

Ejercicio 191216

Una máquina asíncrona de rotor bobinado de 400 V, 50 Hz, 950 rpm, con el estator en estrella, se somete a ensayos y se obtienen los siguientes resultados:

Ensayo en vacío: 400 V, 6 A, 1000 W

Ensayo a rotor bloqueado: 70 V, 20 A, 1.200 W

Medida de la resistencia por fase del estator en caliente = 0,60 Ω

Pérdidas mecánicas, consideradas constantes a diferentes velocidades = 300 W

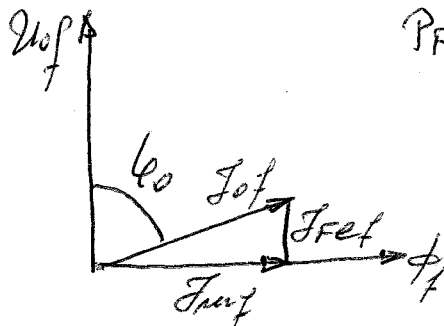
Determinar:

- Los parámetros del circuito equivalente aproximado
- Corriente nominal, factor de potencia, par máximo, par de arranque, par nominal y par útil.
- ¿Qué resistencia, referida al primario, se ha de conectar en serie con el devanado secundario para tener el par máximo en el arranque.
- Si la corriente es el 60% de la corriente de arranque, ¿qué velocidad y par tendría la máquina?
- Si a la máquina se le acopla una turbina hidráulica que la hace girar a 1060 rpm, ¿cuales serán las potencias activa y reactiva que la máquina entrega a la red de 400 V y que par ha de desarrollar la turbina?

$$a) P_0 = P_{Fe} + P_{\text{perd}_{mec}} + 3 R_1 I_0^2 = P_{Fe} + 300 + 3 \cdot 0,60 \cdot 6^2$$

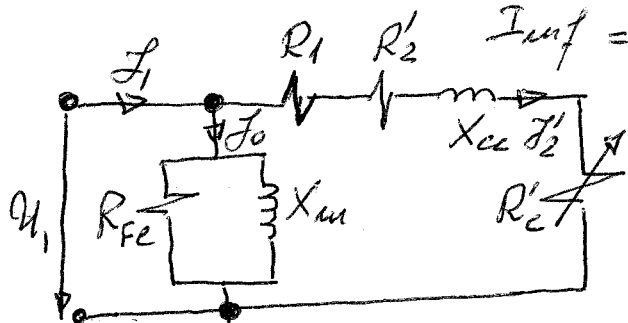
$$\Rightarrow P_{Fe} = P_0 - 364,8 = 1000 - 364,8 = 635,2 \text{ W}$$

$$P_{Fe} = \sqrt{3} \cdot U_0 I_0 \cos \phi_0 \Rightarrow \cos \phi_0 = \frac{P_{Fe}}{\sqrt{3} \cdot U_0 I_0} = \frac{635,2 \text{ W}}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 6} = 0,1528 \Rightarrow \phi_0 = 81,21^\circ$$

$$\sin \phi_0 = 0,9883$$


$$I_{Fe} = I_0 \cos \phi_0 = 6 \cdot 0,1528 = 0,9168 \text{ A}$$

$$I_{mf} = I_0 \sin \phi_0 = 6 \cdot 0,9883 = 5,93 \text{ A}$$

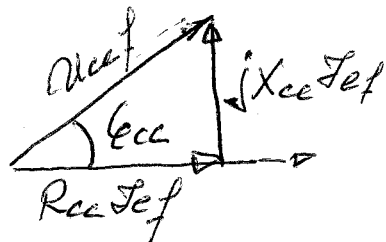


$$R_{Fe} = \frac{U_0}{I_{Fe}} = \frac{400}{0,9168} = 251,90 \Omega$$

$$X_{m1} = \frac{U_0}{I_{mf}} = \frac{400}{5,93} = 38,94 \Omega$$

$$\cos \phi_{cc} = \frac{P_{cc}}{\sqrt{3} U_{cc} I_e} = \frac{1200}{\sqrt{3} \cdot 70 \cdot 20} = 0,4949$$

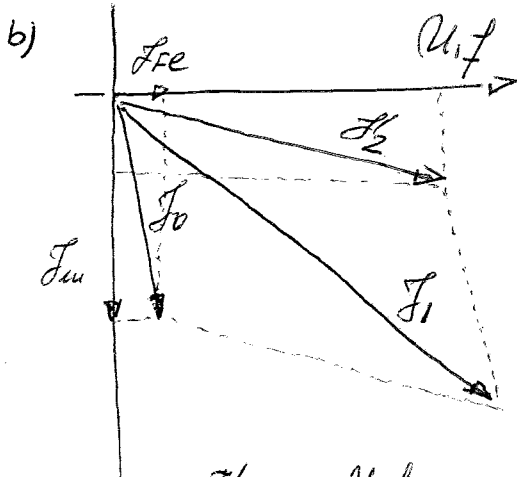
$$\phi_{cc} = 60,34^\circ \Rightarrow \sin \phi_{cc} = 0,8690$$



$$R_{ccf} = \frac{U_{cc} \cos \phi_{cc}}{I_e} = \frac{70 \cdot 0,4949}{20} = 1 \Omega$$

$$R_{ccf} = R_{1f} + R'_{2f} = 0,6 + R'_{2f} \Rightarrow R'_{2f} = 1 - 0,60 = 0,40 \Omega$$

$$X_{ccf} = \frac{U_{cc} \sin \phi_{cc}}{I_e} = \frac{70 \cdot 0,8690}{20} = 1,76 \Omega$$



$$s_n = \frac{1000 - 950}{1000} = 0,05$$

$$R'_n = \frac{R'_2(1-s)}{s} = \frac{0,4(1-0,05)}{0,05} = 7,6 \Omega$$

$$\begin{aligned} Z_{12} &= (0,60 + 0,40 + 7,6) + j1,76 = \\ &= 8,6 + j1,76 = 8,78 \angle 11,5^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I'_{2n} &= \frac{U_{1f}}{Z_{12}} = \frac{\frac{400}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ}{8,78 \angle 11,5^\circ} = 26,30 \angle -11,5^\circ \text{ A} \\ &= 25,77 - j5,27 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{fn} &= I_0 + I'_{2n} = (0,9168 - j5,93) + (25,77 - j5,27) = 26,69 - j11,2 \\ &= 28,94 \angle -22,76^\circ \text{ A} \quad \cos \phi = 0,922 \text{ inductive} \end{aligned}$$

MAXIMO

$$s_m = \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_{cc}^2}} = \frac{0,4}{\sqrt{0,6^2 + 1,76^2}} = 0,215 \quad M_i = \frac{3 \cdot \frac{R'_2}{s} U_f^2}{\frac{2\pi n_1}{60} [(R_1 + \frac{R'_2}{s})^2 + X_{cc}^2]}$$

$$M_m = \frac{3 \cdot \frac{0,4}{0,215} \cdot \left(\frac{400}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{2\pi \cdot 1000}{60} \left[\left(0,6 + \frac{0,4}{0,215}\right)^2 + 1,76^2\right]} = 310,61 \text{ Nm.}$$

ARRANQUE

$$s=1 \quad M_a = \frac{3 \cdot \frac{0,4}{1} \cdot \left(\frac{400}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{2\pi \cdot 1000}{60} \left[\left(0,6 + \frac{0,4}{1}\right)^2 + 1,76^2\right]} = 149,15 \text{ Nm.}$$

NOMINAL

$$s=0,05 \quad M_n = \frac{3 \cdot \frac{0,4}{0,05} \cdot \left(\frac{400}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{2\pi \cdot 1000}{60} \left[\left(0,6 + \frac{0,4}{0,05}\right)^2 + 1,76^2\right]} = 158,62 \text{ Nm}$$

$$\begin{aligned} M_p &= \frac{P_{\text{red, mec}}}{\frac{2\pi n_r}{60}} = \frac{300}{\frac{2\pi \cdot 950}{60}} = 3,02 \text{ Nm} \quad \underline{M_m} = M_n - M_p = 158,62 - 3,02 \\ &= 155,60 \text{ Nm} \end{aligned}$$

c)

$$\begin{aligned} 1 &= \frac{R'_2 + R'_r}{\sqrt{0,6^2 + 1,76^2}} \Rightarrow R'_2 + R'_r = 1,86 \Rightarrow R'_r = 1,86 - R'_2 = \\ &= 1,86 - 0,4 = 1,46 \Omega \end{aligned}$$

$$d) \quad I_2' = \frac{U_{if}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + X_{cc}^2}} \quad s=1 \Rightarrow I_{2a}' = \frac{\frac{400}{\sqrt{3}}}{\sqrt{(0,6 + \frac{0,4}{1})^2 + 1,76^2}} = 114,09 \text{ A}$$

$$0,6 \times 114,09 = 68,45 \text{ A}$$

$$68,45 = \frac{\frac{400}{\sqrt{3}}}{\sqrt{(0,6 + \frac{0,4}{s_1})^2 + 1,76^2}} \Rightarrow (0,6 + x)^2 + 1,76^2 = 11,38$$

$$0,36 + 1,2x + x^2 + 3,0976 = 11,38$$

$$x^2 + 1,2x - 7,92 = 0$$

$$x = \frac{-1,2 \pm \sqrt{1,2^2 + 4 \cdot 7,92}}{2} = \begin{cases} 2,28 \\ -3,475 \end{cases} \quad s_1 = \frac{0,4}{x} = \begin{cases} 0,175 \\ -0,115 \end{cases}$$

$$s_1 = \frac{n_1 - n_r}{n_1} \Rightarrow 0,175 \cdot 1000 = 1000 - n_r \Rightarrow n_r = 825 \text{ rpm}$$

$$M_1 = \frac{3 \cdot \frac{0,4}{0,175} \left(\frac{400}{\sqrt{3}} \right)^2}{\frac{2\pi \cdot 1000}{60} \left[\left(0,6 + \frac{0,4}{0,175} \right)^2 + 1,76^2 \right]} = 305,67 \text{ Nm}$$

$$e) \quad s_g = \frac{1000 - 1060}{1000} = -0,06 \quad R_c' = \frac{0,4(1+0,06)}{-0,06} = -7,07 \Omega$$

$$Z_{12} = (0,6 + 0,4 - 7,07) + j1,76 = -6,07 + j1,76 = 6,32 \angle 163,83^\circ$$

$$I_2' = \frac{U_{if}}{Z_{12}} = \frac{\frac{400}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ}{6,32 \angle 163,83^\circ} = 36,54 \angle -163,83^\circ = -35,09 - j10,18$$

$$I_{if} = I_{of} + I_2' = (0,9168 - j5,93) + (-35,09 - j10,18) = -34,17 - j16,11$$

$$I_{if}^* = -34,17 + j16,11$$

$$P_i = 3 \cdot U_{if} I_{if}^* = 3 \cdot \frac{400}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ \cdot (-34,17 + j16,11) = -23674 + j11.161$$

$P = -23674 \text{ W}$ potência cedida por a máquina
 $Q = 11.161 \text{ VAR}$ potência reactiva absorvida

$$P_{mec} = 3 \cdot (-7,07) \cdot 36,54^2 = -28.319 \text{ W}$$

$$M_T = \frac{|P_{mec} + P_{perd,mec}|}{\Omega_r} = \frac{28.319 + 300}{\frac{2\pi \cdot 1060}{60}} = 257,82 \text{ Nm}$$