ME - 21-12-2015

Una máquina asíncrona trifásica cuyo estator en triángulo está conectada a una red de 400 V, 50 Hz, siendo su velocidad nominal actuando como motor de 970 rpm. Su rotor bobinado, también trifásico, tiene una tensión entre escobillas a circuito abierto de 500 V. Se somete a esta máquina a ensayos y se obtienen los siguientes resultados:

ENSAYO EN VACÍO: 400 V, 6 A, 1000 W

ENSAYO A ROTOR BLOQUEADO: 60 V, 17 A, 1200 W.

Medida de la resistencia por fase del estator en caliente= 3 Ω

Pérdidas mecánicas consideradas constantes a las diferentes velocidades = 250 W.

Determinar:

1.- Los parámetros del circuito equivalente aproximado.

2.- La corriente de arranque y la corriente nominal.

3.- Par de arranque, par nominal, par máximo, par útil en condiciones nominales y capacidad de sobrecarga en el funcionamiento de la máquina como motor.

4.- Determinar la resistencia del reóstato que sería preciso añadir en serie con el rotor para obtener el par máximo en el arranque.

5.- Si se reduce la corriente a la mitad de la corriente de arranque, sin considerar la corriente de vacío, determinar: cuál será la velocidad del motor, el par interno y el par útil en estas condiciones.

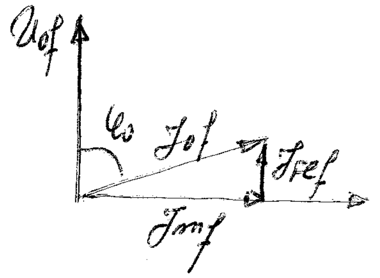
6.- Si la máquina se acciona mediante una turbina eólica a 1.050 rpm, que potencias activa y reactiva entregaría/recibiría a/de la red de 400 V y cuál sería el par que tendría que desarrollar la turbina eólica.

1) $P_0 = P_{Fe} + 3R_{1f} \cdot I_{0f}^2 + P_{mec} = P_{Fe} + 3 \cdot 3\left(\frac{6}{\sqrt{3}}\right)^2 + 250 = 1000\ W$

$P_{Fe} = 1000 - 108 - 250 = 642\ W$

$P_{Fe} = \sqrt{3} \cdot U_0 I_0 \cos\varphi_0 \Rightarrow \cos\varphi_0 = \frac{P_{Fe}}{\sqrt{3}\, U_0 I_0} = \frac{642}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 6} = 0{,}1544$

$\Rightarrow \varphi_0 = 81{,}12^\circ \Rightarrow \operatorname{sen}\varphi_0 = 0{,}988$



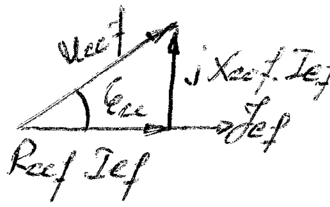
$I_{Fef} = I_{0f} \cos\varphi_0 = \frac{6}{\sqrt{3}} \cdot 0{,}1544 = \cancel{0{,}98}\ 0{,}535\ A$

$I_{mf} = I_{0f} \operatorname{sen}\varphi_0 = \frac{6}{\sqrt{3}} \cdot 0{,}988 = 3{,}423\ A$

$R_{Fef} = \frac{U_{0f}}{I_{Fef}} = \frac{400}{0{,}535} = 747{,}66\ \Omega \qquad X_\mu = \frac{U_{0f}}{I_{mf}} = \frac{400}{3{,}423} = 116{,}86\ \Omega$

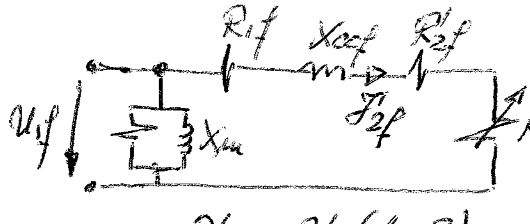
$P_{cc} = \sqrt{3}\, U_c I_e \cos\varphi_{cc} \Rightarrow \cos\varphi_{cc} = \frac{1200}{\sqrt{3} \cdot 60 \cdot 17} = 0{,}679 \Rightarrow \varphi_{cc} = 47{,}22^\circ$

$\operatorname{sen}\varphi_{cc} = 0{,}734$



$R_{ccf} = \frac{U_{ccf} \cdot \cos\varphi_{cc}}{I_{ef}} = \frac{60 \cdot 0{,}679}{\frac{17}{\sqrt{3}}} = 4{,}15\ \Omega$

$R_{ccf} = R_{1f} + R'_{2f} \Rightarrow R'_{2f} = 4{,}15 - 3 = 1{,}15\ \Omega$



$X_{ccf} = \frac{U_{ccf} \cdot \operatorname{sen}\varphi_{cc}}{I_{ef}} = \frac{60 \cdot 0{,}734}{\frac{17}{\sqrt{3}}} = 4{,}49\ \Omega$

$R'_c = R'_2 \frac{(1-s)}{s}$

$I'_{2f} = \frac{U_{1f}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_{cc}^2}} \; ; \; M_i = \frac{3 \cdot \frac{R'_2}{s}}{\frac{2\pi n_1}{60}} \cdot I'^2_{2f}$

2.- ARRANQUE $\Rightarrow s=1$

$$I'_{2fa} = \frac{400}{\sqrt{\left(3+\frac{1.15}{1}\right)^2+4.49^2}} = \frac{400}{6,357} = \underline{65,42A}$$

NOMINAL $\quad s_n = \frac{1000-970}{1000} = 0,03$

$$I'_{2fn} = \frac{400}{\sqrt{\left(3+\frac{1,15}{0,03}\right)^2+4.49^2}} = \underline{9,62A}$$

3.- $$M_a = \frac{3 \cdot \frac{1,15}{1}}{\frac{2\pi \cdot 1000}{60}} \cdot 65,42^2 = \underline{141\ Nm}$$

$$M_n = \frac{3 \cdot \frac{1,15}{0,03}}{\frac{2\pi \cdot 1000}{60}} \cdot 9,62^2 = \underline{101,63\ Nm.}$$

$$M_u = M_n - M_p = 101,63 - \frac{250}{\frac{2\pi \cdot 970}{60}} = \underline{99,17\ Nm.}$$

$$s_m = \frac{R'_2}{\sqrt{R_{1f}^2 + X_{cef}^2}} = \frac{1,15}{\sqrt{3^2+4,49^2}} = 0,213$$

$$M_m = \frac{3 \cdot \frac{1,15}{0,213} \quad 400^2}{\frac{2\pi \cdot 1000}{60}\left[\left(3+\frac{1,15}{0,213}\right)^2+4,49^2\right]} = \underline{272,84\ Nm.}$$

$$cs = \frac{M_m}{M_n} = \frac{272,84}{101,63} = \underline{2,68}$$

4.- $$1 = \frac{R'_2 + R'_r}{\sqrt{R_{1f}^2 + X_{cef}^2}} = \frac{1,15+R'_r}{\sqrt{3^2+4,49^2}} = \frac{1,15+R'_r}{5,4} \Rightarrow R'_r = 5,4 - 1,15 = 4,25\,\Omega$$

$$m_1 = m_2 = 3 \Rightarrow r_i = r_u = \frac{400}{\frac{500}{\sqrt{3}}} = 1,3856$$

$$R'_r = r_u \cdot r_i \cdot R_r \Rightarrow R_r = \frac{R'_r}{r_u \cdot r_i} = \frac{4,25}{1,3856 \times 1,3856} = \underline{2,21\,\Omega}$$

5,- $$\frac{65,42}{2} = \frac{400}{\sqrt{\left(3+\frac{1,15}{s}\right)^2+4,49^2}} \quad \left(s;\ x=\frac{1,15}{s}\right) \Rightarrow 32,71^2 \cdot \left[(3+x)^2+4,49^2\right] = 400^2$$

$$x^2+6x+9 = \left(\frac{400}{32,71}\right)^2 - 4,49^2 = 129,38 \Rightarrow x^2+6x-120,38=0$$

$$x = \frac{-6 \pm \sqrt{36+481,52}}{2} = \frac{-6 \pm 22,75}{2} = \begin{cases} 8,374 \\ -14,375 \end{cases} \quad s = \frac{1,15}{x} = \begin{cases} \underline{0,137} & \text{MOTOR} \\ -0,08 & \text{GEN} \end{cases}$$

$$s = 0{,}137 = \frac{1000 - n_r}{1000} \Rightarrow n_r = 1000 - 0{,}137 \cdot 1000 = 863 \text{ rpm}$$

$$M_i = \frac{3 \cdot \frac{1{,}15}{0{,}137} \cdot 400^2}{\frac{2\pi \cdot 1000}{60}\left[\left(3 + \frac{1{,}15}{0{,}137}\right)^2 + 4{,}49^2\right]} = \underline{256{,}53 \text{ Nm}}$$

6.- $$s_g = \frac{1000 - 1050}{1000} = 0{,}05 \qquad R'_c = \frac{1{,}15(1+0{,}05)}{-0{,}05} = \underline{-24{,}15\ \Omega}$$

$$Z_{12f} = (3 + 1{,}15 - 24{,}15) + j4{,}49 = -20 + j4{,}49 = 20{,}5 \underline{/167{,}35}$$

$$I'_{2f} = \frac{U_{1f}}{Z_{12f}} = \frac{400\,\underline{/0^\circ}}{20{,}5\,\underline{/167{,}35}} = 19{,}51\,\underline{/-167{,}35} = -19{,}04 - j4{,}27$$

$$I_{1f} = I_0 + I'_{2f} = (0{,}535 - j3{,}423) - 19{,}04 - j4{,}27 = -18{,}5 - j7{,}693$$

$$S = 3U_{1f} \cdot I_{1f}^* = 3 \cdot 400(-18{,}5 + j7{,}693) = -22.200 + j9231{,}6 = P + jQ$$

$P = -22.200$ W $\quad Q = 9.231{,}6$ VAr (Absorbida de la red de 400V)

$$P_{mg} = 3 \cdot R'_{cf} \cdot I'^2_{2f} = 3(-24{,}15) \cdot 19{,}51^2 = -27.577{,}38 \text{ W}$$

$$M_T = \frac{P_{mg} + perd_{mec}}{\frac{2\pi n_g}{60}} = \frac{27.577{,}38 + 250}{\frac{2\pi \cdot 1050}{60}} = \underline{253 \text{ Nm}}$$