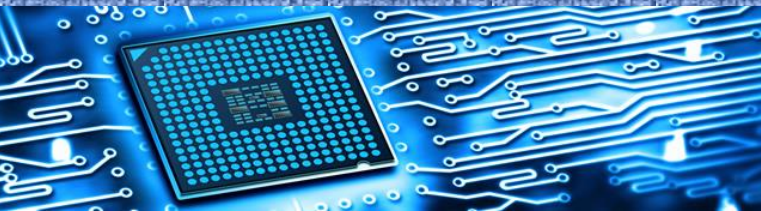




Máquinas Eléctricas

4.º nivel Ingeniería Electromecánica

Docentes: Dr. Ing. Diego M. Ferreyra || Ing. Pablo A. Ferrero



Máquinas e Instalaciones Eléctricas

4.º nivel Ingeniería Electrónica

Docentes: Dr. Ing. Diego M. Ferreyra || Esp. Ing. Raúl A. Beinotti

Unidad 03 . Máquinas sincrónicas

Presentación 1 (Cap. 1 y Cap. 3 Chapman)

Movimiento giratorio: revisión de fundamentos

Posición angular (θ)

$$v = \frac{dr}{dt} \quad (1-1)$$

Velocidad angular (ω)

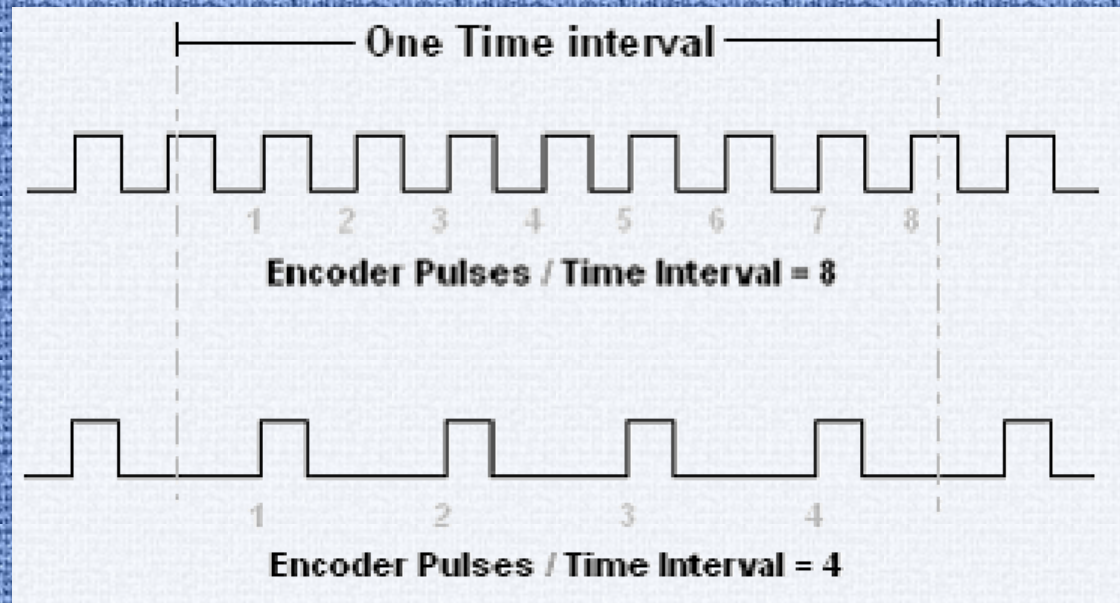
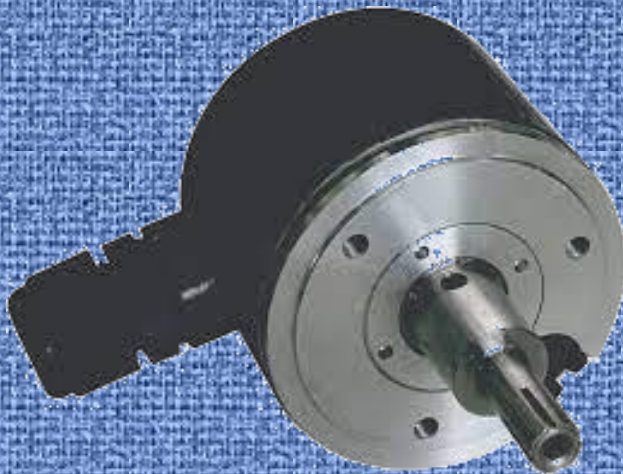
$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \quad (1-2)$$



Velocidad angular (ω)

$$n_m = 60f_m \quad (1-3a)$$

$$f_m = \frac{\omega_m}{2\pi} \quad (1-3b)$$



Aceleración angular (α)

$$a = \frac{dv}{dt} \quad (1-4)$$

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} \quad (1-5)$$

Par (τ)

$$\begin{aligned} \tau &= (\text{fuerza aplicada})(\text{distancia perpendicular}) \\ &= (F) (r \text{ sen } \theta) \\ &= rF \text{ sen } \theta \end{aligned} \quad (1-6)$$

Ley de rotación de Newton

$$F = ma \quad (1-7)$$

$$\tau = J\alpha \quad (1-8)$$

Potencia		Carcasa	Par nominal Tn (Nm)	Corriente con rotor trabado I _V In	Par con rotor trabado T _V Tn	Par máximo T _b /Tn	Momento de Inercia J (kgm ²)	Tiempo máximo con rotor trabado (s)		Peso (kg)	Nivel de ruido dB (A)	380V							Corriente nominal In (A)
								RPM	% de la potencia nominal										
									Rendimiento			Factor de potencia							
KW	HP							Caliente	Frio				50	75	100	50	75	100	
II Polos - 3000 rpm - 50 Hz																			
0,12	0,16	63	0,420	3,8	2,3	2,3	0,00011	27	59	4,3	52	2690	48,0	55,0	58,8	0,59	0,74	0,84	0,369
0,18	0,25	63	0,630	4,2	2,4	2,3	0,00013	30	66	4,7	52	2700	52,5	57,5	59,5	0,60	0,75	0,85	0,541
0,25	0,33	63	0,880	4,3	2,5	2,3	0,00016	25	55	5,1	52	2685	54,0	59,0	60,0	0,56	0,71	0,81	0,782
0,37	0,5	71	1,29	4,6	2,3	2,4	0,00027	16	35	5,5	56	2700	64,6	67,5	66,6	0,67	0,81	0,88	0,959
0,55	0,75	71	1,94	4,5	2,2	2,2	0,00033	13	29	6,5	56	2665	66,4	67,0	66,5	0,74	0,86	0,91	1,38
0,75	1	80	2,60	5,1	2,5	2,6	0,00055	14	31	9,5	59	2730	70,8	72,7	71,6	0,69	0,82	0,88	1,81
1,1	1,5	80	3,79	5,9	2,9	2,9	0,00076	14	31	13,5	59	2750	75,3	76,3	75,6	0,71	0,83	0,89	2,48
1,5	2	90S	5,05	6,3	2,7	2,6	0,0017	7	15	15,0	68	2820	78,0	80,1	78,9	0,70	0,81	0,87	3,32
2,2	3	90L	7,48	6,8	2,8	2,9	0,0022	9	20	16,7	68	2790	78,5	80,2	80,8	0,70	0,82	0,88	4,70
3	4	100L	10,0	6,7	2,3	2,8	0,0052	9	20	23,5	67	2855	82,4	83,0	83,0	0,75	0,85	0,89	6,17
4	5,5	112M	13,3	6,8	2,4	3,0	0,0073	9	20	31,0	64	2860	83,0	84,2	84,5	0,77	0,86	0,89	8,08
5,5	7,5	132S	18,1	6,5	2,4	3,0	0,0159	11	24	42,0	68	2895	84,4	86,0	86,0	0,77	0,85	0,89	10,9
7,5	10	132S	24,7	6,4	2,3	2,6	0,0187	11	24	53,0	68	2890	86,8	87,5	87,0	0,78	0,86	0,89	14,7

Trabajo (W)

$$W = \int F dr \quad (1-9)$$

$$W = Fr \quad (1-10)$$

$$W = \int \tau d\theta \quad (1-11)$$

$$W = \tau\theta \quad (1-12)$$

Potencia (P)

$$P = \frac{dW}{dt} \quad (1-13)$$

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{d}{dt} (Fr) = F \left(\frac{dr}{dt} \right) = Fv \quad (1-14)$$

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{d}{dt} (\tau\theta) = \tau \left(\frac{d\theta}{dt} \right) = \tau\omega$$

$$P = \tau\omega \quad (1-15)$$

Potencia		Carcasa	Par nominal Tn (Nm)	Corriente con rotor trabado Iv In	Par con rotor trabado Tv/Tn	Par máximo Tb/Tn	Momento de Inercia J (kgm²)	Tiempo máximo con rotor trabado (s)		Peso (kg)	Nivel de ruido dB (A)	380 V							Corriente nominal In (A)
								RPM	% de la potencia nominal										
									Rendimiento			Factor de potencia							
KW	HP							Caliente	Frio			50	75	100	50	75	100		
In Faltas - 3000 rpm - 50 Hz																			
0,12	0,16	63	0,420	3,8	2,3	2,3	0,00011	27	59	4,3	52	2690	48,0	55,0	58,8	0,59	0,74	0,84	0,369
0,18	0,25	63	0,630	4,2	2,4	2,3	0,00013	30	66	4,7	52	2700	52,5	57,5	59,5	0,60	0,75	0,85	0,541
0,25	0,33	63	0,880	4,3	2,5	2,3	0,00016	25	55	5,1	52	2685	54,0	59,0	60,0	0,56	0,71	0,81	0,782
0,37	0,5	71	1,29	4,6	2,3	2,4	0,00027	16	35	5,5	56	2700	64,6	67,5	66,6	0,67	0,81	0,88	0,959
0,55	0,75	71	1,94	4,5	2,2	2,2	0,00033	13	29	6,5	56	2665	66,4	67,0	66,5	0,74	0,86	0,91	1,38
0,75	1	80	2,60	5,1	2,5	2,6	0,00055	14	31	9,5	59	2730	70,8	72,7	71,6	0,69	0,82	0,88	1,81
1,1	1,5	80	3,78	5,8	2,8	2,8	0,00075	11	21	12,5	59	2750	75,2	76,2	75,6	0,71	0,83	0,88	2,18

Definiciones para el cálculo de potencia

Fem inducida en una espira que gira en un campo

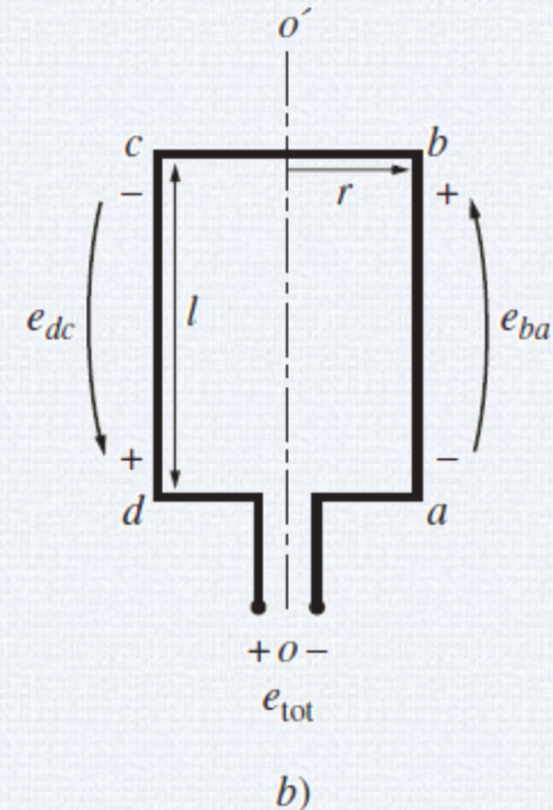
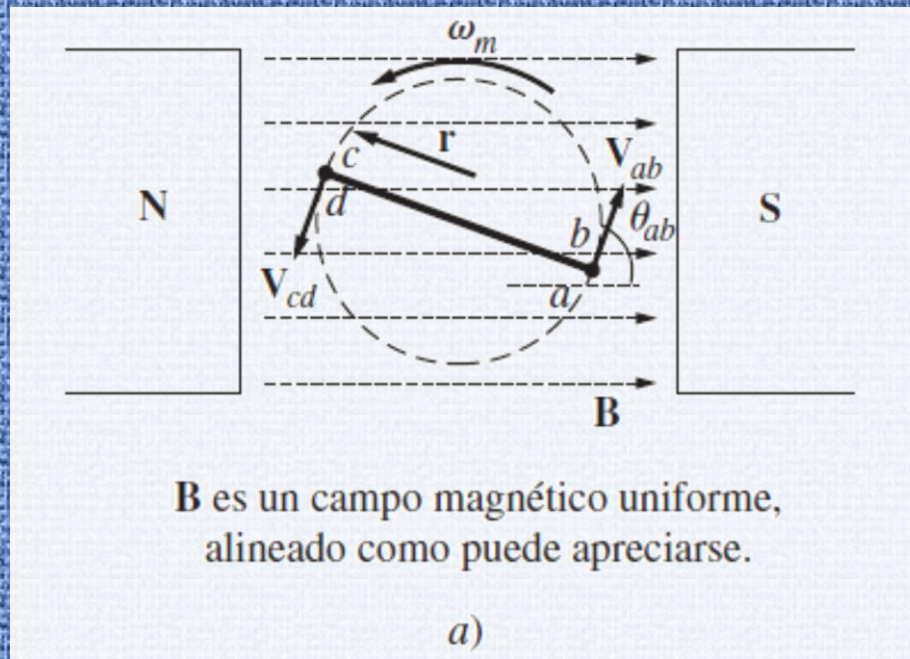
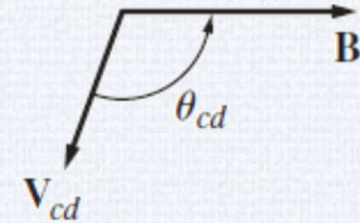
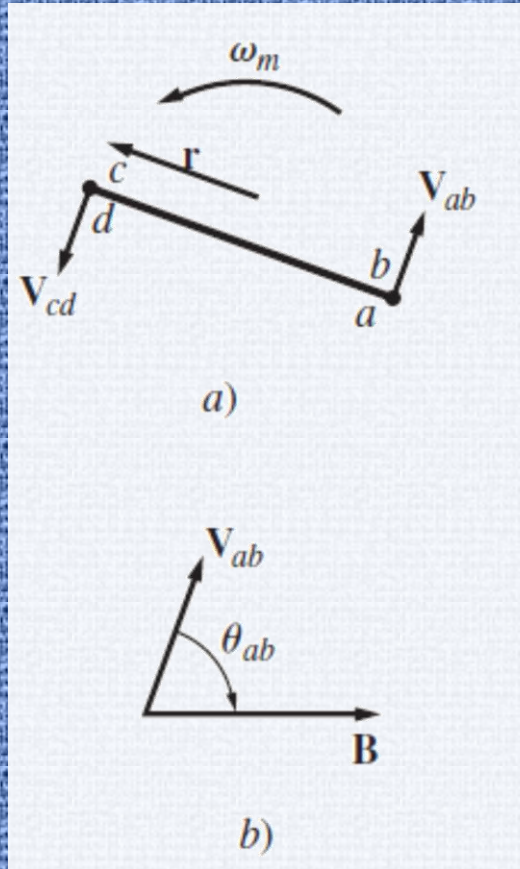
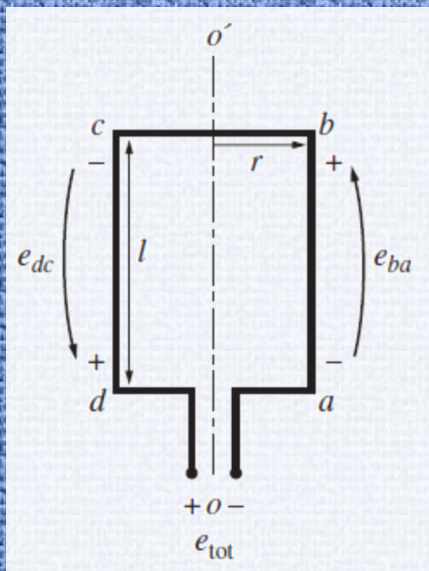
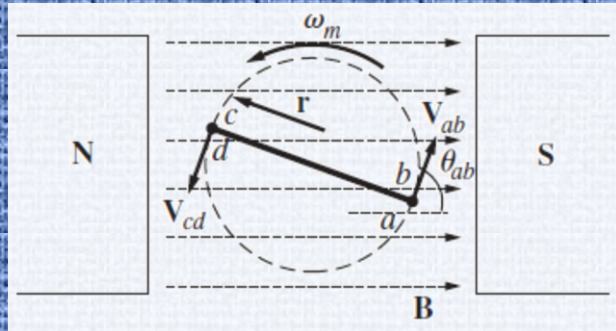


FIGURA 3-1 Espira sencilla giratoria en un campo magnético uniforme. a) Vista frontal; b) vista de la bobina.

$$e_{\text{ind}} = (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot \mathbf{l} \quad (1-45)$$

Espira que gira en un campo magnético uniforme



c)

FIGURA 3-2 a) Velocidades y orientaciones de los lados de la espira con respecto al campo magnético. b) Dirección del movimiento con respecto al campo magnético del lado *ab*. c) Dirección del movimiento con respecto al campo magnético del lado *cd*.

$$e_{ba} = (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot \mathbf{l}$$

$$= vBl \sin \theta_{ab} \quad \text{hacia la página} \quad (3-1)$$

$$e_{cb} = 0 \quad (3-2)$$

$$e_{dc} = (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot \mathbf{l}$$

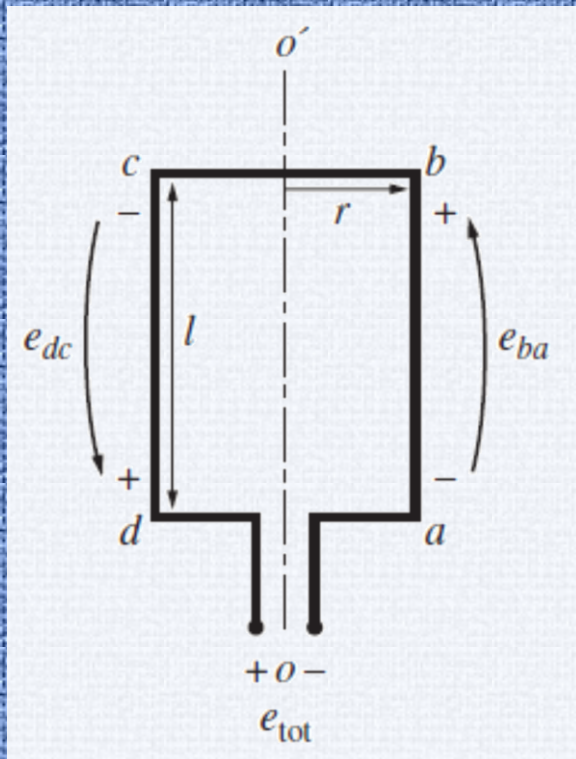
$$= vBl \sin \theta_{cd} \quad \text{hacia fuera de la página} \quad (3-3)$$

$$e_{ad} = 0 \quad (3-4)$$

$$e_{\text{ind}} = e_{ba} + e_{cb} + e_{dc} + e_{ad}$$

$$= vBl \sin \theta_{ab} + vBl \sin \theta_{cd} \quad (3-5)$$

$$e_{\text{ind}} = 2vBl \sin \theta \quad (3-6)$$



$$e_{\text{ind}} = 2vBl \sin \theta \quad (3-6)$$

$$v = r\omega \quad (3-7)$$

$$e_{\text{ind}} = 2r\omega Bl \sin \omega t \quad (3-8)$$

$$e_{\text{ind}} = AB\omega \sin \omega t \quad (3-9)$$

$$\phi_{\text{máx}} = AB \quad (3-10)$$

$$e_{\text{ind}} = \phi_{\text{máx}} \omega \sin \omega t \quad (3-11)$$

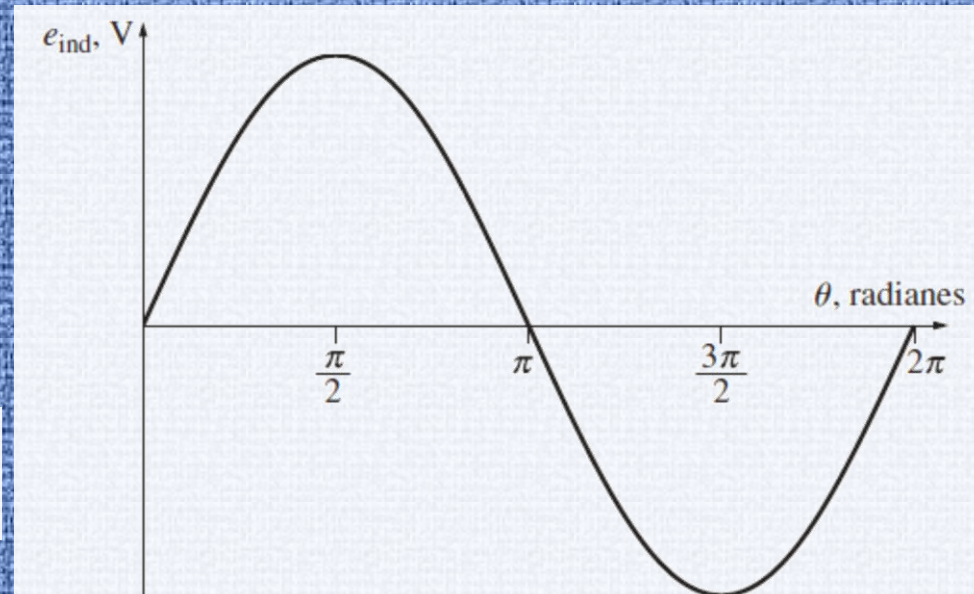
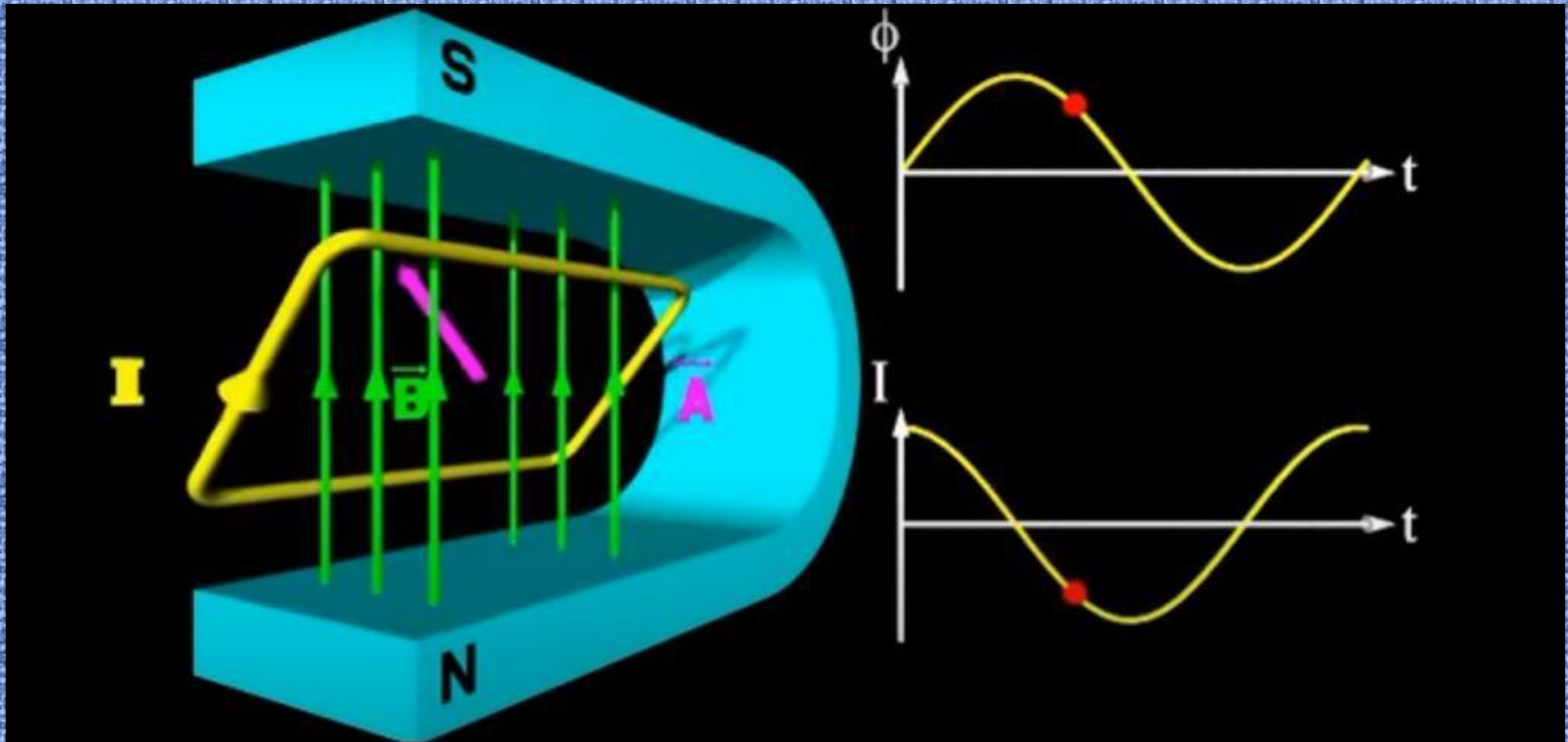
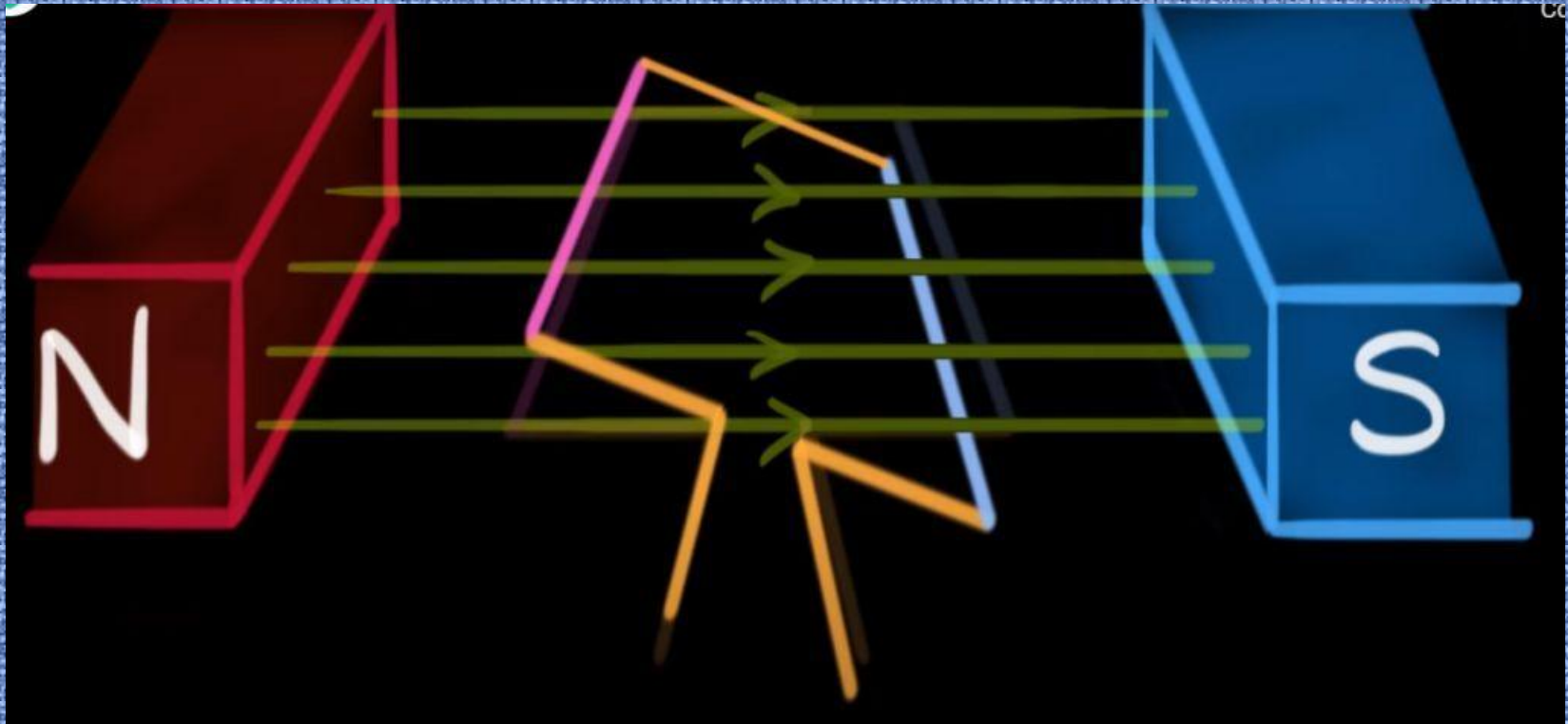


FIGURA 3-3 Gráfica de e_{ind} y θ .

Expresión de la fem en función del ángulo (del tiempo)



<https://www.youtube.com/watch?v=wchiNm1CgC4>



<https://www.khanacademy.org/science/in-in-class-12th-physics-india/in-in-electromagnetic-induction/x51bd77206da864f3:ac-generator/v/ac-dc-generator>

***Relación entre velocidad y cantidad de polos
(entre frecuencia eléctrica y velocidad del campo)***

$$f_e = f_m \quad \text{dos polos} \quad (3-26)$$

$$\omega_e = \omega_m \quad \text{dos polos} \quad (3-27)$$

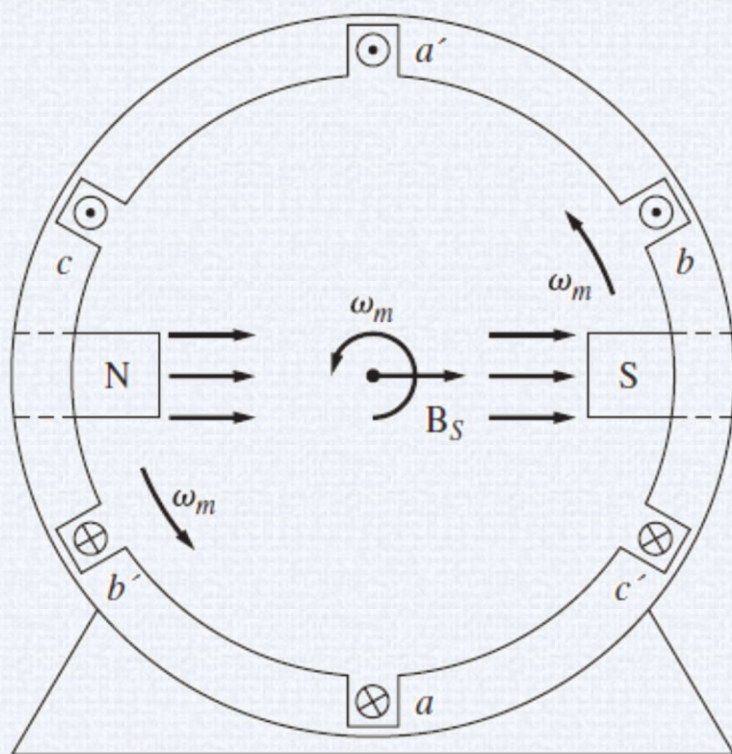
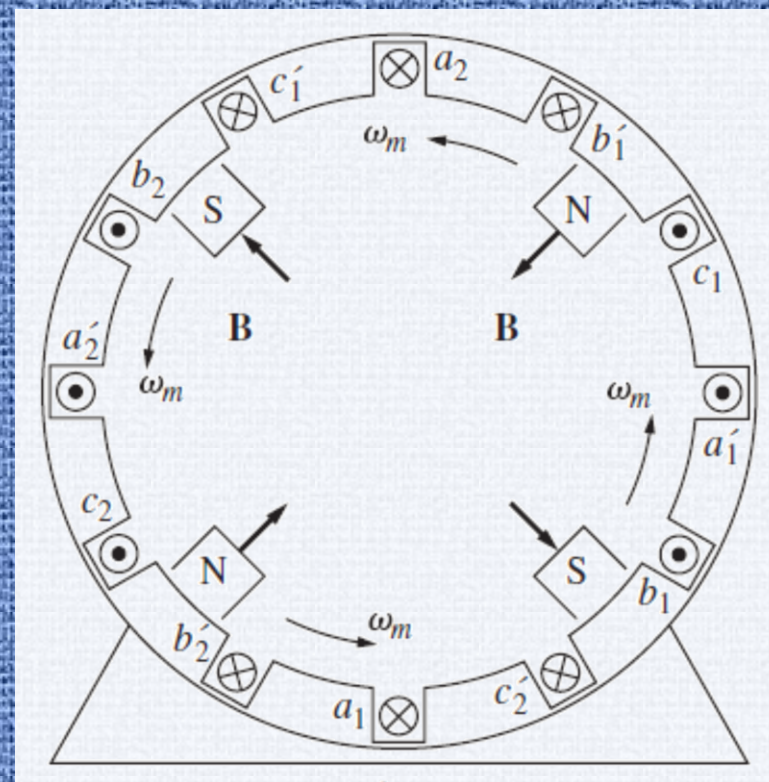
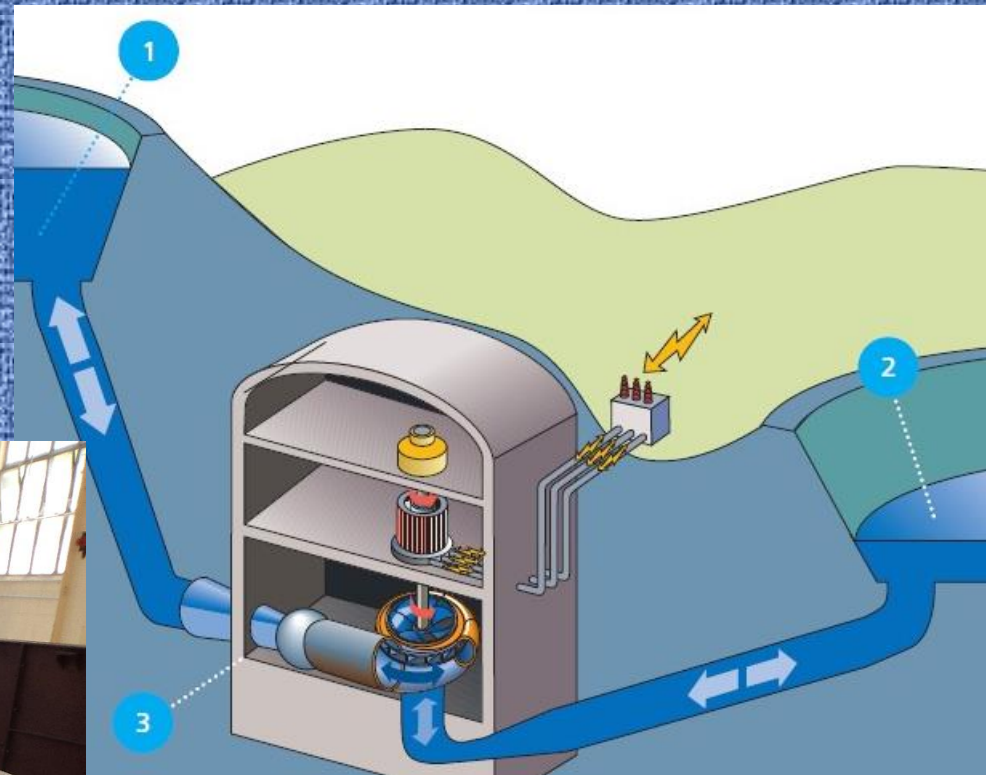


FIGURA 3-10 Campo magnético giratorio en un estator representado como polos de estator norte y sur en movimiento.



$$f_e = 2f_m \quad \text{cuatro polos} \quad (3-29)$$

$$\omega_e = 2\omega_m \quad \text{cuatro polos} \quad (3-30)$$





$$\theta_e = \frac{P}{2} \theta_m \quad (3-31)$$

$$f_e = \frac{P}{2} f_m \quad (3-32)$$

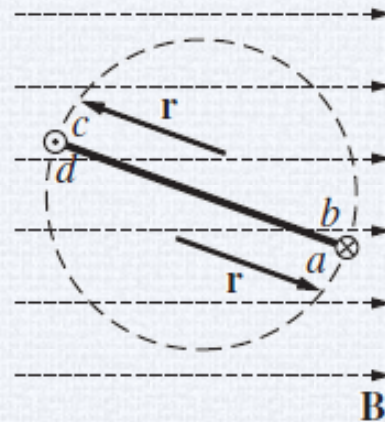
$$\omega_e = \frac{P}{2} \omega_m \quad (3-33)$$

$$f_e = \frac{n_m P}{120} \quad (3-34)$$

EJEMPLO 3-1

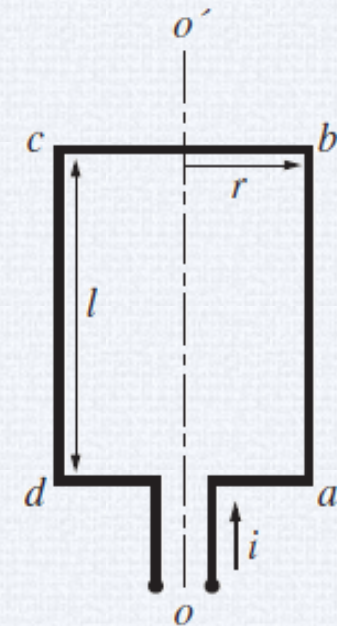
Cree un programa de MATLAB que represente el comportamiento de un campo magnético giratorio en el estator trifásico que se muestra en la figura 3-9.

Par producido en una espira que gira en un campo



B es un campo magnético uniforme, alineado como se muestra.
La $\times$ en el alambre indica que la corriente fluye hacia la página, y el $\bullet$ en el alambre indica que la corriente fluye hacia afuera de la página.

a)



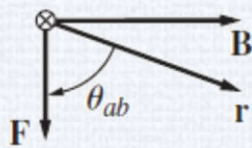
b)

FIGURA 3-4 Una espira con corriente en un campo magnético uniforme.
a) Vista de frente; b) vista de la bobina.

$$\mathbf{F} = i(\mathbf{l} \times \mathbf{B})$$

(1-43)

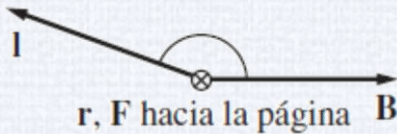
I hacia la página



a)

$$\begin{aligned}\tau_{bc} &= (F) (r \sen \theta_{ab}) \\ &= 0\end{aligned}$$

(3-13)

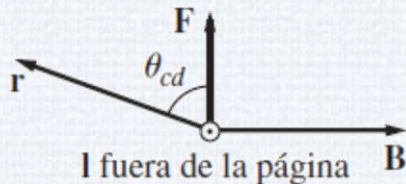


$$\tau_{bc} = 0$$

b)

$$\begin{aligned}\tau_{da} &= (F) (r \sen \theta_{da}) \\ &= 0\end{aligned}$$

(3-15)



c)

$$\tau_{ab} = (F) (r \sen \theta_{ab})$$

$$= r i l B \sen \theta_{ab} \quad \text{en sentido de las manecillas del reloj}$$

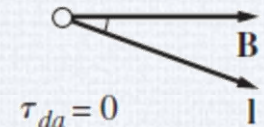
(3-12)

$$\tau_{cd} = (F) (r \sen \theta_{cd})$$

$$= r i l B \sen \theta_{cd} \quad \text{en sentido de las manecillas del reloj}$$

(3-14)

r, F fuera de la página

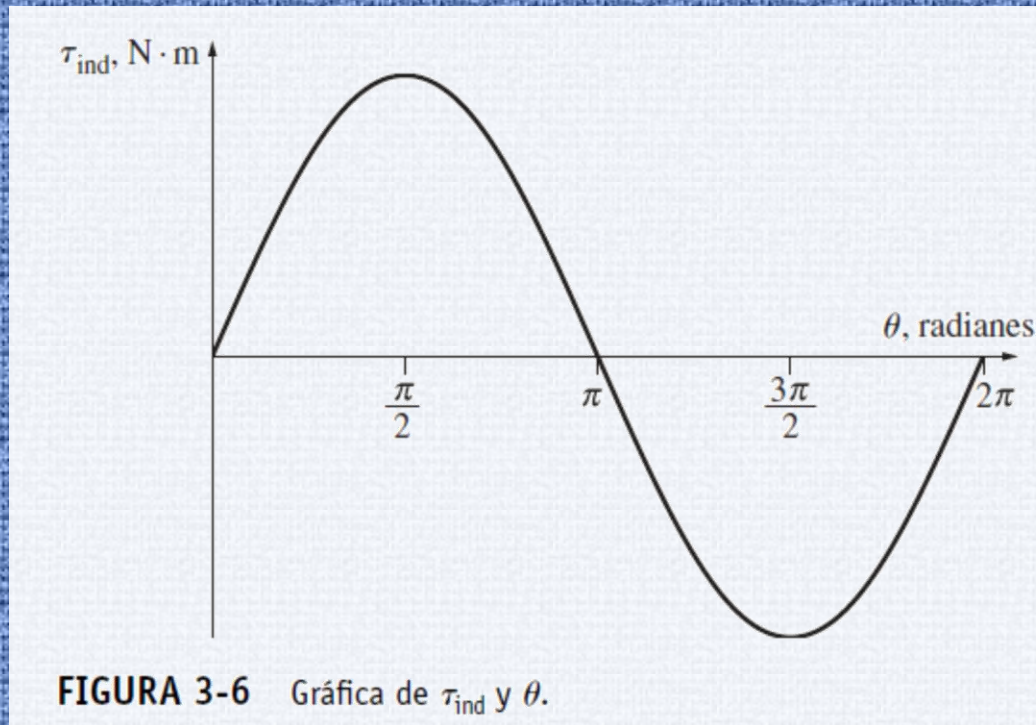


$$\tau_{da} = 0$$

d)

FIGURA 3-5 a)Obtención de la fuerza y par en el segmento *ab*.b) Obtención de la fuerza y par en el segmento *bc*.c) Obtención de la fuerza y par en el segmento *cd*.d) Obtención de la fuerza y par en el segmento *da*.

Par producido en cada tramo de la espira

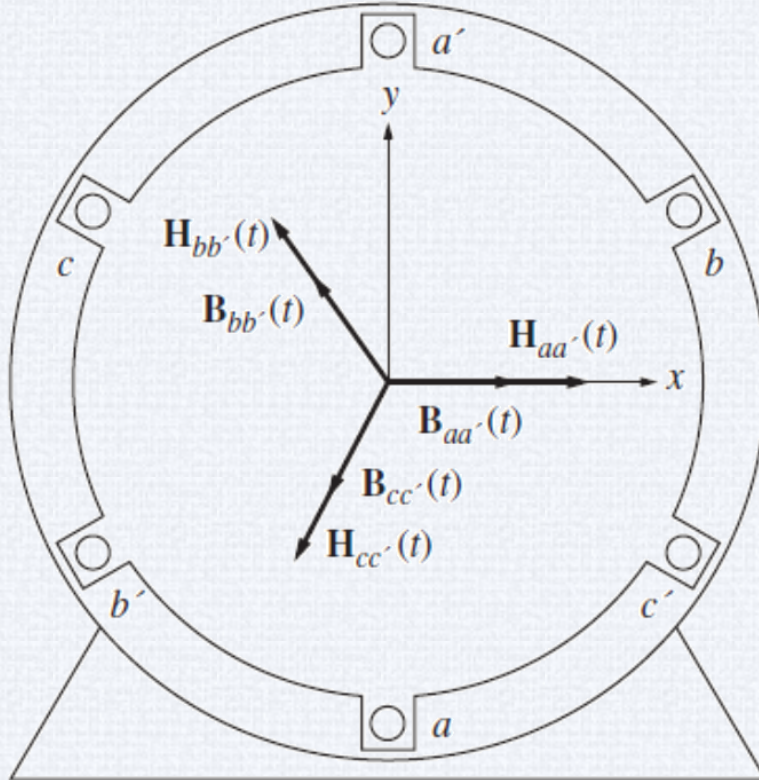


$$\tau_{ind} = \frac{AG}{\mu} B_{esp} B_S \sin \theta \quad (3-18)$$

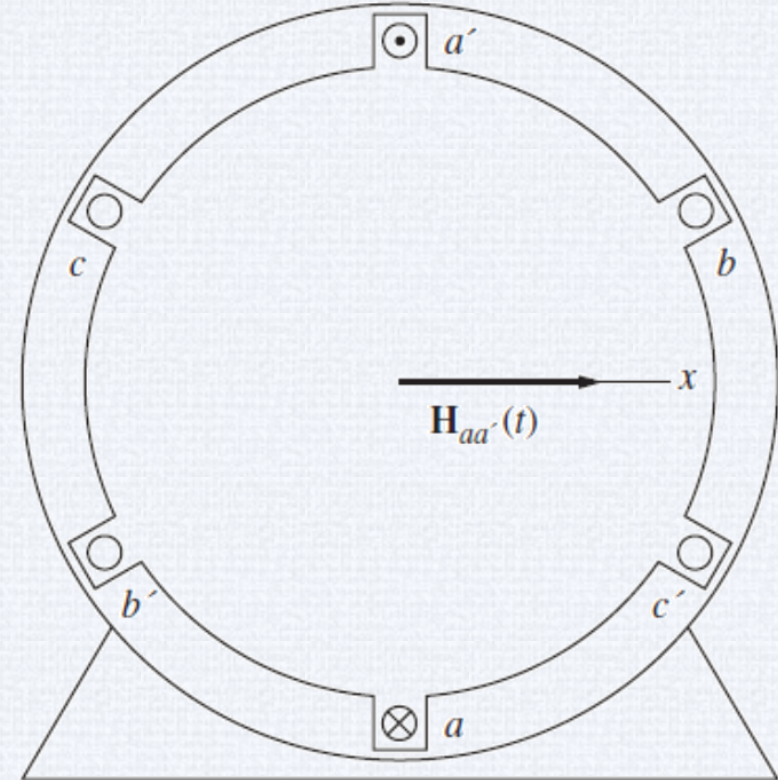
$$= k B_{esp} B_S \sin \theta \quad (3-19)$$

$$\tau_{ind} = k \mathbf{B}_{esp} \times \mathbf{B}_S \quad (3-20)$$

Producción de un campo magnético giratorio



a)



b)

$$i_{aa'}(t) = I_M \sin \omega t \quad \text{A} \quad (3-21a)$$

$$i_{bb'}(t) = I_M \sin (\omega t - 120^\circ) \quad \text{A} \quad (3-21b)$$

$$i_{cc'}(t) = I_M \sin (\omega t - 240^\circ) \quad \text{A} \quad (3-21c)$$

$$i_{aa'}(t) = I_M \sin \omega t \quad \text{A} \quad (3-21a)$$

$$i_{bb'}(t) = I_M \sin (\omega t - 120^\circ) \quad \text{A} \quad (3-21b)$$

$$i_{cc'}(t) = I_M \sin (\omega t - 240^\circ) \quad \text{A} \quad (3-21c)$$

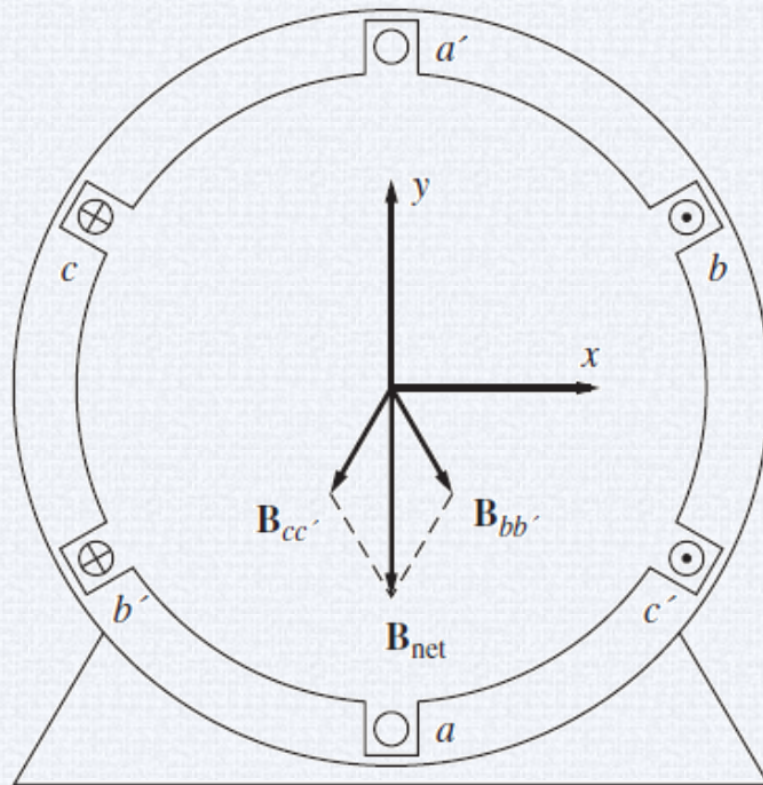
$$\mathbf{H}_{aa'}(t) = H_M \sin \omega t \angle 0^\circ \quad \text{A} \cdot \text{vueltas/m} \quad (3-22a)$$

$$\mathbf{B}_{aa'}(t) = B_M \sin \omega t \angle 0^\circ \quad \text{T} \quad (3-23a)$$

$$\mathbf{B}_{bb'}(t) = B_M \sin (\omega t - 120^\circ) \angle 120^\circ \quad \text{T} \quad (3-23b)$$

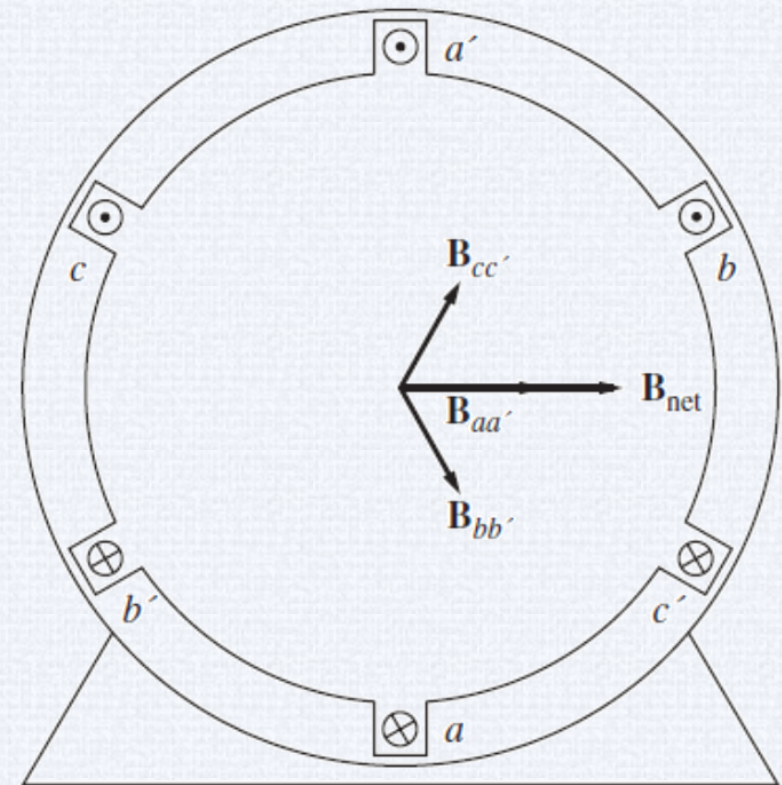
$$\mathbf{B}_{cc'}(t) = B_M \sin (\omega t - 240^\circ) \angle 240^\circ \quad \text{T} \quad (3-23c)$$

De corrientes trifásicas a campos (se supone linealidad)



$\omega t = 0^\circ$

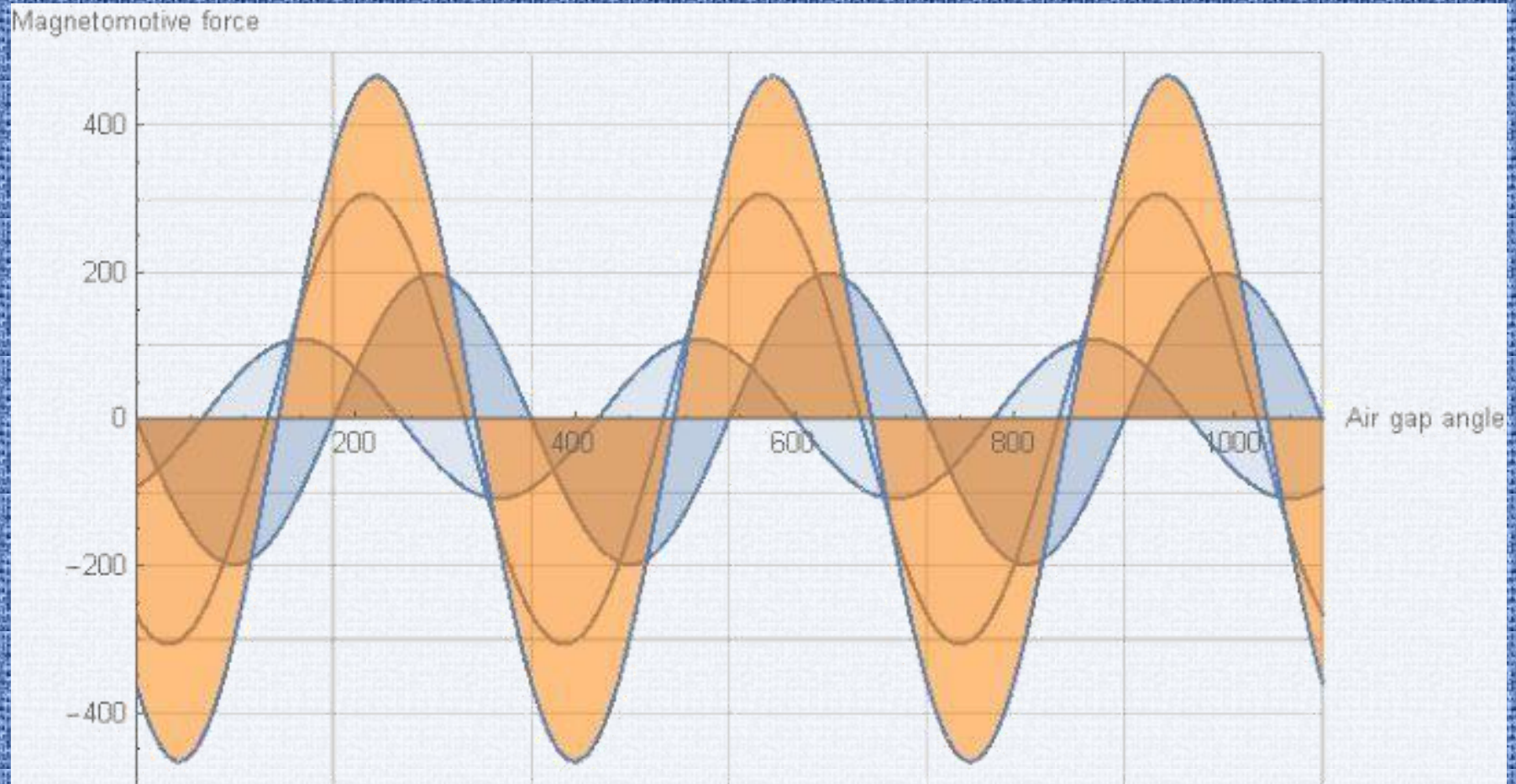
a)



$\omega t = 90^\circ$

b)

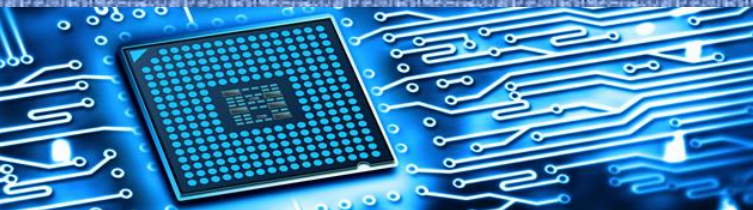
FIGURA 3-9 a) Vector de campo magnético de un estator en el tiempo $\omega t = 0^\circ$. b) Vector de campo magnético en el estator en el tiempo $\omega t = 90^\circ$.



Gracias por su atención



Máquinas Eléctricas
4.º nivel Ingeniería Electromecánica



Máquinas e Instalaciones Eléctricas
4.º nivel Ingeniería Electrónica