

TECNOLOGÍA ELÉCTRICA. UNIDAD DIDÁCTICA 4

CONCEPTOS BÁSICOS A RETENER Y PROBLEMAS RESUELTOS

1.- CARACTERÍSTICAS DE LA MÁQUINA ASÍNCRONA O DE INDUCCIÓN

- Las principales características de estas máquinas son:
 - Por uno de los devanados (generalmente el rotor) circula una **corriente eléctrica inducida** por la acción del campo magnético creado por el estátor, por eso se llaman **máquinas de inducción**
 - Como resultado de este campo magnético, el rotor gira en el interior del estátor a una **velocidad** que se estabiliza cuando se iguala el par motor con el resistente, **inferior a la de sincronismo** con la red, por eso se denominan **máquinas asíncronas**
 - El parámetro **deslizamiento (s)** relaciona la velocidad del rotor (n_r) con la velocidad de sincronismo (n_s)

$$s = (n_s - n_r) / n_s \quad (\text{adimensional})$$

con

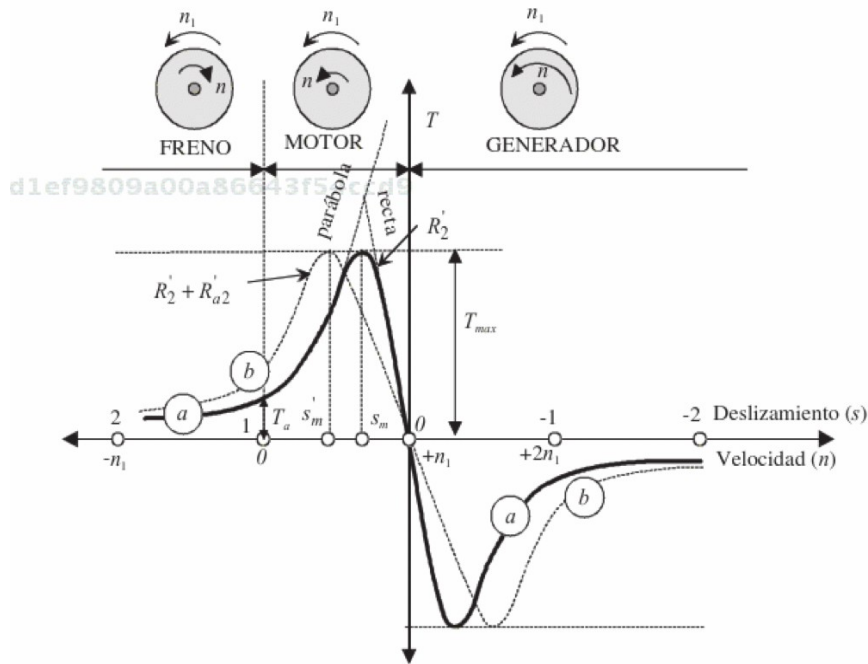
$$n_s = 60f_i / p \quad (\text{rpm})$$

donde f_i es la frecuencia de la red trifásica que alimenta al estátor y p es el número de pares de polos de la máquina. Se puede deducir que la frecuencia de las corrientes que circulan por el rotor es: $f_2 = sf_1$

- Generalmente estas máquinas funcionan en régimen motor. El 80% de los motores eléctricos industriales emplean este tipo de máquinas, ya que los inconvenientes derivados de las dificultades para regular su velocidad se solucionan mediante controles electrónicos. Otros modos de funcionamiento de la máquina son como generador y como freno.

Valor del deslizamiento	Modo de funcionamiento
$0 < s < 1$	Motor
$s > 1$	Freno
$s < 0$	Generador

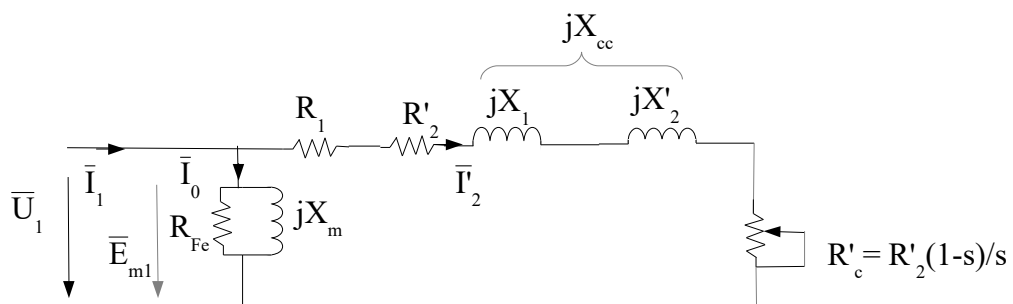
- Las máquinas síncronas se clasifican, dependiendo del tipo de rotor en:
 - Rotor en **jaula de ardilla** o en cortocircuito
 - Rotor **bobinado** o de anillos rozantes



Curva par-velocidad de una máquina asíncrona. Zonas de funcionamiento.
Fuente: Máquinas Eléctricas J. Fraile Mora

2.- CIRCUITO MONOFÁSICO EQUIVALENTE APROXIMADO

- El circuito monofásico equivalente aproximado de una máquina asíncrona es similar al de los transformadores con la particularidad de una resistencia de carga variable en función de la velocidad (R'_c).



Circuito equivalente aproximado máquina asíncrona

a partir de este circuito se puede realizar el balance de potencias de la máquina:

Potencia eléctrica absorbida de la red (activa)

$$P_e = 3U I_1 \cos\varphi$$

Potencia perdida por efecto Joule en el estátor

$$P_{Cu1} = 3I_1^2 R_1$$

Potencia perdida en el hierro en el estátor

$$P_{Fe} = 3\bar{E}_{m1} I_{Fe} = 3E_{m1}^2 / R_{Fe}$$

} Disipación en el estátor

Potencia perdida por efecto Joule en el rotor

$$P_{Cu2} = 3I_2^2 R'_2$$

Potencia perdida en el hierro en el rotor

Despreciable porque f_2 es muy pequeño

Potencia mecánica interna (la que llega al árbol de la máquina que será la disipada en la resistencia de carga)

$$P_{mi} = 3I_2^2 R'_2 (1-s)/s$$

Potencia útil en el eje (restándole a la mecánica las pérdidas por rozamiento y ventilación (pérdidas mecánicas) P_{mec})

$$P_u = P_{mi} - P_{mec}$$

Partiendo de estas potencias se puede deducir el rendimiento del motor:

$$\eta = P_u / P_e = P_u / (P_u + P_{mec} + P_{Cu2} + P_{Fe} + P_{Cu1})$$

así como el par útil en el eje:

$$T_u = P_u / \omega_r = (P_{mi} - P_{mec}) / (2\pi n_r / 60)$$

o en función de la velocidad de sincronismo:

$$T_u = P_u / (1-s)\omega_s = (P_{mi} - P_{mec}) / (1-s)(2\pi n_s / 60)$$

El par de arranque del motor es el que vence las pérdidas en el rotor:

$$T_a = P_{Cu2} / s\omega_s$$

3.- CONEXIONES Y ARRANQUE DE LA MÁQUINA ASÍNCRONA

- La **conexión en estrella** de los terminales de la máquina se emplea cuando debe conectarse a la **tensión más elevada** de la indicada en su placa de características, mientras que la **conexión en triángulo** de emplea para la **tensión más baja**, como se puede ver en la siguiente placa de características donde encontramos las tensiones para ambos modos de conexión, las intensidades a plena carga para esas tensiones, la potencia mecánica desarrollada, la velocidad de giro a plena carga y el factor de potencia.

DMT by		TECHTOP		IEC 60034-30			
Tipo: MS 711-2 B14		N° Serie: 1211061790		IP 55 KG. 5.2			
51-100%		I _{el} Cl. F		IP 55			
V		A		KW			
Δ	Y	Δ	Y	min-1	cosφ		
220	380	50	1.78	1.02	0.37	2720	0.79
230	400	50	1.87	0.97	0.37	2730	0.79
240	415	50	1.81	0.93	0.37	2740	0.79
295	480	80	1.87	0.97	0.40	3280	0.79
	440	80	1.78	1.02	0.40	3280	0.79

- En el momento de **arranque** de un motor asíncrono el deslizamiento es 1, el estátor está alimentado a la tensión nominal y el rotor en cortocircuito, luego la intensidad absorbida por el estátor en ese instante es muy superior a la nominal. Para limitar esta corriente de arranque hay varios métodos:
 - intercalar un autotransformador entre la red y el motor, de modo que la tensión aplicada sea una fracción de la nominal
 - conmutando estrella-triángulo (en aquellos motores que puedan trabajar en triángulo con la tensión de red). La máquina se conecta en estrella en el momento del arranque y se pasa a triángulo cuando está en funcionamiento normal. Así la tensión aplicada se reduce un factor de $\sqrt{3}$ y la corriente de arranque en un factor de $1/3$
 - en los motores de rotor bobinado, se puede reducir la corriente de arranque introduciendo una resistencia adicional en cada una de las fases del rotor
 - mediante arrancadores estáticos que varían la tensión del estátor automáticamente de forma continua

4.- PROBLEMAS RESUELTOS.

P1.- Un motor de inducción trifásico de 6 polos, 50 Hz, absorbe una potencia de 20 kW, cuando gira a 960 rpm. Las pérdidas totales del estátor son 0,5 kW y las de rozamiento y ventilación son de 1 kW. Calcular:

- a) El deslizamiento
- b) Pérdidas en el cobre del rotor
- c) Rendimiento del motor

a) *La velocidad de sincronismo es:*

$$n_s = 60f/p = 60 \cdot 50/3 = 1000 \text{ rpm luego el deslizamiento será } s = (n_s - n_r)/(n_s) = 1000 - 960/1000 = 4\%$$

b) *La potencia que llegará al rotor será la absorbida menos la perdida en el estátor:*

$$P_{rotor} = 20 - 0,5 = 19,5 \text{ kW}$$

Esta a su vez se tendrá que dividir entre las pérdidas en el cobre del rotor y la potencia mecánica interna:

$$P_{rotor} = P_{Cu2} + P_{mi} = 3I_2'^2 R_2' + 3I_2'^2 R_2'(1-s)/s = P_{Cu2}/s \text{ luego } P_{Cu2} = 19,5 \cdot 0,04 = 0,78 \text{ kW}$$

c) *La potencia útil será:*

$$P_u = P_{mi} - P_{mec} = 19,5 - 0,78 - 1 = 17,72 \text{ kW}$$

$$\eta = P_u/P_e = 17,72/20 = 88,6\%$$

P2.- Un motor asíncrono trifásico de 4 polos, conectado en estrella se alimenta por una red de 380 V, 50 Hz. La impedancia del estátor es igual a $0,1 + j0,4 \Omega/\text{fase}$ y la del rotor en reposo reducida al estátor vale $0,1 + j0,3 \Omega/\text{fase}$. Calcular:

- a) velocidad de sincronismo y velocidad real de la máquina si el deslizamiento es del 4%
- b) intensidad absorbida en el arranque

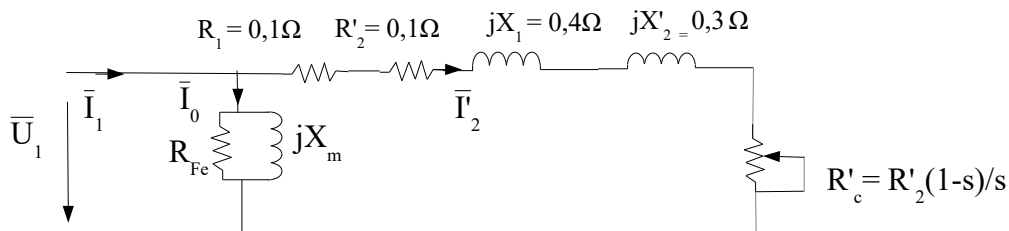
- c) corriente a plena carga
 d) potencia y par nominal si se desprecian las pérdidas mecánicas
 e) rendimiento en el caso anterior si las pérdidas en el hierro son iguales a 1200 W

a) La velocidad de sincronismo es:

$$n_s = 60f/p = 60 \cdot 50/2 = 1500 \text{ rpm}$$

como el deslizamiento es $s = 0,04 = (n_s - n_r)/(n_s)$ despejando $n_r = n_s(1-s) = 1500(1-0,04) = 1440 \text{ rpm}$

b) El circuito equivalente es el siguiente:



durante el arranque $s=1$ luego la resistencia de carga será 0 y tomando como referencia la tensión en el estátor podemos calcular la corriente de arranque resolviendo el circuito:

$$I_{abs} = (380/\sqrt{3}) \angle 0^\circ / (0,1 + j0,4 + 0,1 + j0,3) = 219,39 \angle 0^\circ / 0,728 \angle 74,05^\circ = 301,36 \angle -74,05^\circ \text{ A}$$

c) La corriente a plena carga I'_2 se calcula considerando la resistencia de carga para el deslizamiento del 4%

$$I'_2 = (380/\sqrt{3}) \angle 0^\circ / (0,1 + j0,4 + 0,1 + j0,3 + 2,4) = 219,39 \angle 0^\circ / 2,693 \angle 15,07^\circ = 81,47 \angle -15,07^\circ \text{ A}$$

d) Al despreciar las pérdidas mecánicas

$$P_u = P_{mi} = 3I'^2_2 R'_2(1-s)/s = 3 \cdot 81,47^2 \cdot 0,1 \cdot (1-0,04)/0,04 = 47,8 \text{ Kw}$$

y el par a plena carga

$$T_u = P_u / (2\pi n_r / 60) = 47800 / (2\pi \cdot 1440 / 60) = 317 \text{ Nm}$$

e) El rendimiento viene dado por la expresión

$$\eta = P_u / P_e = P_u / (P_u + P_{mec} + P_{Cu2} + P_{Fe} + P_{Cu1}) = 47800 / (47800 + 0 + 3 \cdot 81,47^2 \cdot 0,1 + 1200 + 3 \cdot 81,47^2 \cdot 0,1) = 47800 / 52982,4 = 90,21\%$$