



MÁQUINAS ELÉCTRICAS: GENERADOR SINCRÓNICO

EDUARDO MOJICA NAVA, Ph.D.

PAAS-UN Research Group
Department of Electrical and Electronics Engineering
National University of Colombia
2013



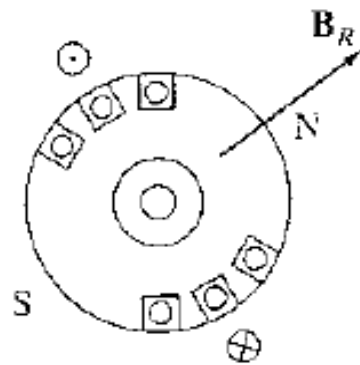
Construcción

- ▶ Se aplica una corriente DC al devanado del rotor
- ▶ Se produce un campo magnético rotacional dentro de la máquina
- ▶ Se induce un grupo trifásico en los devanados del estator

Devanados de campo: donde se producen el campo principal

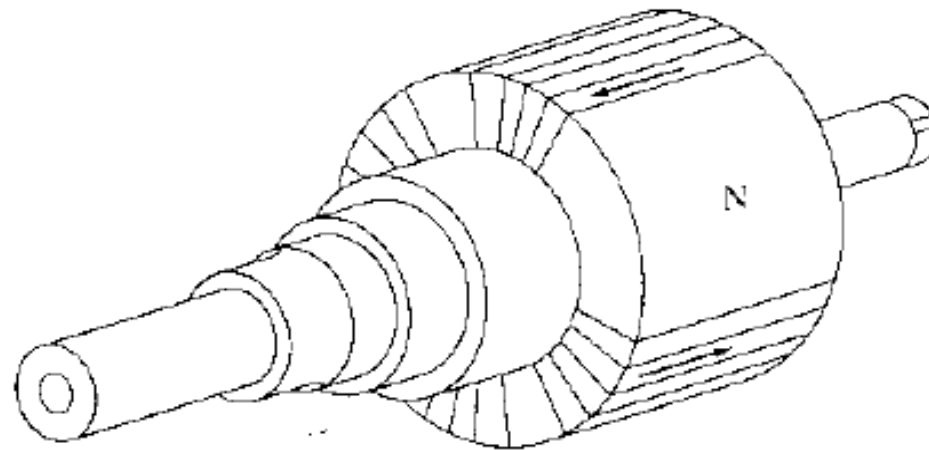
Devanados de armadura: donde se induce el voltaje principal

Construcción



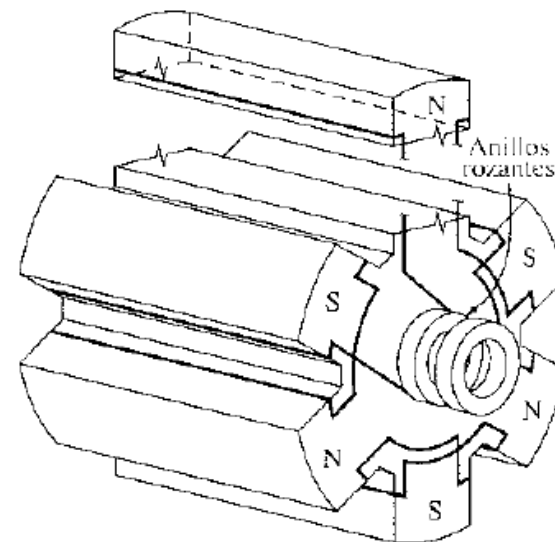
Vista de punta

Polos no salientes



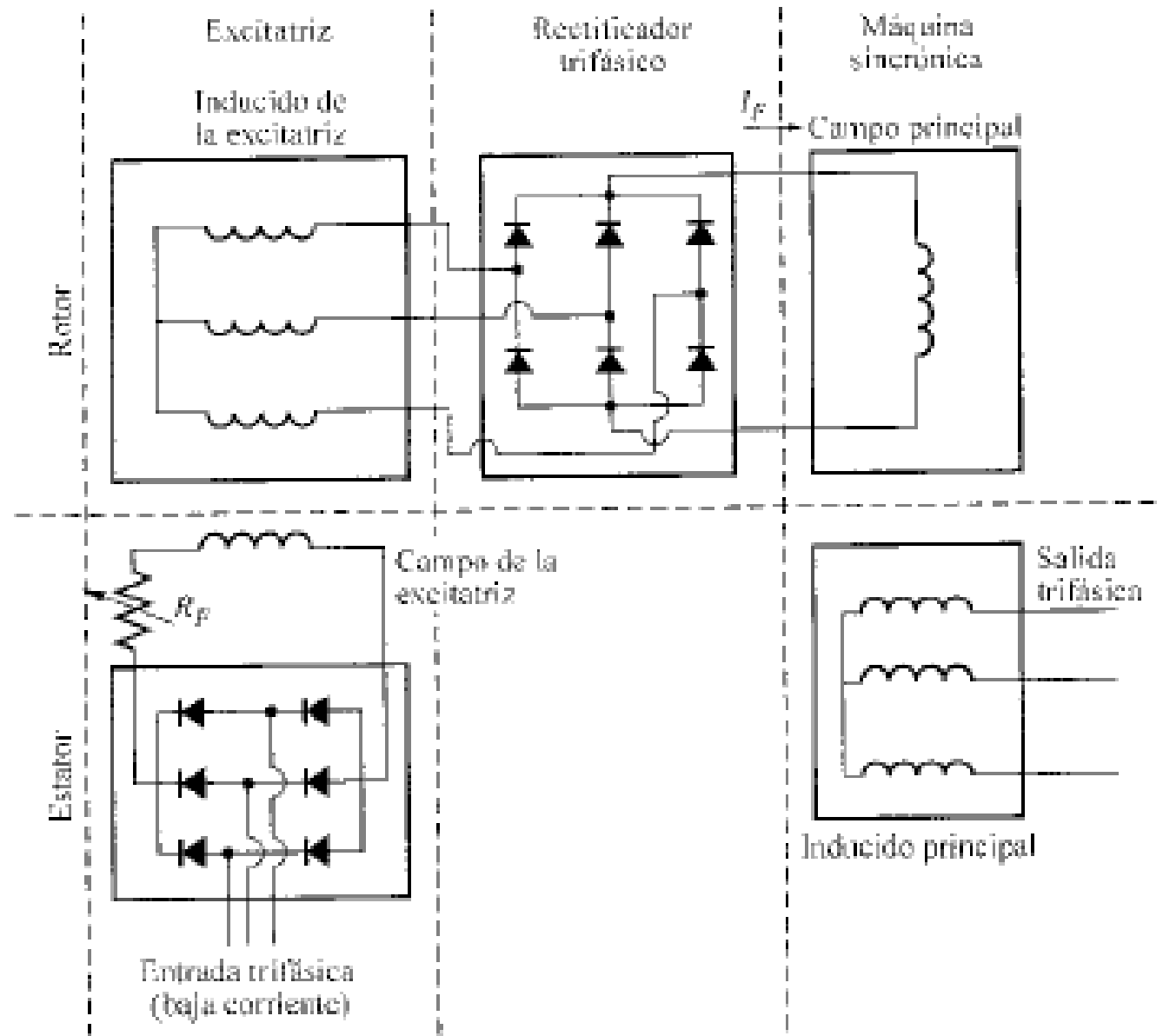
Vista lateral

Polos salientes

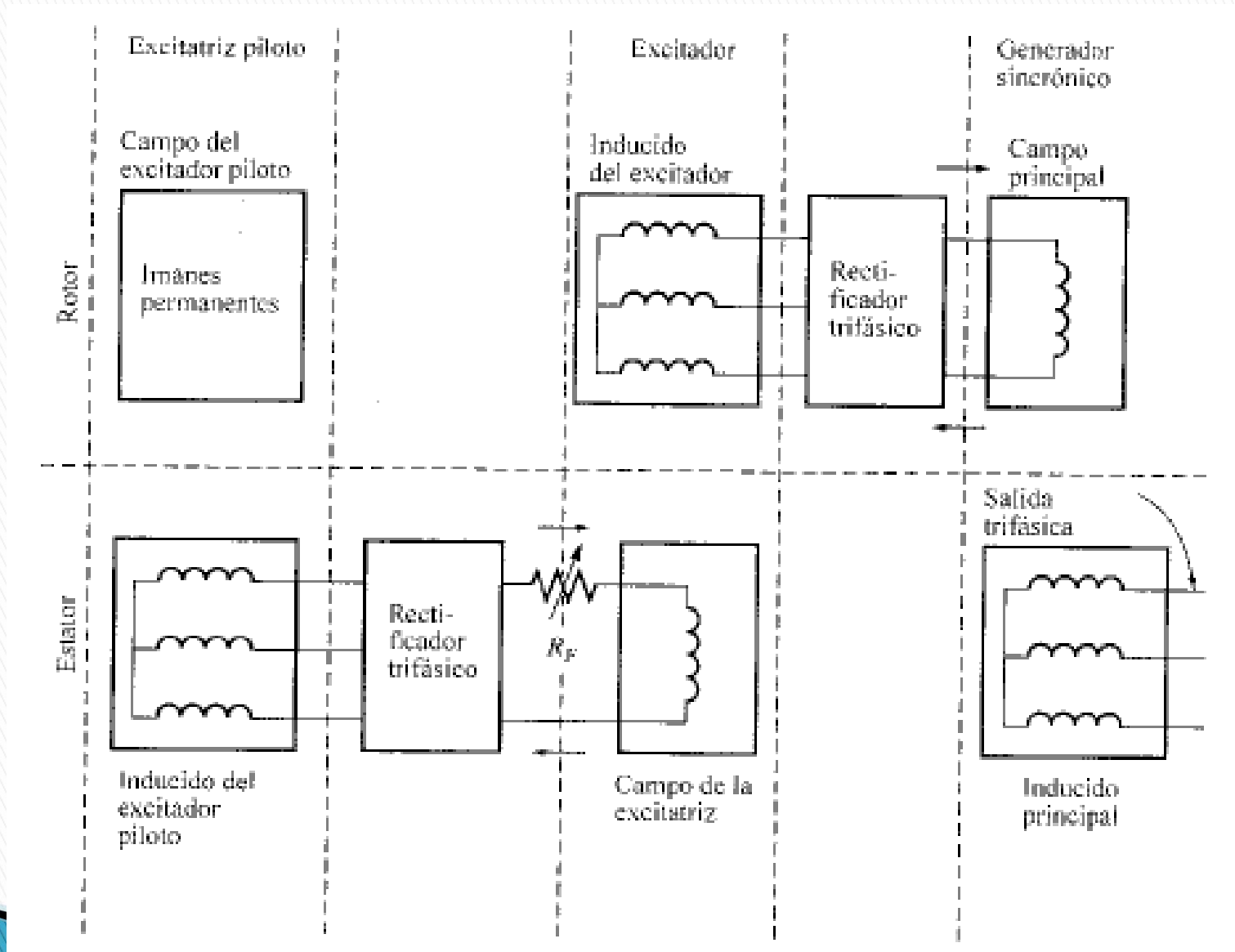


Construcción

- ▶ Se requiere entregar potencia DC a los devanados de campo
 1. A través de una fuente DC externa al rotor por medio de anillos rozantes y escobillas (máquinas pequeñas, más mantenimiento por desgaste)
 2. A través de una fuente DC montada directamente en el eje del generador (en máquinas grandes, usan excitadores o excitatrices sin escobillas)



Circuito excitador sin escobillas con excitador piloto



Velocidad de Rotación

Sincrónico: la frecuencia eléctrica producida está sincronizada con la velocidad de rotación mecánica del generador.

$$f_e = \frac{n_m P}{120} \quad (4-34)$$

donde f_e = frecuencia eléctrica, en Hz

n_m = velocidad mecánica del campo magnético en r/min (igual a la velocidad del rotor para las máquinas sincrónicas)

P = número de polos

Voltaje Generado

► Forma simplificada del voltaje

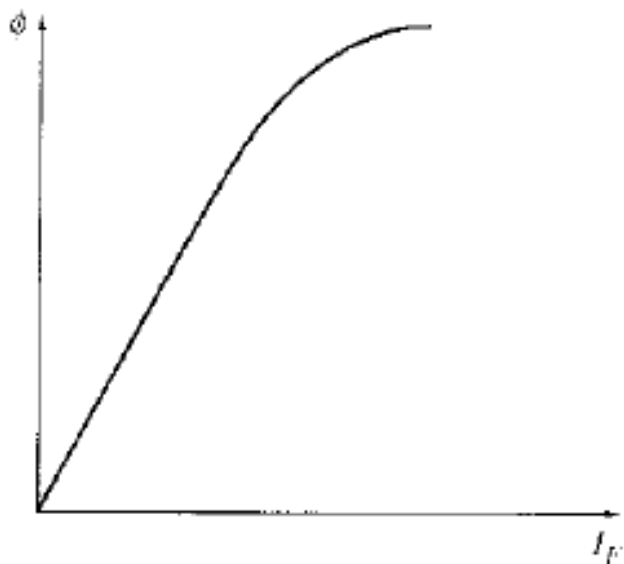
$$K = \frac{N_c P}{\sqrt{2}}$$

Con ω en radianes mecánicos

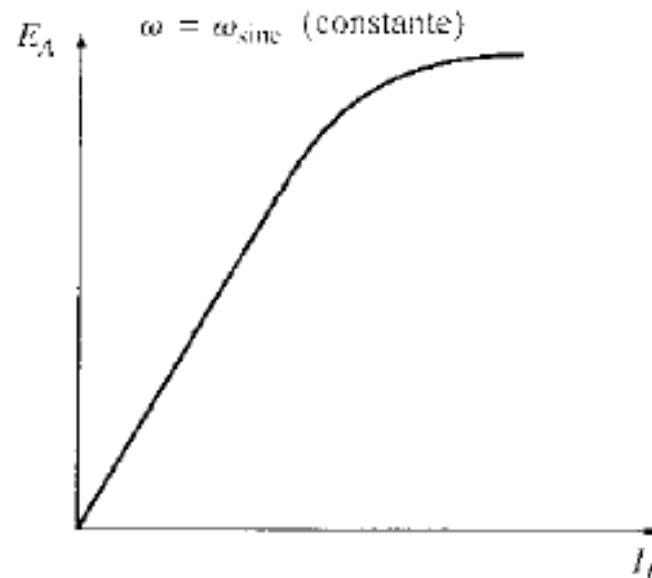
$$E_A = K \phi \omega$$

$$K = \frac{N_c}{\sqrt{2}}$$

Con ω en radianes eléctricos



a)



b)

Curva de magnetización o característica de circuito abierto

Circuito Equivalente

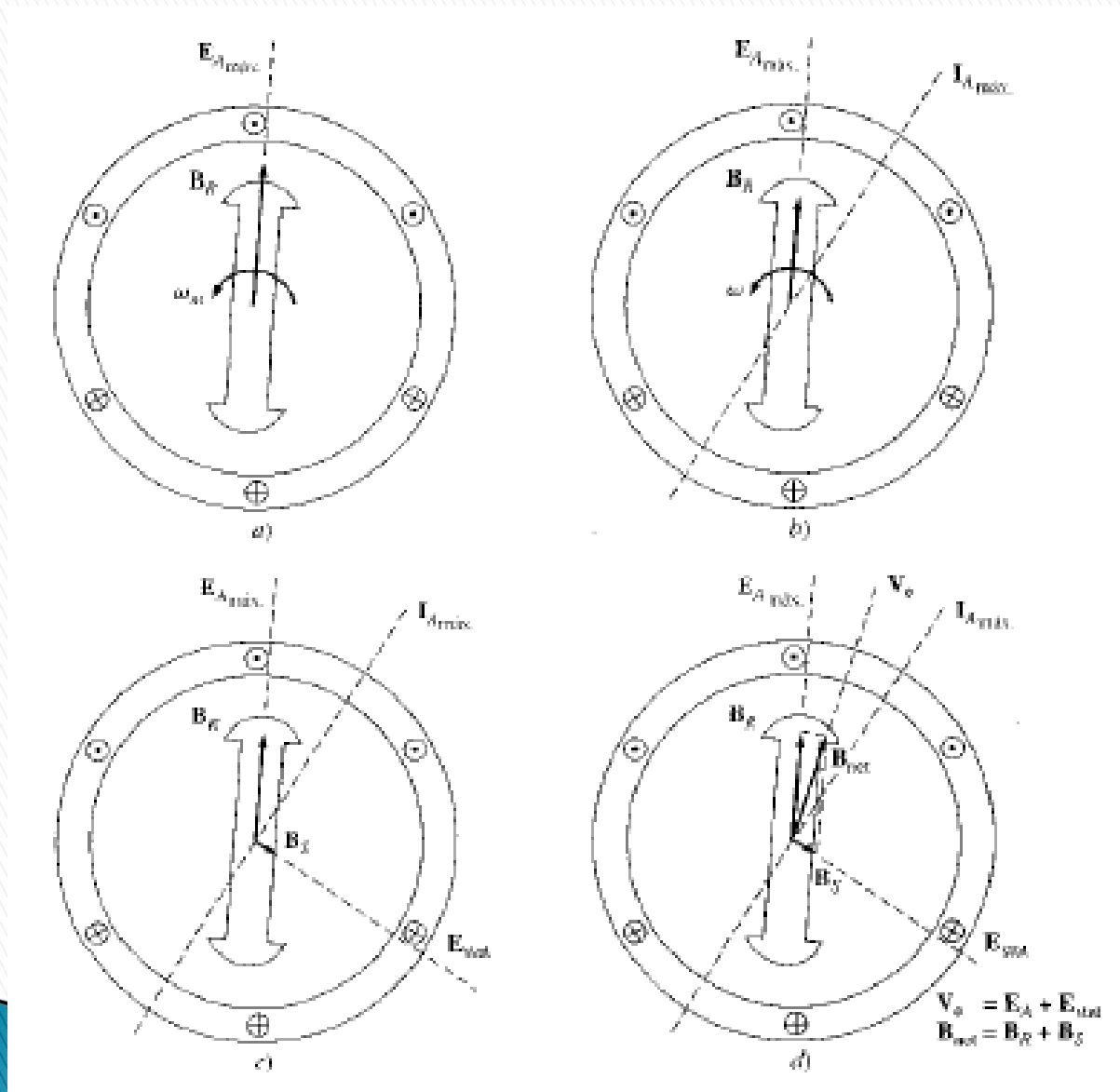
E_A solamente es el voltaje de salida V_ϕ cuando no fluye corriente de armadura en la máquina.

¿Por qué el voltaje de salida de una fase no es igual a E_A , y qué relación hay entre los dos voltajes?

Factores:

1. La distorsión del campo magnético del entrehierro debida a la corriente que fluye en el estator, llamada reacción del inducido
2. La autoinductancia de las bobinas de la armadura
3. La resistencia de las bobinas de la armadura
4. El efecto de la forma de los polos salientes del rotor

1. Reacción del Inducido



Voltaje de reacción
de inducido

$$E_{stat} = -jXI_A$$

2 y 3. Autoinductancia y Resistencia de la Armadura

$$\mathbf{V}_\phi = \mathbf{E}_A - jX\mathbf{I}_A - jX_A\mathbf{I}_A - R_A\mathbf{I}_A$$

$$X_S = X + X_A \quad \text{Reactancia sincrónica}$$

$$\mathbf{V}_\phi = \mathbf{E}_A - jX_S\mathbf{I}_A - R_A\mathbf{I}_A$$

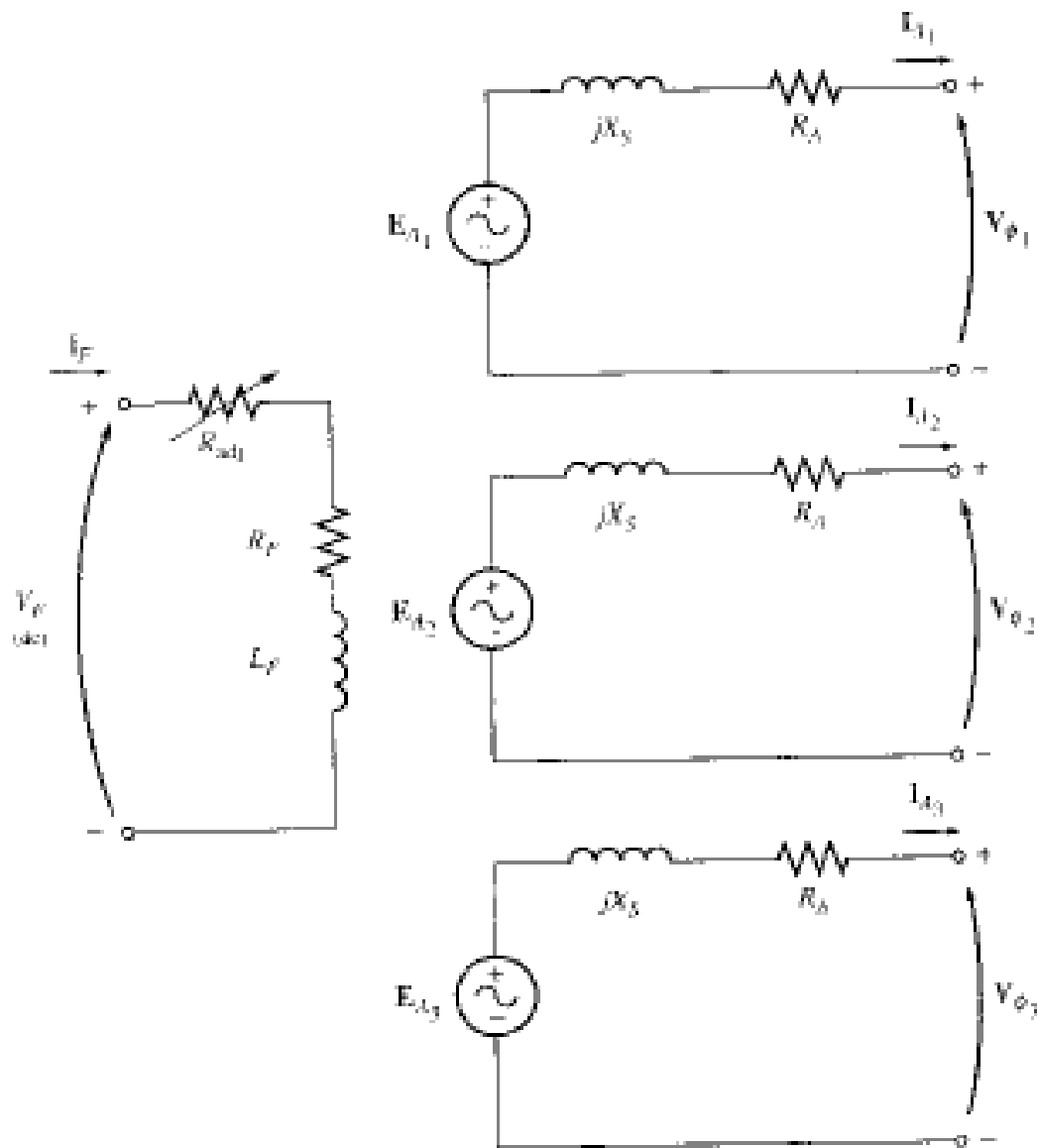
Estas tres fases se pueden conectar bien sea en Y o en Δ , como se muestra en la figura 5-11. Si se conectan en Y, el voltaje en los terminales V_T estará relacionado con el voltaje de fase por

$$V_T = \sqrt{3}V_\phi \quad (5-12)$$

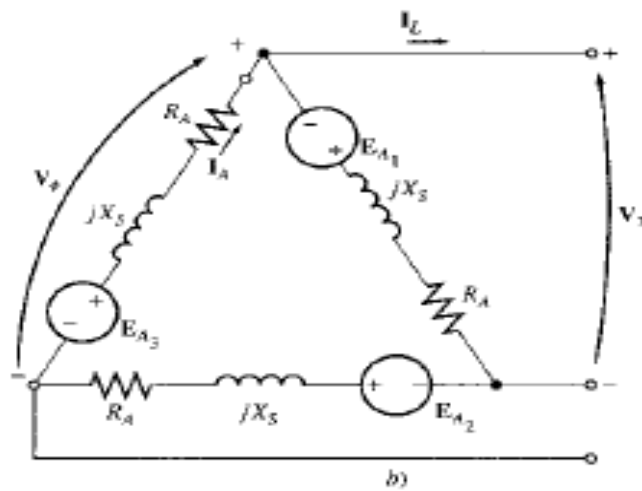
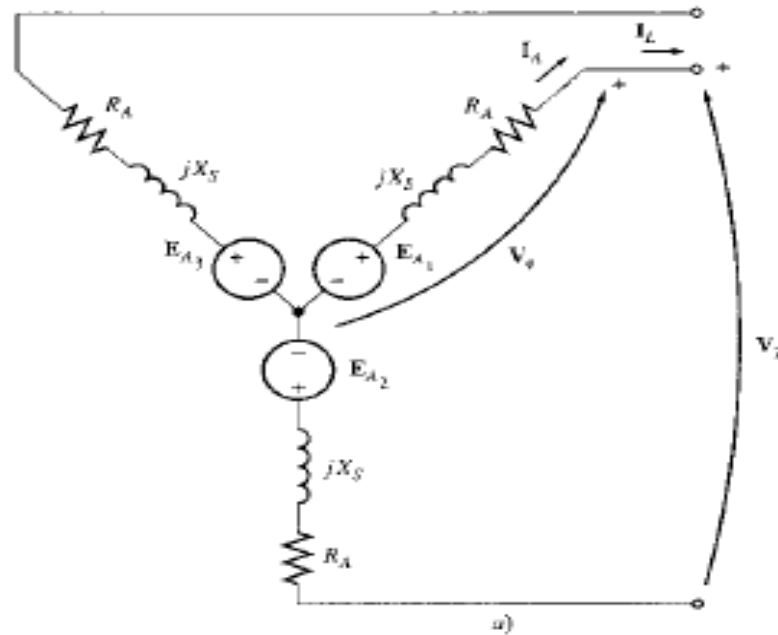
Si las bobinas se conectan en Δ ,

$$V_T = V_\phi \quad (5-13)$$

Circuito Equivalente Completo



Conexiones Trifásicas



Circuito Equivalente por Fase

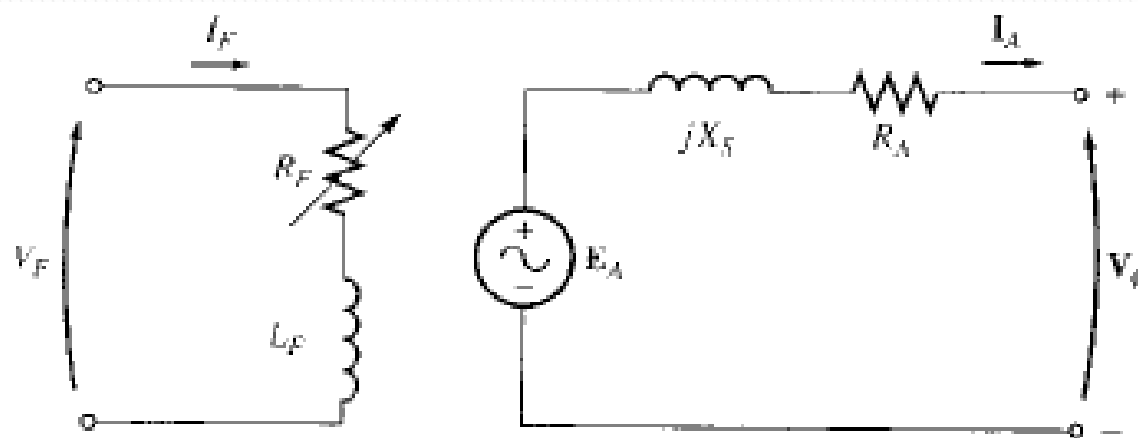
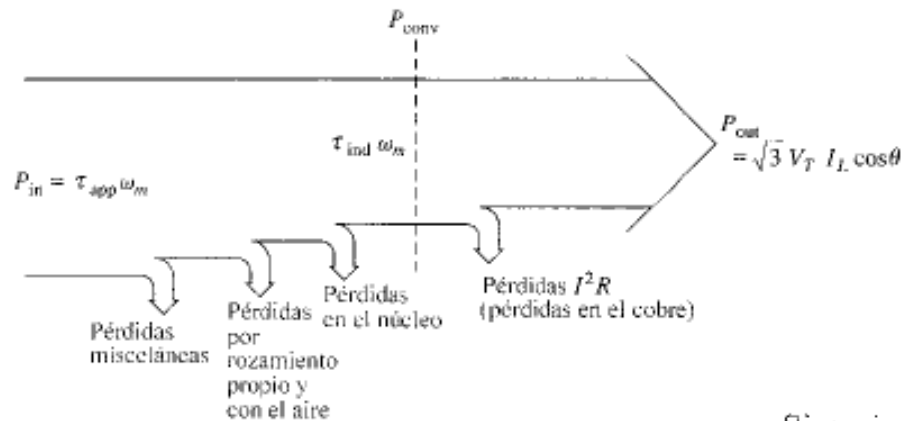


Figura 5-12

Circuito equivalente por fase de un generador sincrónico. La resistencia interna del circuito de campo y la resistencia externa variable se han combinado en una sola resistencia R_F .

Potencia y Par



$$P_{conv} = \tau_{ind} \omega_m$$

$$= 3 E_A I_A \cos \gamma$$

donde γ es el ángulo entre E_A e I_A .

des de línea a línea como

$$P_{out} = \sqrt{3} V_T I_L \cos \theta$$

y en cantidades de fase como

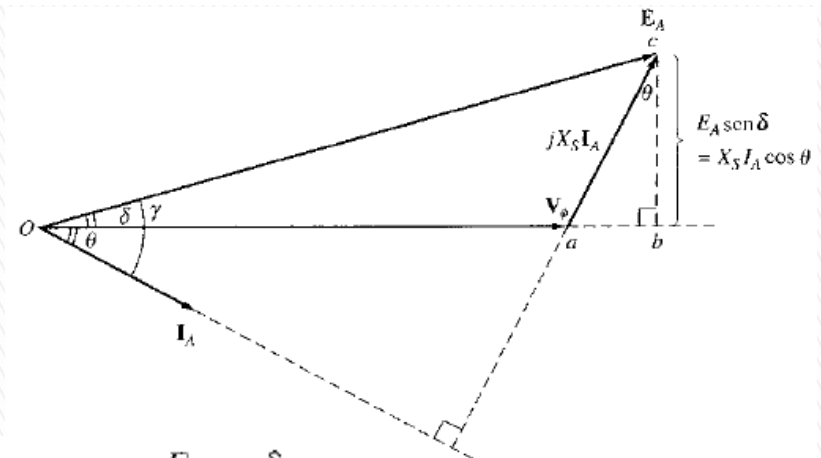
$$P_{out} = 3 V_\phi I_A \cos \theta$$

$$Q_{out} = \sqrt{3} V_T I_L \sin \theta$$

cantidades de fase como

$$Q_{out} = 3 V_\phi I_A \sin \theta$$

Si se ignora la resistencia del inducido R_A (puesto que $X_s \gg R_A$)



$$I_A \cos \theta = \frac{E_A \sin \delta}{X_s}$$

$$P = \frac{3 V_\phi E_A \sin \delta}{X_s}$$

$$\tau_{\text{ind}} = k B_R B_{\text{nel}} \sin \delta$$

En términos de cantidades magnéticas

Debido a que $P_{\text{conv}} = \tau_{\text{ind}} \omega_m$, el par inducido se puede expresar como

$$\tau_{\text{ind}} = \frac{3V_\phi E_A \sin \delta}{\omega_m X_S} \quad (5-22)$$

En términos de cantidades eléctricas

Diagrama Fasorial

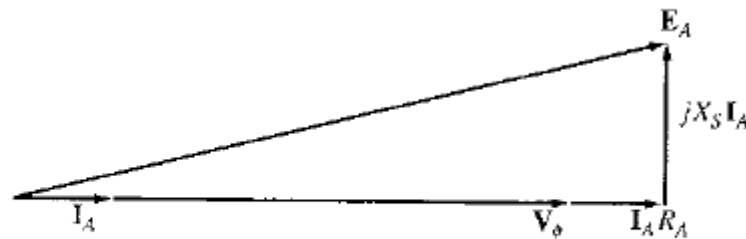


Figura 5-13

Diagrama fasorial de un generador sincrónico con factor de potencia unitario.

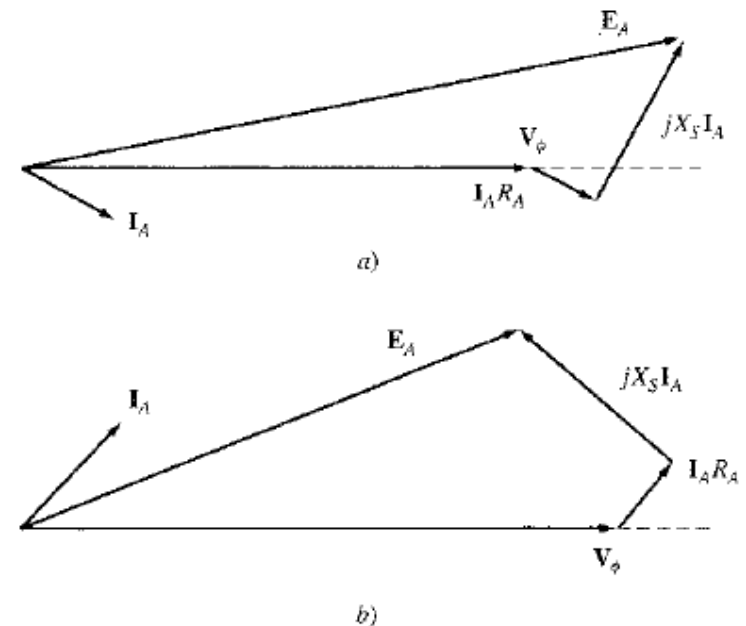


Figura 5-14

Diagrama fasorial de un generador sincrónico con factor de potencia a) en atraso y b) en adelanto.

Alternativamente, para una corriente de campo y una magnitud de corriente de carga dadas, el voltaje en los terminales es menor para cargas en atraso y mayor para cargas en adelanto.