

 PROBLEMA MÁQUINA ASÍNCRONA

El ascensor de una vivienda tiene instalado como máquina motriz un motor de inducción trifásico, de jaula de ardilla, 220/380V, 50 Hz 120 polos y 48.5 r.p.m. Los resultados obtenidos tras ensayar la máquina funcionando en vacío y funcionando con el rotor bloqueado, con la conexión estatórica adecuada e idéntica en ambos ensayos, son los siguientes:

Ensayo Vacío: $V_0=220V$; $I_0=7.65 A$; $P_0=756 W$; $n_0=49,85 r.p.m.$ despreciar las pérdidas en el bobinado (pérdidas en el cobre) en el ensayo.

Ensayo Rotor Bloqueado: $V_{cc}=20,2 V$; $I_{cc}=17.11 A$; $P_{cc}=542 W$

Con el objetivo de obtener el valor de la resistencia del devanado estatórico, con el motor conexionado de la misma forma que en los ensayos, se ha aplicado entre dos de las fases del estator una tensión de corriente continua de 6 V y se ha medido una intensidad de 9 A. Considerar constante el par de pérdidas mecánicas de la máquina, $P_m=502 W$.

La red eléctrica de alimentación a la máquina es trifásica 220 V y 50 Hz.

Se pide:

- 1) Conexión del motor, así como dibujo de la placa de bornes normalizada.
- 2) Circuito equivalente aproximado, por fase, de la máquina.
- 3) Deslizamiento en condiciones nominales.
- 4) Corriente nominal línea.
- 5) Potencia nominal que desarrolla el motor.
- 6) Rendimiento en condiciones nominales.
- 7) Par nominal.
- 8) Velocidad de ascenso de la cabina del ascensor (en m/s) sabiendo que trasporta 6 personas de 80 kg y que el radio de la polea que acciona es de 0,2 m; el par resistente debido a las pérdidas mecánicas es $T_m=P_m/(2\pi n_0/60)$. El peso de la cabina se compensa con contrapesos. (Considerar $g=10m/s^2$)

Nota: Recordar que el par desarrollado por la máquina T debe ser igual al T_m+T_{peso} . El par desarrollado por el motor es igual a

$$T = \frac{3 \frac{R'_2}{s} V_1^2}{2\pi \frac{n_1}{60} \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + X_{cc}^2 \right]}$$

- 9) Par inicial de arranque.
- 10) Velocidad a la que se obtiene el par máximo.
- 11) Valor del par máximo.
- 12) Suponiendo un momento de inercia en el eje del motor (momento de inercia del motor más momento de inercia de la carga en el eje) $J=100 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2$, determinar el tiempo de arranque para el ascensor cuando el par de carga es el nominal usando la aproximación dada por el cuaderno de aplicaciones técnicas de ABB del aula virtual.
- 13) Determinar el valor aproximado de la corriente inicial de arranque y la corriente de arranque según Norma IEC 60947-4-4 (ver el cuaderno de aplicaciones técnicas de ABB).
- 14) ¿Cómo influyen los resultados del apartado 4), 12) y 13) a la hora de escoger un guarda-motor para este motor?
- 15) Suponer un arranque directo, como muestra el esquema de la figura 5 del cuaderno de aplicación técnica de ABB (del aula virtual), especificar que contactor, interruptor magnético y relé térmico usarías (escoger uno de los que se encuentra en la tabla correspondiente en el cuaderno de aplicaciones técnicas de ABB) para un arranque tipo 2.
- 16) ¿Qué diferencia hay entre una coordinación tipo 1 y una coordinación tipo 2?
- 17) Si por algún motivo faltase una de las fases de alimentación de nuestro motor del ascensor mientras gira ¿qué pasaría con el relé térmico?

Solución:

1)

Como la máquina de inducción es de 220/380 V, entonces, sobre una red de alimentación de 220 V, su estator se deberá conectar en triángulo.

2)

Para obtener el circuito equivalente aproximado de la máquina se analiza cada uno de los ensayos que se han realizado a la misma:

Medida de resistencia estática:

-tensión de c.c. de 6 V entre dos fases midiéndose una intensidad de 9 A.

$$R_{eq} = (2R_1) // R_1 = 2/3 R_1 = 6/9, \quad R_1 = 3/2 \cdot 6/9 = 1 \text{ ohm}$$

Ensayo de rotor bloqueado:

El circuito equivalente por fase, con conexión triángulo, del ensayo

$$I_{cc} = 17.11 / \sqrt{3} = 9.878 \text{ A}$$

$$P_{cc} = 3 \cdot V_{cc} \cdot I_{cc} \cdot \cos \varphi_{cc}, \quad \cos \varphi_{cc} = 542 / (3 \cdot 20.2 \cdot 9.878) = 0.905$$

$$\sin \varphi_{cc} = 0.424$$

$$R_{cc} = V_{Rcc} / I_{cc} = V_{cc} \cdot \cos \varphi_{cc} / I_{cc} = 1.851 \text{ ohm}$$

$$R_{cc} = R_1 + R'_2 = 1 + R'_2, \quad R'_2 = 0.851 \text{ ohm}$$

$$X_{cc} = V_{Xcc} / I_{cc} = V_{cc} \cdot \sin \varphi_{cc} / I_{cc} = 0.867 \text{ ohm}$$

$$s = (n_1 - n) / n_1 = (50 - 49.85) / 50 = 0.003$$

$$R'_c = R'_2 \cdot (1/s - 1) = 0.851 \cdot (1/0.003 - 1) = 282.816 \text{ ohm}$$

Ensayo de rotor libre:

$$I_0 = 7.65 / \sqrt{3} = 4.417 \text{ A}$$

$$P_0 = P_{Fe} + P_m + P_{Cu} = P_{Fe} + 502 + 0, \quad P_{Fe} = 756 - 502 = 254 \text{ W}$$

$$P_{Fe} = 3 \cdot V_0 \cdot I_0 \cdot \cos \varphi_0$$

$$\cos\phi_0 = 254 / (3 \cdot 220 \cdot 4.417) = 0.087$$

$$\sin\phi_0 = 0.996$$

$$R_{Fe} = V_0 / I_{Fe} = V_0 / (I_0 \cos\phi_0) = 220 / (4.417 \cdot 0.087) = 572.501 \text{ ohm}$$

$$X_{\mu} = V_0 / I_{\mu} = V_0 / (I_0 \sin\phi_0) = 220 / (4.417 \cdot 0.996) = 50.007 \text{ ohm}$$

3)

Deslizamiento en condiciones nominales

$$s = 0.03 = 3\%$$

4)

Corriente nominal línea

$$\text{En este caso } R'_c = R'_2 \cdot (1/s - 1) = 0.851 \cdot (1/0.03 - 1) = 27.5157 \text{ ohm}$$

$$I_0 = 0.38302 \text{ A}$$

$$I'_2 = 7.48822 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} I_{1n(\text{fase})} &= I_0 + I'_2 = \frac{V_1}{\sqrt{R_{Fe}^2 + X_{\mu}^2}} \angle -\phi_0 + \frac{V_1}{\sqrt{(R_{cc} + R'_c)^2 + X_{cc}^2}} \angle -\phi_1 = \\ &= \frac{220}{\sqrt{572.501^2 + 50.007^2}} + \frac{220}{\sqrt{(1.851 + 27.5157)^2 + 0.867^2}} = 0.38302 \angle -4.99172^\circ + 7.48822 \angle -1.75065^\circ = \\ &= 7.87066 \angle -1.90829^\circ \text{ A} \end{aligned}$$

$$I_{1n(\text{línea})} = \sqrt{3} \cdot 7.87066 = 13.6324 \text{ A}$$

5)

Potencia nominal que desarrolla el motor

$$P_u = P_{mi} - P_m = 3 \cdot 27.5157 \cdot 7.48822^2 - 502 = 4126.7 \text{ W}$$

6)

Rendimiento en condiciones nominales

$$\text{Rendimiento} = P_u/P_i = P_u/(P_u + P_{Fe} + P_{Cu1} + P_{Cu2} + P_m) = 4126.7 / (4126.7 + 3 \cdot 572.501 \cdot 0.38302^2 + 3 \cdot 1 \cdot 7.8706 \cdot 6^2 + 3 \cdot 0.851 \cdot 7.48822^2 + 502) = 0.7921 \approx 79\%$$

O también

$$\text{Rendimiento} = P_u/P_i = 4126.7 / (3 \cdot 7.87066 \cdot 220 \cdot \cos(1.90829^\circ)) = 0.7949 \approx 79\%$$

7)

Par nominal

$$T_n = \frac{3 \frac{R'_2 V_1^2}{s}}{2\pi \frac{n_1}{60} \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + X_{cc}^2 \right]} = \frac{3 \frac{0.851}{0.03} 220^2}{2\pi \frac{50}{60} \left[\left(1 + \frac{0.851}{0.03} \right)^2 + 0.867^2 \right]} = 911.357 \text{ Nm}$$

8)

$T = T_m + T_{\text{peso}} = 502 / (2\pi \cdot 49.85 / 60) + 6 \cdot 80 \cdot 10 \cdot 0.2 = 1056.164 \text{ Nm}$ (Par que debe desarrollar el motor para poder subir el ascensor)

$$T = \frac{3 \frac{R'_2 V_1^2}{s}}{2\pi \frac{n_1}{60} \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + X_{cc}^2 \right]}$$

$$T = \frac{3R'_2 V_1^2 s}{2\pi \frac{n_1}{60} \left[(R_1 s + R'_2)^2 + X_{cc}^2 s^2 \right]}$$

$$T 2\pi \frac{n_1}{60} \left[(R_1 s + R'_2)^2 + X_{cc}^2 s^2 \right] = 3R'_2 V_1^2 s$$

$$(R_1^2 + X_{cc}^2) s^2 + \left(2R'_2 R_1 - \frac{3R'_2 V_1^2}{T 2\pi \frac{n_1}{60}} \right) s + R_1'^2 = 0$$

$$1.752s^2 - 20.6423s + 0.724 = 0$$

$$s = 11.749$$

$s = 0.0352$ como la máquina está trabajando como motor el deslizamiento es menor que 1 por tanto esta es la solución válida

$$n = n_1 \cdot (1 - s) = 50 \cdot (1 - 0.0352) = 48.24 \text{ rpm} = 48.24 \cdot 2\pi / 60 = 5.052 \text{ rad/s}$$

$$v = 0.2 \cdot n = 1.01 \text{ m/s}$$

9)

Par inicial de arranque

$s=1$ por lo que

$$T_n = \frac{3 \frac{R'_2}{s} V_1^2}{2\pi \frac{n_1}{60} \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + X_{cc}^2 \right]} = \frac{3 \frac{0.851}{1} 220^2}{2\pi \frac{50}{60} \left[\left(1 + \frac{0.851}{1} \right)^2 + 0.867^2 \right]} = 5648.6 Nm$$

10) Velocidad a la que se obtiene el par máximo. Se hace $\frac{dT_n}{dt} = 0$ y obtenemos

$$s_m = \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_{cc}^2}} = 0.642985$$

11)

Valor del par máximo sustituir

$$T_n = \frac{3 \frac{R'_2}{s_m} V_1^2}{2\pi \frac{n_1}{60} \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s_m} \right)^2 + X_{cc}^2 \right]} = \frac{3 \frac{0.851}{0.642985} 220^2}{2\pi \frac{50}{60} \left[\left(1 + \frac{0.851}{0.642985} \right)^2 + 0.867^2 \right]} = 5967.5 Nm$$

12)

Momento de inercia del eje del motor $J=100 \text{ N}\cdot\text{m}^2$.

Tiempo de arranque para el ascensor usando la aproximación dada por los Cuadernos de aplicaciones técnicas de ABB.

$$T_{\text{arranque}} = 0.45 \cdot (T_a + T_{\text{max}}) - J \cdot T_L = 0.45 \cdot (5967.5 + 5648.6) - 1 \cdot 911.357 = 4315.89 Nm$$

$$t_a = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot J}{60 \cdot T_{\text{arranque}}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 49.85 \cdot 100}{60 \cdot 4315.89} = 0.121 \text{ seg} = 121 \text{ mseg}$$

13)

Basándose en la norma IEC 60947-4-4:

- La corriente inicial de arranque I_{ia} se asigna un valor de aproximadamente 12 veces I_n y representa la corriente máxima requerida por el motor en los primeros instantes de la puesta en servicio

- La corriente de arranque I_{arr} se asigna un valor aproximado de 7.2 veces I_n y representa la corriente requerida en la fase de arranque y que permanece durante el tiempo de arranque.

Estos parámetros, como se ve en el esquema de la figura 11, en principio se asocian a las características de los distintos dispositivos de la coordinación del siguiente modo:

- la corriente inicial de arranque I_{ia} influye en la elección del dispositivo de protección, que deberá tener un umbral de intervención magnética idóneo para permitir la fase inicial de arranque. Además de este parámetro, el interruptor deberá poseer el poder de corte idóneo para la corriente de cortocircuito asignada a la tensión de instalación.

- corriente de arranque I_{arr} y el tiempo de arranque permiten identificar el tipo de protección térmica idónea para el tipo de servicio requerido; asimismo, el campo de regulación del relé debe ser apropiado para la intensidad nominal del motor.

$$I_{ia} = 12 * 13.6324 = 163.589A$$

$$I_{arr} = 7.2 * 13.6324 = 98.1533A$$

Por tanto, el magnetotérmico debe ser tal que aguante una corriente inicial de arranque de 163.6 A y que pueda mantener el paso de corriente de arranque de 98.2 A durante 121 mseg. Es decir, para picos de Corrientes mayores que 163.6 A o valores de corrientes de 98,2 por más de 121 mseg el magnetotérmico debe producir la desconexión del motor.

14)

El guarda-motor debe ser tal que aguante una corriente inicial de arranque de 163.6 A y que pueda mantener el paso de corriente de arranque de 98.2 A durante 121 mseg, y trabajar de forma indefinida con una corriente de 13.6 A. Es decir, para picos de corriente mayores que 163.6 A o valores de corriente mayor o igual a 98,2 A durante más de 121 mseg el magnetotérmico debe producir la desconexión del motor.

15)

Interruptor magnético: T2S160 MA 20

Contactor: A30

Relé sobrecarga: TA25DU19

16)

Coordinación tipo 1 tolera daños del contactor y del relé de sobrecarga que podrían no funcionar más delante sin una reparación o sustitución de piezas. Sin embargo, es necesario que no provoquen daños a las personas o a las instalaciones, como en el caso de partes de componentes proyectadas fuera de al envolvente.

La coordinación tipo 2 en condiciones de cortocircuito asume el riesgo de soldadura de los contactos, con tal que éstos puedan separarse fácilmente, sin deformaciones significativas. Permite la utilización de aparamenta con magnitudes inferiores lo que conlleva un ahorro inicial de gastos y dimensiones, en detrimento de un elevado grado de seguridad y por lo tanto, con sucesivos costes

de mantenimiento y sustitución en caso de averías. La coordinación tipo 2 responde a cánones de seguridad más elevados y su superior coste inicial puede amortizarse considerando el hecho de que en caso de avería, los aparatos de maniobra y protección podrían volver a funcionar sin ser sustituidos.

17)

En el caso de fallo de una de las fases, hay más corriente por uno de los bobinados de fase del motor, sin embargo, el relé de sobrecarga no interviene porque se ve afectado por la corriente I_n , aunque en realidad un bobinado está sobre cargado (15% sobre el funcionamiento nominal). Por lo que el motor no estará protegido correctamente por el relé térmico.