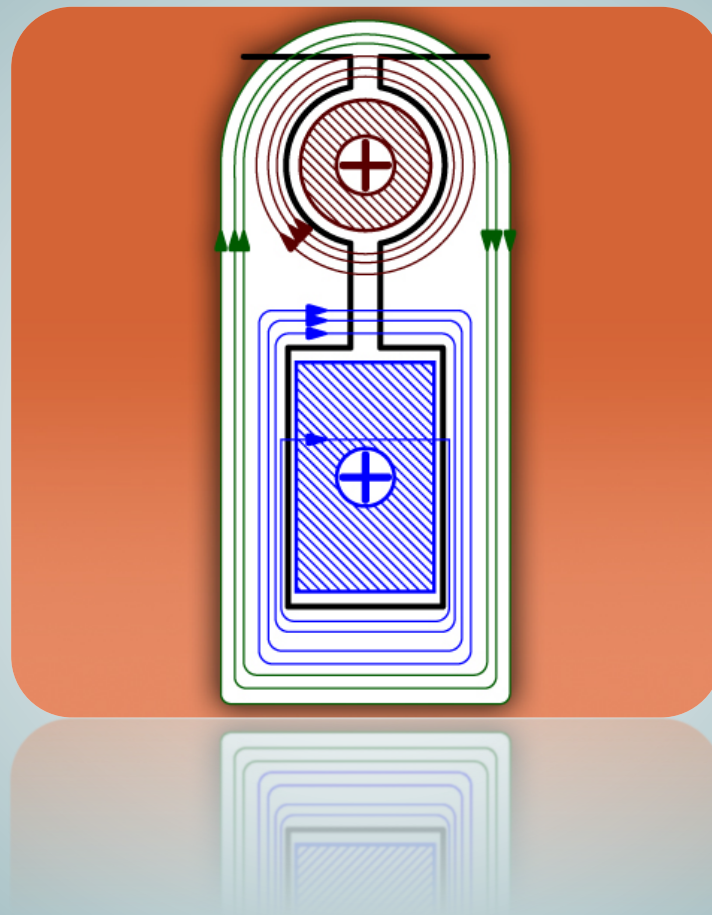


# Máquinas Eléctricas II

## Tema 4. Máquinas asíncronas o de inducción. Problemas propuestos



**Miguel Ángel Rodríguez Pozueta**

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

© 2018, Miguel Angel Rodríguez Pozueta

Universidad de Cantabria (España)

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética

*This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/> or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.*



*Está permitida la reproducción total o parcial de este documento bajo la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Unported que incluye, entre otras, la condición inexcusable de citar su autoría (Miguel Angel Rodríguez Pozueta - Universidad de Cantabria) y su carácter gratuito.*

*Puede encontrar más documentación gratuita en la página web del autor: <http://personales.unican.es/rodrigma/primer/publicaciones.htm>*

**PROBLEMAS PROPUESTOS DE MÁQUINAS ASÍNCRONAS O DE INDUCCIÓN**

**MÁQUINAS ELÉCTRICAS II**

- 1) Un motor de inducción trifásico de 35 kW, 380/220 V, 1455 r.p.m., 4 polos y 50 Hz tiene un par máximo igual al 200% del de plena carga cuando se lo alimenta a la tensión y frecuencia asignadas. Este par máximo se produce a una velocidad de 1332 r.p.m. Si la resistencia del estator es despreciable frente a la del rotor reducida al estator ( $R_1 \ll R'_2$ ), ¿cuál es la constante de inercia, J, de este motor si el tiempo de arranque hasta la velocidad de 1485 r.p.m. es de 12 s cuando está en vacío y conectado a la tensión y frecuencia asignadas?

**NOTA:** Despréciense las pérdidas mecánicas.

- 2) Calcular el tiempo de arranque en vacío (hasta una velocidad de 247,5 r.p.m.) de un motor de inducción trifásico de 3000 V, 24 polos, 50 Hz, conexión estrella, en el que se pueden despreciar las pérdidas mecánicas y que tiene estos parámetros:

$$R_1 = 0 \Omega; \quad R'_2 = 0,016 \Omega; \quad X_{cc} = 0,265 \Omega; \quad J = 15000 \text{ Kgm}^2$$

- 3) Un motor asíncrono trifásico está conectado en triángulo y tiene estas características:

$$\begin{array}{lll} V_{1N} = 400 \text{ V} & 50 \text{ Hz} & 4 \text{ polos} \\ R_1 = 0 \Omega & R'_2 = 0,2 \Omega & X_{cc} = 0,8 \Omega \end{array}$$

Este motor mueve una carga que presenta un par resistente constante de 300 Nm y se alimenta con un variador de frecuencias que actúa como una fuente de tensión cuyo valor eficaz varía con la frecuencia  $f_1$  de esta manera:

- Si  $f_1 \geq 50 \text{ Hz} \Rightarrow V_{1L} = 400 \text{ V}$
- Si  $f_1 = 0 \text{ Hz} \Rightarrow V_{1L} = 80 \text{ V}$
- Si  $0 < f_1 < 50 \text{ Hz} \Rightarrow V_{1L}$  varía linealmente entre 80 y 400 V

Suponiendo que las resistencias y las autoinducciones del motor no varían con la frecuencia, calcule la velocidad a la que girará cuando se lo alimente con tensiones de frecuencia

- a)  $f_1 = 40 \text{ Hz}$
- b)  $f_1 = 50 \text{ Hz}$
- c)  $f_1 = 60 \text{ Hz}$

- 4) Un motor asíncrono trifásico de 100 CV, 1440 r.p.m. y 50 Hz tiene una resistencia del estator muy inferior a su resistencia del rotor reducida al estator ( $R_1 \ll R'_2$ ) y presenta una capacidad de sobrecarga de 2,5.

Calcular:

- El valor del par máximo y la velocidad a la que se produce dicho par máximo.
- La velocidad a la que girará cuando debe vencer un par resistente de 366 Nm.

**NOTAS:**

- Resuelva utilizando la fórmula de Kloss.
- Despréciense las pérdidas mecánicas.

- 5) Un motor asíncrono trifásico de anillos tiene estas características:

400/231 V	50 Hz	960 r.p.m.
$R_1 = 0,1 \Omega$	$R'_2 = 0,4 \Omega$	$X_{cc} = 2,0 \Omega$
$m_i = 1,15$		

Calcule:

- La tensión de red para que el motor esté a su tensión asignada cuando está conectado en triángulo, la velocidad de sincronismo en r.p.m., el número de polos y el deslizamiento asignado.
- El par máximo.
- El par y la corriente de línea en el arranque directo.
- El par y la corriente de línea en el arranque mediante el método estrella-triángulo.
- El par y la corriente de línea en el arranque mediante un autotransformador que suministra al motor una tensión de línea en el arranque de 139 V.
- El par y la corriente de línea en el arranque mediante un arrancador electrónico que suministra a la máquina una tensión de línea en el arranque de 115 V.
- La resistencia que hay conectar en serie con el rotor para que cuando el estator está conectado a su tensión asignada se consiga el par máximo en el arranque. Calcule también la corriente de línea en el arranque en estas condiciones.
- La reactancia  $X_e$  que es preciso conectar en serie con cada fase del estator para que la corriente de arranque sea igual al 60% de la de arranque directo, si el conjunto motor más reactancias  $X_e$  se conectan a una red cuya tensión es la obtenida en la pregunta a). ¿Cuánto vale ahora el par de arranque?

**NOTAS:**

- Salvo en la pregunta g) suponer que el rotor de la máquina siempre está en cortocircuito.
- Salvo en el arranque estrella-triángulo (pregunta d)) el motor tiene su estator siempre conectado en triángulo.
- Despreciar la corriente de vacío en el cálculo de las corrientes de arranque.
- Despreciar las pérdidas mecánicas.

- 6) Un motor asíncrono trifásico de 400/230 V, 50 Hz y 1455 r.p.m. tiene estos parámetros:

$$R_1 = R'_2 = 0,6 \Omega; \quad X_1 = 0,96 \Omega; \quad X'_2 = 1,44 \Omega$$

Esta máquina está conectada a una red cuya tensión de línea vale 400 V y sus pérdidas mecánicas son despreciables.

- Indicar la forma de conexión de este motor. ¿Cuáles son su número de polos y su velocidad de sincronismo?
  - Calcular su potencia útil y su par cuando está en condiciones asignadas.
  - Esta máquina está funcionando como motor en condiciones asignadas y de manera brusca se permutan dos fases de la red de alimentación, por lo que empieza a funcionar como freno a contracorriente ¿Cuál será su par de frenado en esta situación?
  - Ahora se acopla una turbina de vapor al eje de esta máquina asíncrona y se la hace funcionar como generador girando a 1545 r.p.m. en el mismo sentido con que funcionaba como motor y sin cambiar la secuencia de fases. Calcular la potencia mecánica absorbida y el par de frenado.
  - Si se sabe que la reactancia magnetizante  $X_\mu$  de esta máquina vale 80  $\Omega$ , vuelva a calcular su par en condiciones asignadas usando los parámetros del circuito simplificado serie (es decir, aplicando el parámetro  $c_1$ ).
- 7) Un motor de doble jaula de ardilla de 400/693 V, 50 Hz, 1462,5 r.p.m. y cuya corriente de vacío es despreciable está conectado en triángulo y tiene estos parámetros

Estatore:	$R_1 = 1 \Omega$	$X_1 = 3 \Omega$
Jaula exterior:	$R'_{2e} = 5 \Omega$	$X'_{2e} = 1 \Omega$
Jaula interior:	$R'_{2i} = 0,5 \Omega$	$X'_{2i} = 4 \Omega$

- Determine los parámetros  $R'_{2a}$ ,  $X'_{2a}$ ,  $R'_{20}$  y  $X'_{20}$  y el factor de jaula de esta máquina.
  - Calcule la corriente de línea y el par en el arranque.
  - Obtenga el par asignado.
- 8) Un motor asíncrono trifásico de doble jaula tiene estos parámetros:

$R_1 = 0,5 \Omega$	$X_1 = 9 \Omega$
$R'_{20} = 4 \Omega$	$X'_{20} = 21 \Omega$
$R'_{2a} = 12 \Omega$	$X'_{2a} = 15 \Omega$

Su estatore se conecta en estrella a una red de 693 V y 50 Hz y su velocidad asignada es 1452 r.p.m.

Calcular:

- El factor de jaula de esta máquina.
- La velocidad y el valor del par cuando éste es máximo.
- El par asignado y la capacidad de sobrecarga.
- El par y la corriente de arranque directo.

**NOTA:** Despreciar la corriente de vacío.

9) Un motor asíncrono trifásico de anillos tiene estos parámetros:

$$R_1 = R'_2 = 0,6 \Omega \quad X_{cc} = 5 \Omega \quad m_v = 1,4$$

Este motor se encuentra a la tensión asignada cuando se conecta en triángulo a una red de 500 V y 50 Hz. Su velocidad asignada es de 980 r.p.m.

Calcular:

- El par asignado.
  - Resistencia  $R_x$  a conectar en serie con cada fase del rotor para conseguir que este motor gire a 900 r.p.m. cuando proporciona el par asignado.
  - Corriente  $I_2$  que circula por cada fase del rotor cuando la máquina está en el estado descrito en el apartado anterior.
  - Ahora la máquina sigue girando a 900 r.p.m. suministrando el par asignado, pero no se conecta una resistencia  $R_x$  en serie con cada fase del rotor, sino que, para conseguirlo, su rotor se alimenta con una tensión  $V_2$  en fase con la corriente  $I_2$ . Calcule el valor eficaz  $V_2$  y la frecuencia  $f_2$  de esta tensión (tensión de fase).
  - Repita los apartados b), c) y d) si ahora se desea que la velocidad de giro de este motor con el par asignado sea de 850 r.p.m.
- 10) Una máquina asíncrona trifásica de anillos está conectada en triángulo a una red de 260 V y 50 Hz. Su velocidad asignada es 1446 r.p.m. y sus parámetros son:

$$R_1 = R'_2 = 1 \Omega \quad X_{cc} = 5,17 \Omega \quad m_i = 1,19$$

- Calcular la tensión asignada de fase ( $V_{1N}$ ), la velocidad de sincronismo ( $n_1$ ) y el número de polos (2p) de esta máquina.
- Calcular el par asignado ( $M_N$ ) y la velocidad a la cual el par es máximo.
- Estando la máquina actuando como motor en condiciones asignadas se permutan de manera brusca dos de las fases de la red de alimentación, por lo que empieza a funcionar como freno a contracorriente. Calcular el par de frenado inmediatamente después de realizar esta permutación de las fases.
- Calcular la resistencia  $R_{adic}$  que se debe conectar en serie con cada fase del rotor para conseguir que el par máximo se produzca en el arranque.
- Determinar la velocidad a la que girará este motor si debe vencer un par resistente igual al asignado ( $M_N$ ) y cada fase del rotor tiene conectada en serie la resistencia  $R_{adic}$  calculada en el apartado anterior.
- Se vuelve a dejar el rotor en cortocircuito y se alimenta al motor con una tensión de línea de 225 V y **40 Hz**. Calcular la velocidad a la que girará ahora si el par que debe vencer es igual al asignado ( $M_N$ ).
- Con el rotor en cortocircuito y el estator alimentado a su tensión y frecuencia asignados (260 V y 50 Hz), esta máquina asíncrona es movida mediante un motor Diésel a una velocidad superior a la de sincronismo, por lo que pasa a funcionar como generador. Si el deslizamiento ahora es igual al asignado cambiado de signo ( $-s_N$ ) ¿cuáles son la velocidad y el par de la máquina en estas condiciones?

**NOTA:** Se acepta que los parámetros  $R_1$ ,  $R'_2$  y  $L_{cc}$  ( $X_{cc} = 2\pi f_1 L_{cc}$ ) permanecen constantes.

## SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS PROPUESTOS DE MÁQUINAS ASÍNCRONAS O DE INDUCCIÓN

- 1)  $(\tau_{mec} = 4,81 \text{ s}) J = 14,08 \text{ kgm}^2$
- 2)  $t_a = 2,59 \text{ s}$
- 3) a)  $n = 1173 \text{ r.p.m.}$     b)  $n = 1470 \text{ r.p.m.}$     c)  $n = 1757 \text{ r.p.m.}$
- 4) a)  $M_{m\acute{a}x} = 1220 \text{ Nm}; n_m = 1212 \text{ r.p.m.}$     b)  $n = 1456 \text{ r.p.m.}$
- 5) a)  $V_{1NL} = 231 \text{ V}; (V_{1N} = 231 \text{ V}) n_1 = 1000 \text{ r.p.m.}; 2p = 6 \text{ polos}; s_N = 0,04$   
 b)  $(s_m = 0,2) M_{m\acute{a}x} = 363,5 \text{ Nm}$     c)  $M_a = 143,9 \text{ Nm}; I_{aL} = 194 \text{ A}$   
 d)  $M_{a\lambda} = 48 \text{ Nm}; I_{a\lambda} = 64,7 \text{ A}$     e)  $M_{a,aut} = 51,8 \text{ Nm}; I_{a,autL} = 69,8 \text{ A}$   
 f)  $M_{a,elect} = 36 \text{ Nm}; I_{a,electL} = 97 \text{ A}$     g)  $R_{adic} = 1,21 \Omega; I_{aRL} = 140 \text{ A}$   
 h)  $X_e = 1,4 \Omega; M_{az} = 51,8 \text{ Nm}$
- 6) a) Estrella;  $(V_{1N} = 231 \text{ V}) 2p = 4 \text{ polos}; n_1 = 1500 \text{ r.p.m.}$   
 b)  $P_N = P_{uN} = 7171 \text{ W}, M_N = 47,1 \text{ Nm}$   
 c)  $M = -46,8 \text{ Nm}$     d)  $P_u = -7601 \text{ W}; M = -47 \text{ Nm}$     e)  $M_N = 45,9 \text{ Nm}$
- 7) a)  $R'_{2a} = 1,706 \Omega; X'_{2a} = 2,176 \Omega; R'_{20} = 0,456 \Omega; X'_{20} = 3,313 \Omega; m = 1,1$   
 b)  $(V_{1N} = 400 \text{ V}; n_1 = 1500 \text{ r.p.m.}; I_a = I'_{2a} = 68,5 \text{ A}) I_{aL} = 118,6 \text{ A}; M_a = 152,9 \text{ Nm}$   
 c)  $(s_N = 0,025) M_N = 135,9 \text{ Nm}$
- 8) a) Factor de jaula:  $m = 1,33; (V_{1N} = 400 \text{ V}; n_1 = 1500 \text{ r.p.m.})$   
 b)  $n_{m0} = 1300 \text{ r.p.m.}, M_{m\acute{a}x0} = 50 \text{ Nm}$   
 c)  $M_N = 22,9 \text{ Nm}; \text{Capacidad de sobrecarga} = 2,18$   
 d)  $M_a = 45,9 \text{ Nm}; I_{aL} = 14,8 \text{ A}$
- 9) a)  $(V_{1N} = 500 \text{ V}; n_1 = 1000 \text{ r.p.m.}; s_N = 0,02) M_N = 223,5 \text{ Nm}$   
 b)  $(s = 0,1; R'_x = 2,4 \Omega) R_x = 1,22 \Omega$   
 c)  $(I'_2 = 16,1 \text{ A}) I_2 = 22,5 \text{ A}$   
 d)  $(V'_2 = 38,6 \text{ V}) V_2 = 27,5 \text{ V}; f_2 = 5 \text{ Hz}; (V_{2L} = 47,6 \text{ V})$   
 e)  $(s = 0,15; R'_x = 3,9 \Omega) R_x = 1,99 \Omega; (I'_2 = 16,1 \text{ A}) I_2 = 22,5 \text{ A}$   
 $(V'_2 = 62,8 \text{ V}) V_2 = 44,8 \text{ V}; f_2 = 7,5 \text{ Hz}; (V_{2L} = 77,6 \text{ V})$
- 10) a)  $V_{1N} = 260 \text{ V}; n_1 = 1500 \text{ r.p.m.}; 2p = 4 \text{ polos}$   
 b)  $(s_N = 0,036; s_m = 0,19) M_N = 42 \text{ Nm}; n_m = 1215 \text{ r.p.m.}$   
 c)  $(s = 1,964) M = -22,7 \text{ Nm}$     d)  $(R'_{adic} = 4,266 \Omega) R_{adic} = 3 \Omega$   
 e)  $(s = 0,19) n = 1215 \text{ r.p.m.}$   
 f)  $(n_1 = 1200 \text{ r.p.m.}; X_{cc} = 4,136 \Omega; s = 0,0383) n = 1154 \text{ r.p.m.}$   
 g)  $n = 1554 \text{ r.p.m.}; M = -48,2 \text{ Nm}$