

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

Ensayo de VACÍO: 400 V, 11 A, 1.300 W.

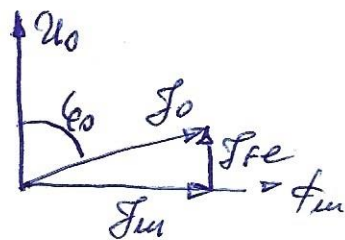
E. ROTOR BLOQUEADO: 80 V, 13 A, 900 W.

Suponiendo las pérdidas mecánicas son de 300 W, que se mantienen constantes a las diferentes velocidades, que la resistencia por fase del estator es $R_{1f}=1,7 \text{ Ohmios}$ y la relación de reactancias $X'_2/X_{cc}=0,5$. Determinar:

- Los parámetros del circuito equivalente del motor.
- Par de arranque, par máximo y par nominal, si la velocidad nominal es de 1.425 rpm.
- Estando la máquina funcionando como motor a la velocidad nominal se la quiere frenar haciéndola funcionar como freno a contracorriente. Para ello se permutan dos fases de la red de alimentación. Calcular la corriente de fase en el estator y el par de frenado justo después de realizar esta conmutación de las fases cuando, por inercia, la máquina aún no ha cambiado su velocidad. ¿Cuál será el máximo par de frenado que la máquina puede proporcionar funcionando de esta manera y a qué velocidad se produce?.
- Ahora la máquina está alimentada mediante un convertidor de frecuencia que actúa como una fuente de tensión. Estando la máquina funcionando como motor a la velocidad nominal, se la quiere frenar haciéndolo funcionar como generador (frenado regenerativo). Para ello se reduce la frecuencia del estator a $f_1=45 \text{ Hz}$ y la tensión de línea para a ser 370 V. Calcular los valores de la corriente de fase en el estator y del par de frenado justo después de realizar este cambio de la frecuencia cuando, por inercia, la máquina aún no ha cambiado su velocidad.
- Como continuación del apartado anterior, cuando la máquina funciona alimentada con su tensión y frecuencia nominales. ¿Cuál será el máximo par de frenado regenerativo que la máquina puede proporcionar y a qué velocidad se produce?.

$$a) P_0 = P_{Fe} + P_{mec} + 3 R_{1f} \cdot I_{1f}^2 \Rightarrow P_{Fe} = 1.300 - 300 - 3 \cdot 1,7 \left(\frac{11}{\sqrt{3}} \right)^2 = 794,3 \text{ W}$$

$$P_{Fe} = \sqrt{3} \cdot U_0 I_0 \cos \theta_0 \Rightarrow \cos \theta_0 = \frac{P_{Fe}}{\sqrt{3} \cdot U_0 I_0} = \frac{794,3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 11} = 0,1042 \Rightarrow \theta_0 = 84,02^\circ$$

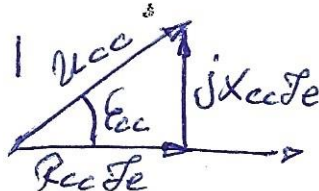


$$I_{fe} = I_0 \cos \theta_0 = \frac{11}{\sqrt{3}} \cdot 0,1042 = 0,66 \text{ A}$$

$$I_m = I_0 \sin \theta_0 = \frac{11}{\sqrt{3}} \cdot 0,9946 = 6,32 \text{ A}$$

$$R_{Fe} = \frac{U_0}{I_{fe}} = \frac{400}{0,66} = 606,06 \Omega \quad X_m = \frac{U_0}{I_m} = \frac{400}{6,32} = 63,29 \Omega$$

$$P_{cc} = \sqrt{3} U_{cc} I_e \cos \theta_{cc} \Rightarrow \cos \theta_{cc} = \frac{P_{cc}}{\sqrt{3} U_{cc} I_e} = \frac{900}{\sqrt{3} \cdot 80 \cdot 13} = 0,4996 \Rightarrow \theta_{cc} = 60,02^\circ$$



$$R_{cc} = \frac{U_{cc} \cos \theta_{cc}}{I_e} = \frac{80 \cdot 0,4996}{\frac{13}{\sqrt{3}}} = 5,33 \Omega$$

$$X_{cc} = \frac{U_{cc} \sin \theta_{cc}}{I_e} = \frac{80 \cdot 0,8662}{\frac{13}{\sqrt{3}}} = 9,23 \Omega$$

$$R'_2 = R_{cc} - R_1 = 5,33 - 1,7 = 3,63 \Omega$$

$$X'_2 = 0,5 \cdot X_{cc} = 0,5 \cdot 9,23 = 4,615 \Omega = X_1$$

$$b) \quad M = \frac{3 \frac{R'_2}{s} U_{if}^2}{\frac{2\pi n_s}{60} \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + X_{cc}^2 \right]} \quad n_s = \frac{60 f_1}{P} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ rpm}$$

arranque: $s=1$

$$M_a = \frac{3 \cdot \frac{3,63}{1} \cdot 400^2}{\frac{2\pi \cdot 1500}{60} \left[\left(1,7 + \frac{3,63}{1} \right)^2 + 9,23^2 \right]} = 97,64 \text{ Nm}$$

máximo:

$$s_m = \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_{cc}^2}} = \frac{3,63}{\sqrt{1,7^2 + 9,23^2}} = 0,3868$$

$$M_M = \frac{3 \cdot \frac{3,63}{0,3868} \cdot 400^2}{\frac{2\pi \cdot 1500}{60} \left[\left(1,7 + \frac{3,63}{0,3868} \right)^2 + 9,23^2 \right]} = 137,83 \text{ Nm}$$

nominal:

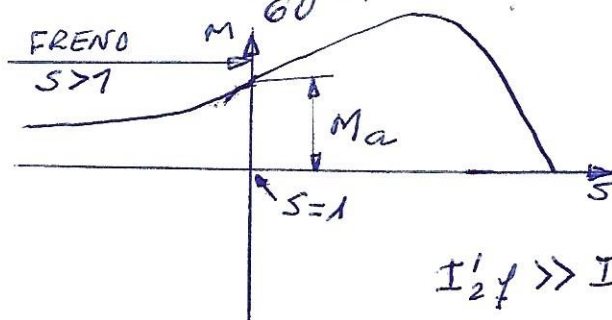
$$s_m = \frac{n_s - n_n}{n_s} = \frac{1500 - 1425}{1500} = 0,05$$

$$M_n = \frac{3 \cdot \frac{3,63}{0,05} \cdot 400^2}{\frac{2\pi \cdot 1500}{60} \left[\left(1,7 + \frac{3,63}{0,05} \right)^2 + 9,23^2 \right]} = 39,58 \text{ Nm}$$

$$c) \quad \left. \begin{array}{l} n_s = -1500 \text{ rpm} \\ n_n = 1425 \text{ rpm} \end{array} \right\} s = \frac{n_s - n_n}{n_s} = \frac{-1500 - 1425}{-1500} = 1,95$$

$$I'_{2f} = \frac{400}{\sqrt{\left(1,7 + \frac{3,63}{1,95} \right)^2 + 9,23^2}} = 40,43 \text{ A}$$

$$M = \frac{3 \frac{R'_2}{s} \cdot I_{2f}^2}{\frac{2\pi n_s}{60}} = \frac{3 \cdot \frac{3,63}{1,95} \cdot 40,43^2}{-\frac{2\pi \cdot 1500}{60}} = -58,11 \text{ Nm}$$



$$M_{\text{freno}} = -M_{\text{motor}} = -97,64 \text{ Nm}$$

$$n_r = 0$$

$$I'_{2f} \gg I_{0f} \rightarrow I_{1f} \approx I'_{2f}$$

$$I_{1L} = \sqrt{3} I_f = \sqrt{3} \cdot 40,43 = 70,03 \text{ A}$$

$$d) U_1 = 370 \text{ V} \quad f_1 = 45 \text{ Hz} \quad n_s = \frac{60 \cdot 45}{2} = 1350 \text{ rpm.}$$

$$s'_1 f_1 = 50 \text{ Hz} \quad s_n = \frac{1350 - 1425}{1350} = -0,0556$$

$$L_{d1} = \frac{X_1}{2\pi f_1} = \frac{4,615}{2\pi \cdot 50} = 0,01469 \text{ H}$$

$$L'_{d2} = \frac{X'_2}{2\pi f_1} = \frac{4,615}{2\pi \cdot 50} = 0,01469 \text{ H}$$

$$L_{cc} = \frac{X_{cc}}{2\pi f_1} = \frac{9,23}{2\pi \cdot 50} = 0,02938 \text{ H}$$

$$L_m = \frac{X_m}{2\pi f_1} = \frac{63,29}{2\pi \cdot 50} = 0,20146 \text{ H}$$

$$\text{Para } f_1 = 45 \text{ Hz}$$

$$X_1 = 2\pi f_1 L_{d1} = 2\pi \cdot 45 \cdot 0,01469 = 4,15 \Omega = X'_2$$

$$X_{cc} = 2\pi f_1 L_{cc} = 2\pi \cdot 45 \cdot 0,02938 = 8,31 \Omega$$

$$X_m = 2\pi f_1 L_m = 2\pi \cdot 45 \cdot 0,20146 = 56,96 \Omega$$

$$I'_2 = \frac{370}{\sqrt{\left(1,7 - \frac{3,63}{0,0556}\right)^2 + 8,31^2}} = 5,77 \text{ A}$$

$$M = \frac{3 \cdot \frac{3,63}{-0,0556} \cdot 5,77^2}{\frac{2\pi \cdot 1350}{60}} = 46,63 \text{ Nm}$$

$$I_{Fe} = \frac{W_f}{R_{Fe}} = \frac{370}{606,06} = 0,61 \text{ A} \quad I_m = \frac{W_f}{X_m} = \frac{370}{56,96} = 6,50 \text{ A}$$

$$I_0 = \sqrt{0,61^2 + 6,50^2} = 6,52 \text{ A} \quad I_1 = \sqrt{6,52^2 + 5,77^2} = 8,71 \text{ A}$$

$$I_{1L} = \sqrt{3} \cdot 8,71 = 15,08 \text{ A}$$

$$e) s'_m = -s_m = -0,3868$$

$$n'_m = n_s(1 - s'_m) = 1500 \cdot [1 - (-0,3868)] = 2.080 \text{ rpm.}$$

$$M'_{m1} = \frac{3 \cdot \left(\frac{3,63}{-0,3868}\right) \cdot 400^2}{\frac{2\pi \cdot 1500}{60} \left[\left(1,7 - \frac{3,63}{0,3868}\right)^2 + 9,23^2\right]} = -198,81 \text{ Nm}$$