EJERCICIO Nº 4

TEMA V: Motores asíncronos

OBJETIVOS: Análisis del comportamiento del motor ante pares resistentes no constantes. Estudio del funcionamiento de los motores de rotor bobinado: variación de sus características con la resistencia rotórica

ENUNCIADO: Un motor asíncrono de rotor bobinado y dos pares de polos con el estator y el rotor conectados en estrella presenta los siguientes datos en su placa de características: 380 V, 7,5 kW, 1443 RPM, $I_R'_{NOMINAL}$=23,7 A, 50 Hz. El motor acciona un centrifugadora de par resistente cuadrático trabajando en condiciones nominales. Por necesidades del proceso productivo que afecta a la centrifugadora se desea conseguir que esta trabaje a 1300 RPM para lo cual se estudian dos posibilidades: a) variar la tensión de alimentación del motor. B) insertar resistencias rotóricas.

CALCULAR:

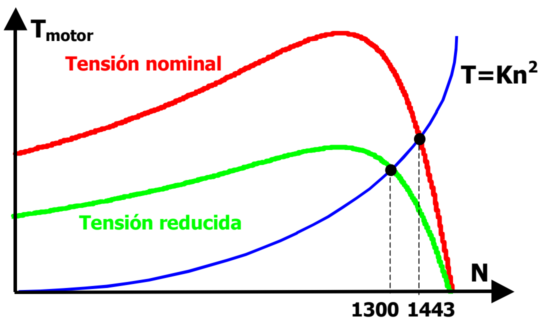
1. Tensión necesaria y corriente rotórica en el caso a).
2. Resistencia por fase referida al estator y corriente rotórica en el caso b).

DATOS:

Despreciar las pérdidas rotacionales y considerar rectilínea la característica mecánica para deslizamientos comprendidos entre el 0 y el 15%.

SOLUCIÓN:

1º) La situación que se plantea en el problema para el funcionamiento del motor es la siguiente:



Puesto que el motor tiene dos pares de polos su velocidad de sincronismo será de 1500 RPM. En condiciones nominales trabajará con un deslizamiento de valor:

$$S = \frac{Ns - N}{Ns} \cdot 100 = \frac{1500 - 1443}{1500} = 3{,}8\% .$$

En condiciones nominales, el par motor desarrollado por la máquina será: $T = \frac{P}{\Omega} = \frac{7500}{\frac{2\pi}{60} \cdot 1443} = 49{,}6 \text{ Nm}$. Conocido el par desarrollado por el motor a 1443 RPM, y puesto que se sabe la ley que rige el par resistente de la centrifugadora, es posible determinar el par que el motor debe desarrollar cuando la accione a 1300 RPM.

En condiciones nominales (1443 RPM) se cumple: $T_{R1443} = K \cdot 1443^2 = 49{,}6$ **(1).**

En las nuevas condiciones (1300 RPM) se cumple: $T_{R1300} = K \cdot 1300^2$ **(2).**

Dividiendo las ecuaciones (1) y (2) se puede calcular el par resistente a 1300 RPM como:

$T_{R1300} = \frac{49.6 \cdot 1300^2}{1443^2} = 40{,}3 \text{ Nm}$. En estas nuevas condiciones el deslizamiento del motor será: $S = \frac{Ns - N}{Ns} \cdot 100 = \frac{1500 - 1300}{1500} = 13{,}3\%$. Entre 0 y el 15% de deslizamiento se puede aproximar la curva par-velocidad por una recta del tipo: $T = K \cdot S$. Por tanto, entre 0 y el 13,3% de deslizamiento calculado también se cumple esta relación.

Por otro lado, el par desarrollado por el motor cumple:

$T_i = \frac{P_g}{\Omega_S} = \frac{3 \cdot V_{th}^2 \cdot \frac{R_R'}{S}}{\left[R_{th} + \frac{R_R'}{S}\right]^2 + [X_{th} + X_R']^2} \cdot \frac{1}{\Omega_S}$. Puesto que en la zona entre 0 y 15% de deslizamiento se puede aproximar por una relación del tipo $T = K \cdot S$ esto significa que en dicha zona se pueden despreciar los valores de R_{th}, X_{th} y X_R' frente al valor de R_R'. En este caso el par del motor se podrá expresar como: $T_i = \frac{3}{\Omega_S} \frac{V_{th}^2 \cdot S}{R_R'} = K' \cdot V_{th}^2 \cdot S$. Como la tensión V_{th} es proporcional a la tensión de alimentación de la máquina: $V_{th} = K'' \cdot V$ se puede llegar a la conclusión de que el par motor cumple: $T_i = K''' \cdot V^2 \cdot S$. Entonces:

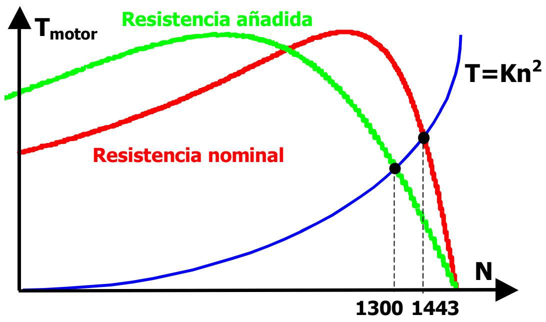
A 1443 RPM: $T = K''' \cdot 380^2 \cdot 0{,}038 = 49{,}6$ **(3).**

A 1300 RPM: $T = K''' \cdot V_{reducida}^2 \cdot 0{,}133 = 40{,}3$ **(4).** Dividiendo las ecuaciones (3) y (4) se puede determinar la nueva tensión reducida: $V_{reducida} = \sqrt{\frac{380^2 \cdot 0{,}038 \cdot 40{,}3}{49{,}6 \cdot 0{,}133}} \cong 183\ \mathbf{V}$.

Para calcular la corriente rotórica se tendrá en cuenta que como dato del problema se indica que se pueden despreciar las pérdidas rotacionales. Con esta premisa el balance de potencias de la máquina cumplirá: $P_{mi} = P_{útil}$. Por tanto: $P_{mi} = P_{útil} = 7500 = 3R_R' \cdot \left[\frac{1-S}{S}\right] \cdot I_R'^2$. En las condiciones iniciales en las que el motor trabaja en su punto nominal la corriente rotórica será también la nominal. Por tanto, la resistencia rotórica se podrá calcular despejando de la expresión anterior: $R_R' = \frac{P_{útil} \cdot \left[\frac{S_n}{1-S_n}\right]}{3 \cdot I_{RNOMINAL}'^2} = \frac{7500 \cdot \left[\frac{0{,}038}{1-0{,}038}\right]}{3 \cdot 23{,}7^2} = 0{,}176\ \mathbf{\Omega}$. Una vez conocida la resistencia rotórica la nueva corriente por el rotor en las nuevas condiciones se puede calcular mediante la expresión simplificada del par. $T = \frac{P_{mi}}{\Omega} = \frac{P_{g1} \cdot (1-S)}{\Omega} = \frac{P_{g1}}{\Omega_S} = \frac{3}{\Omega_S} \cdot \frac{R_R'}{S} \cdot I_R'^2$. En este caso, el par desarrollado por la máquina en las nuevas condiciones es conocido, de este modo, la corriente rotórica se puede despejar directamente:

$I_R' = \sqrt{\frac{T \cdot S \cdot \Omega_S}{3 \cdot R_R'}} = \sqrt{\frac{40{,}3 \cdot 0{,}133 \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot 1500}{3 \cdot 0{,}176}} \cong 40\ \mathbf{A}$. Téngase en cuenta que en este caso se desprecian las pérdidas rotacionales y, por tanto, el par se puede expresar como el cociente entre la potencia mecánica interna (coincidente con la potencia útil) y la velocidad de giro de la máquina.

2º) Mediante la inserción de resistencias rotóricas la situación en la que se encuentra el motor es la siguiente:



Puesto que en la zona entre 0 y 15% de deslizamiento se puede aproximar por una relación del tipo $T = K \cdot S$ esto significa que en dicha zona se pueden despreciar los valores de R_{th}, X_{th} y X_R' frente al valor de R_R'. En este caso, **<u>manteniéndose la tensión de alimentación constante</u>**, el par del motor se podrá expresar como:

$T_i = \frac{3}{\Omega_S} \frac{V_{th}^2 \cdot S}{R_R'} = K' \cdot \frac{S}{R_R'}$. Entonces:

Sin resistencias adicionales: $\mathbf{T} = \mathbf{K'} \cdot \frac{0{,}038}{0{,}176} = 49{,}6$ **(5).**

Con la resistencia adicional: $\mathbf{T} = \mathbf{K'} \cdot \frac{0{,}133}{\mathbf{R_R'}} = 40{,}3$ **(6).** Dividiendo las ecuaciones (5) y (6) se puede determinar la nueva resistencia rotórica: $\mathbf{R_R'} = \frac{0{,}038}{0{,}176 \cdot 0{,}133} \cdot \frac{40{,}3}{49{,}6} \cong 1{,}32\ \boldsymbol{\Omega}$. La resistencia que se insertar adicionalmente en el rotor es la diferencia entre la nueva resistencia y la calculada en el apartado anterior: $\mathbf{R}_{\textbf{adicional / fase}} = 1{,}32 - 0{,}176 = 1{,}14\ \boldsymbol{\Omega}$.

La nueva corriente rotórica se calcula de la misma forma que en el apartado anterior:

$$\mathbf{I_R'} = \sqrt{\frac{\mathbf{T} \cdot \mathbf{S} \cdot \boldsymbol{\Omega}_\mathbf{S}}{3 \cdot \mathbf{R_R'}}} = \sqrt{\frac{40{,}3 \cdot 0{,}133 \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot 1500}{3 \cdot 1{,}32}} \cong 14{,}6\ \mathbf{A}$$

RESUMEN

- **Conceptos utilizados para la resolución del problema**
  - Característica mecánica
  - Deslizamiento
  - Par interno, par útil
  - Potencia mecánica interna, potencia útil
  - Pérdidas rotacionales
  - Resistencia rotórica, motor de rotor bobinado

- **Expresiones matemáticas utilizadas en la resolución del problema**
  - $\mathbf{N_S} = \frac{60 \cdot \mathbf{f}}{\mathbf{P}}$
  - $\mathbf{S} = \frac{\mathbf{Ns} - \mathbf{N}}{\mathbf{Ns}}$
  - $\mathbf{T_i} = \frac{\mathbf{P_g}}{\boldsymbol{\Omega}_\mathbf{S}} = \frac{3 \cdot \mathbf{V_{th}}^2 \cdot \frac{\mathbf{R_R'}}{\mathbf{S}}}{\left[\mathbf{R_{th}} + \frac{\mathbf{R_R'}}{\mathbf{S}}\right]^2 + [\mathbf{X_{th}} + \mathbf{X_R'}]^2} \cdot \frac{1}{\boldsymbol{\Omega}_\mathbf{S}}$
  - $\mathbf{P_{mi}} = \mathbf{P_{útil}} = 3\mathbf{R_R'} \cdot \left[\frac{1 - \mathbf{S}}{\mathbf{S}}\right] \cdot \mathbf{I_R'}^2$ (en ausencia de pérdidas rotacionales)
  - $\mathbf{T} = \frac{\mathbf{P_{mi}}}{\boldsymbol{\Omega}} = \frac{\mathbf{P_{g1}} \cdot (1 - \mathbf{S})}{\boldsymbol{\Omega}} = \frac{\mathbf{P_{g1}}}{\boldsymbol{\Omega}_\mathbf{S}} = \frac{3}{\boldsymbol{\Omega}_\mathbf{S}} \cdot \frac{\mathbf{R_R'}}{\mathbf{S}} \cdot \mathbf{I_R'}^2$ (en ausencia de pérdidas rotacionales)