I}{I_m} = \frac{400}{3,31} = 121 \Omega$$

$$P_{cc} = \sqrt{3} \cdot U_{cc} I_e \cos \phi_{cc} \Rightarrow \cos \phi_{cc} = \frac{1500}{\sqrt{3} \cdot 50 \cdot 20} = 0,8660 \quad \phi_{cc} = 30^\circ$$

$$\sin \phi_{cc} = 0,5$$

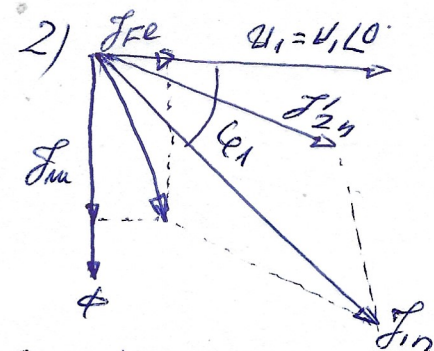


$$R_{cc} = \frac{U_{ccf} \cdot \cos \phi_{cc}}{I_{ef}} = \frac{50 \cdot 0,8660}{\frac{20}{\sqrt{3}}} = 3,75 \Omega$$

$$R'_2 = R_{cc} - R_1 = 3,75 - 2 = 1,75 \Omega$$

$$X_{cc} = \frac{U_{ccf} \cdot \sin \phi_{cc}}{I_{ef}} = \frac{50 \cdot 0,5}{\frac{20}{\sqrt{3}}} = 2,165 \Omega$$

$$Z'_{12n} = \left(2 + \frac{1,75}{0,06} \right) + j 2,165 = 31,17 + j 2,165 = 31,24 \angle 3,97^\circ \Omega$$



$$s_n = \frac{1500 - 1410}{1500} = 0,06$$

$$I'_{2nf} = \frac{400 \angle 0^\circ}{31,24 \angle 3,97^\circ} = 12,80 \angle -3,97^\circ \text{ A}$$

$$= 12,77 - j 0,886$$

$$I_{of} = 1,023 - j 3,31 \Rightarrow I_{inf} = I_o + I'_{2nf} = 13,793 - j 4,196 = 14,42 \angle -16,92^\circ$$

$$\cos \phi_1 = \cos (-16,92) = 0,9567$$

$$I_{in} = \sqrt{3} I_{inf} = 24,98 \text{ A}$$

arrangue: $s=1$

$$I'_{2f} = \frac{U_{1f}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + X_{cc}^2}}$$

$$I'_{2a} = \frac{400}{\sqrt{\left(2 + \frac{1,75}{1} \right)^2 + 2,165^2}} = 92,38 \text{ A}$$

$$M_i = \frac{3 \cdot \frac{R'_2}{s} \cdot I_{2f}^2}{2 \pi n_s \cdot 60}$$

$$M_a = \frac{3 \cdot \frac{1,75}{1} \cdot 92,38^2}{2 \pi \cdot 1500 \cdot 60} = 285,25 \text{ N.m.}$$

NOMINAL
 $s = 0,06$

$$M_n = \frac{3 \cdot \frac{1,75}{0,06} \cdot 12,80^2}{\frac{2\pi \cdot 1500}{60}} = 91,27 \text{ Nm.}$$

$$M_u = M_n - \frac{p_{mecc}}{\frac{2\pi n_r}{60}} = 91,27 - \frac{300}{\frac{2\pi \cdot 1410}{60}} = 89,24 \text{ Nm.}$$

MAXIMO. $s_m = \frac{R'_2}{\sqrt{R_{if}^2 + X_{cc}^2}} = \frac{1,75}{\sqrt{2^2 + 2,165^2}} = 0,594$

$$M_{um} = \frac{3 \cdot \frac{1,75}{0,594} \cdot 400^2}{\frac{2\pi \cdot 1500}{60} \left[\left(2 + \frac{1,75}{0,594} \right)^2 + 2,165^2 \right]} = 308,83 \text{ Nm.}$$

3)

$$0,6 \times 92,38 = 55,428 \text{ A}$$

$$55,428 = \frac{400}{\sqrt{\left(2 + \frac{1,75}{s} \right)^2 + 2,165^2}} \rightarrow 55,428^2 \left[(2+x)^2 + 2,165^2 \right] = 400^2$$

$$\rightarrow x^2 + 4x + 4 + 2,165^2 = 52,08$$

$$\rightarrow x^2 + 4x - 45,91 = 0$$

$$x = \frac{-4 \pm \sqrt{16 + 183,66}}{2} = \frac{-4 \pm 14,13}{2} = \begin{matrix} 5,06 \\ -9,065 \end{matrix}$$

$$s = \frac{1,75}{x} = \begin{matrix} 0,346 \text{ MOTOR} \\ -0,193 \text{ GEN} \end{matrix}$$

$$n_r = n_1 (1-s) = 1500 \cdot (1-0,346) = 981 \text{ rpm.}$$

$$M_i = \frac{3 \cdot \frac{1,75}{0,346} \cdot 400^2}{\frac{2\pi \cdot 1500}{60} \left[\left(2 + \frac{1,75}{0,346} \right)^2 + 2,165^2 \right]} = 283,59 \text{ Nm}$$

$$M_u = M_i - \frac{p_{mecc}}{\frac{2\pi n_r}{60}} = 283,59 - \frac{300}{\frac{2\pi \cdot 981}{60}} = 280,67 \text{ Nm.}$$

4) $f_1 = 45 \text{ Hz} \Rightarrow n_1 = \frac{60 \cdot 45}{2} = 1350 \text{ rpm.}$

si $s_n = 0,06 \Rightarrow n_r = n_1 (1-s) = 1350 (1-0,06) = 1269 \text{ rpm.}$

$$X_{cc_n} = \frac{2\pi \cdot 45}{2\pi \cdot 50} \cdot 2,165 = 1,9485 \Omega$$

arranque. $s=1$.

$$M_a = \frac{3 \cdot \frac{1,75}{1} \cdot 400^2}{\frac{2\pi \cdot 1350}{60} \left[\left(2 + \frac{1,75}{1} \right)^2 + 1,9485^2 \right]} = 332,70 \text{ Nm.}$$

nominal. $s=0,06$

$$M_m = \frac{3 \cdot \frac{1,75}{0,06} \cdot 400^2}{\frac{2\pi \cdot 1350}{60} \left[\left(2 + \frac{1,75}{0,06} \right)^2 + 1,9485^2 \right]} = 101,55 \text{ Nm.}$$

$$M_{\mu} = M_m - \frac{p_{mec}}{\frac{2\pi n_r}{60}} = 101,55 - \frac{300}{\frac{2\pi \cdot 1269}{60}} = 99,29 \text{ Nm.}$$

máximo.

$$s_m = \frac{1,75}{\sqrt{2^2 + 1,9485^2}} = 0,626\%$$

$$M_m = \frac{3 \cdot \frac{1,75}{0,626\%} \cdot 400^2}{\frac{2\pi \cdot 1350}{60} \left[\left(2 + \frac{1,75}{0,626\%} \right)^2 + 1,9485^2 \right]} = 354,25 \text{ Nm.}$$

$$5) \quad U = 400 \text{ V, } 50 \text{ Hz, } n_r = 1650, \Rightarrow s = \frac{1500 - 1650}{1500} = -0,1$$

$$R'_c = \frac{R'_2(1-s)}{s} = \frac{1,75(1+0,1)}{-0,1} = -19,25 \Omega$$

$$Z_{12} = (2 + 1,75 - 19,25) + j2,165 = 15,65 \angle 172,05^\circ \Omega$$

$$I'_{2f} = \frac{U_1}{Z_{12}} = \frac{400 \angle 0}{15,65 \angle 172,05^\circ} = 25,56 \angle -172,05^\circ = -25,31 - j3,5$$

$$I_{1f} = I_0 + I'_{2f} = (1,066 - j3,30) + (-25,31 - j3,5) = -24,244 - j6,8$$

$$S_{1f} = 3 U_{0f} I_{1f}^* = 3 \cdot 400 \cdot (-24,244 + j6,8) = -29.093 + j8.160 = P_G + jQ_G$$

$$P_{mec} = 3 (-19,25) \cdot 25,56^2 = -37.728,86 \text{ W}$$

$$M_T = \frac{37.728,86 + 300}{\frac{2\pi \cdot 1650}{60}} = 220,09 \text{ Nm.}$$