



TECNOLOGÍA ELÉCTRICA

Máquina eléctrica rotativa de C.C.

Grado de Robótica
Curso 2022-2023

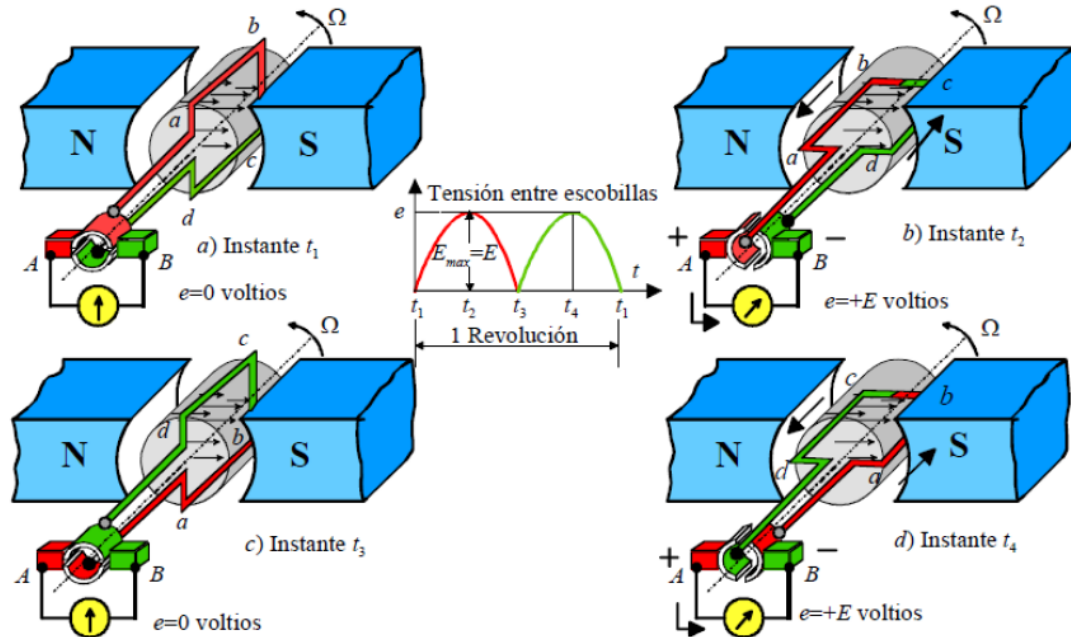
Objetivos

- Fundamentos de máquinas de C.C.
- Funcionamiento como motor.
- Máquina de C.C. real.
- Arranque y conmutación.
- Circuito equivalente.
- Potencia y rendimiento.
- Máquinas de C.C. más comunes.
- Aplicaciones.

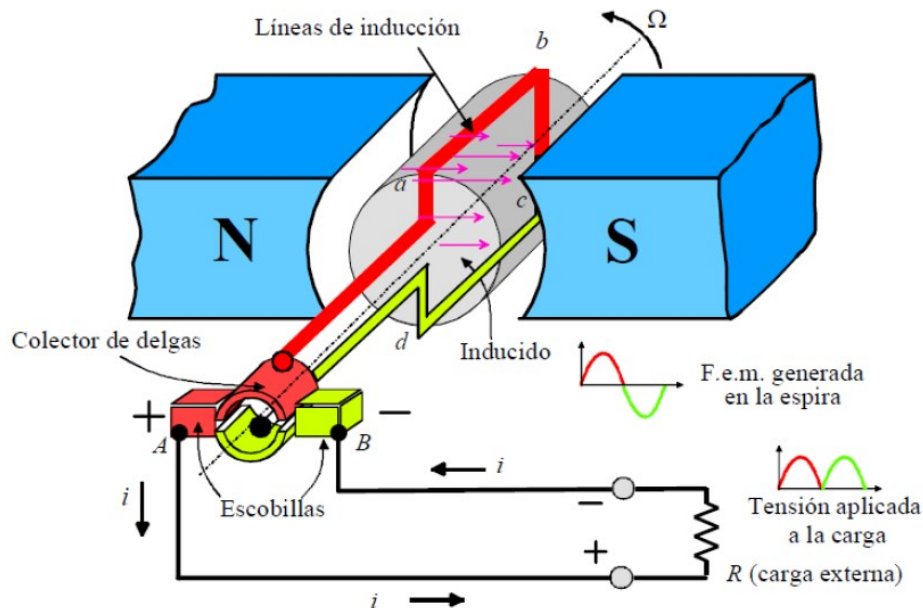
Fundamentos

- ▶ El desarrollo de la máquina de c.c. se centra en la búsqueda de procedimientos que transforman la c.a. inducida en una espira, al girar dentro de un campo magnético, en corriente continua.
- ▶ La ventaja fundamental de los motores de c.c. frente a los motores de c.a. ha sido su mayor grado de flexibilidad para el control de la velocidad y el par. Sin embargo, debido al desarrollo de la electrónica de potencia, su aplicación se ha reducido en pro de los motores de c.a., cuyo coste de fabricación y mantenimiento es más reducido.
- ▶ El estator es la parte fija al que se fijan los polos. Para mejorar la conmutación existen los polos auxiliares o de conmutación, el devanado de estos polos se conectan en serie con el inducido.
- ▶ El rotor está formado por el inducido y el colector de delgas (conmutador). El conjunto de cilindro formado por delgas es a lo que se llama colector. Las delgas están aisladas entre sí y del cubo del colector.
- ▶ Para extraer o suministrar corriente al colector se utilizan escobillas de grafito

Fundamentos: Acción rectificadora



Fundamentos: acción rectificadora



- El nombre de máquinas de c.c. se debe a que el valor de la frecuencia de la carga es $f_L=0$, lo cual se consigue por la acción rectificadora del colector.
- El inductor (devanado de excitación) que está en los polos del estator es alimentado con c.c.

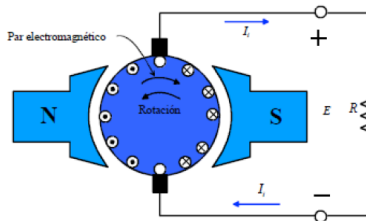
Fundamentos: Generador

- ▶ Se suministra energía de rotación al eje y
- ▶ Se aplica c.c. a la excitación (inductor).
- ▶ Cuando el rotor gira en los conductores se induce una f.e.m. alterna de frecuencia

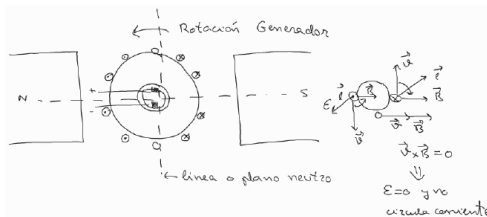
$$f_2 = \frac{np}{60}$$

- ▶ Según la ley de Faraday para conductores en movimiento en un campo magnético uniforme la f.e.m. inducida es

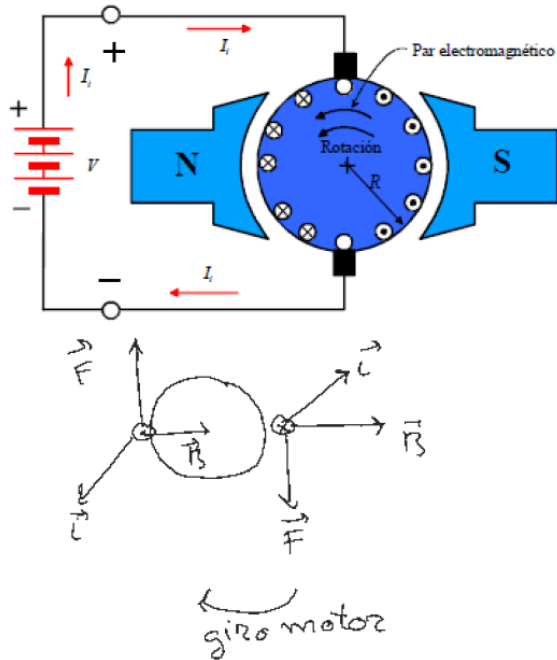
$$\varepsilon = \vec{\ell} \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$



- ▶ Debido a la acción rectificadora del colector se obtiene una c.c. entre las escobillas de salida.
- ▶ Las escobillas están en la línea neutra porque en esa posición los conductores tienen $\varepsilon=0$ y por lo tanto en la conmutación de una delga a las siguientes no aparecen chispas (arcos eléctricos).



Fundamentos: Motor



- Se suministra c.c. al inducir y a las escobillas del inducido
- Si se circular corriente por los conductores y como están en el seno de un campo magnético, sobre ellos se ejercerá una fuerza que dará lugar a un par de giro.

$$\vec{F} = l \cdot \vec{i} \times \vec{B}$$

Fundamentos: Reacción del inducido

- ▶ Cuando una máquina de c.c. funciona en vacío (como generador) no existe corriente en el Inducido y el flujo en el entrehierro está producido por la f.m.m. del inductor.
- ▶ Cuando se cierra el circuito del inducido aparece una corriente por los conductores del rotor y produce una f.m.m. del inducido, que se combina con la del estator para producir el flujo resultante.
- ▶ Se llama reacción del inducido al efecto que ejerce la f.m.m. del rotor sobre la f.m.m. del inductor, y que hace variar la forma y magnitud del flujo en el entrehierro

Fundamentos: Conmutación

- ▶ Se entiende por conmutación el conjunto de fenómenos vinculados con la variación de corriente en las espiras del inducido al pasar éstas por la zona donde se las cierra en cortocircuito por las escobillas colocadas en el colector. Una buena conmutación debe realizarse sin la formación de chispas en el colector, mientras que una mala conmutación, concurrente con la formación de chispas, produce, para un trabajo prolongado de la máquina un deterioro notable de la superficie del colector que perturba el buen funcionamiento de la máquina.
- ▶ El chisporroteo entre las escobillas y el colector obedece a causas mecánicas y eléctricas:
 - ▶ Entre las primeras figuran: defectuoso ajuste de las escobillas con el colector, resalte de algunas delgas, insuficiente equilibrado del rotor, etc.
 - ▶ La causa eléctrica fundamental del chisporroteo la constituye la elevación de la tensión entre delgas adyacentes del colector, que en especial, puede ser provocada por los fenómenos de autoinducción de las secciones del arrollamiento del inducido

Circuito equivalente: Estator

- ▶ En el caso de que el estator sea de imanes permanentes, no tiene sentido hablar de circuito equivalente. Esos imanes permanentes crearán un flujo por polo Φ , que será el que aparecerá en el circuito equivalente del rotor y será un valor fijo marcado por los imanes permanentes utilizados.
- ▶ En el caso más general de un estator consistente en un devanado arrollado sobre unos polos salientes, el circuito equivalente será, simplemente, el de una bobina (inductancia). Como toda inductancia real, su circuito equivalente será el de una inductancia L_e en serie con una resistencia parásita, que será la resistencia del hilo conductor con el que se ha bobinado para hacer el devanado.
- ▶ El valor de la inductancia L_e es el que relaciona el flujo que se crea en una máquina para una corriente I_e del estator determinada.

$$\phi = L_F I_e \quad I_e = \frac{V_f}{R_F}$$

Circuito equivalente: Rotor

- ▶ El circuito equivalente del rotor tiene bobina real, una tensión que se induce en las espiras del inducido al estar girando dentro de un campo magnético, y una caída de tensión en las escobillas.
- ▶ Como una espira está formada por dos barras, tenemos que la tensión inducida por la ley de Faraday es

$$E = 2Blv$$

- ▶ En el conjunto de todas las espiras del devanado del inducido se inducirá una tensión que será proporcional a la que se induce en cada espira, y que depende de la velocidad de giro de la máquina, sus dimensiones y el valor del campo magnético.

Circuito equivalente: Rotor

- ▶ En general se puede poner la expresión

$$E_A = k_E n \phi$$

- ▶ donde k es una constante que depende, entre otras cosas, del número de espiras, n son las revoluciones a las que gira la máquina, y Φ es el flujo por polo que atraviesa las espiras y depende del campo magnético y las dimensiones de la máquina.
- ▶ En el caso de un generador la EA se denomina fuerza electromotriz y en el caso de un motor una fuerza contraelectromotriz.
- ▶ Si una corriente de armadura fluye a través del sistema de escobillas y conmutador, esta corriente pasa a través de los conductores del rotor y se genera un par.

Circuito equivalente: Rotor

- ▶ Por la Ley de Ampere de la fuerza, este par generado es proporcional al flujo y a la corriente de armadura.

- ▶
$$T_{gen} = k_T \phi I_a$$

- ▶ Siendo k_T es una constante que depende del tamaño del rotor, del número de vueltas del rotor, y de los detalles de interconexión de estas vueltas.

- ▶ Del circuito equivalente se tiene

$$V = R_a I_a + 2V_{es} + E_A$$

Circuito equivalente: Potencia

$$\underbrace{VI_a}_{\text{Palim}} = \underbrace{R_a I_a^2}_{\text{Pérdidas en Cu de aramadura}} + \underbrace{2V_{es} I_a}_{\text{Pérdidas en escobillas}} + \underbrace{E_A I_a}_{\text{Potencia Generada}}$$

- $P_{\text{gen}} = E I_a$ es la potencia que sale del circuito eléctrico como potencia mecánica. Por consiguiente, la ley de conservación de la energía demanda que la potencia generada sea

$$P_{\text{gen}} = \varpi_m T_{\text{gen}} = E_A I_a \quad (\text{de esta relación se ve que } K_T = K_E)$$

- La potencia de salida P , será la potencia generada menos las pérdidas por rotación

$$P = P_{\text{gen}} - P_{\text{rot}}$$

Circuito equivalente: Potencia

$$\underbrace{VI_a}_{\text{Palim}} = \underbrace{R_a I_a^2}_{\text{Pérdidas en Cu de aramadura}} + \underbrace{2V_{es} I_a}_{\text{Pérdidas en escobillas}} + \underbrace{E_A I_a}_{\text{Potencia Generada}}$$

- $P_{\text{gen}} = E I_a$ es la potencia que sale del circuito eléctrico como potencia mecánica. Por consiguiente, la ley de conservación de la energía demanda que la potencia generada sea

$$P_{\text{gen}} = \varpi_m T_{\text{gen}} = E_A I_a \quad (\text{de esta relación se ve que } K_T = K_E)$$

- La potencia de salida P , será la potencia generada menos las pérdidas por rotación

$$P = P_{\text{gen}} - P_{\text{rot}}$$

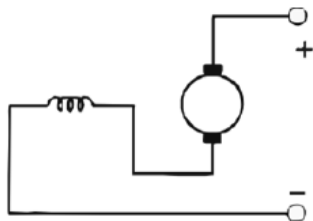
Excitación de las máquinas de C.C.

- ▶ Se distinguen:
 - ▶ Máquinas con excitación independiente: el devanado inductor es alimentado mediante una fuente de alimentación externa.
 - ▶ Máquinas autoexcitadas: se excita a si misma tomando la corriente inductora del propio inducido (caso de funcionamiento como generador) o de la misma red que alimenta el inducido (caso de trabajar como motor)
 - ▶ Se clasifican a su vez en:
 - ▶ Máquina serie
 - ▶ Máquinas shunt o derivación
 - ▶ Máquinas compound o compuestas

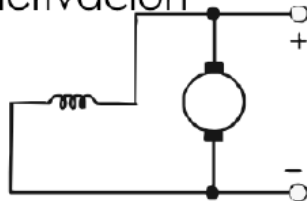
Excitación de las máquinas de C.C.

Máquinas autoexcitadas

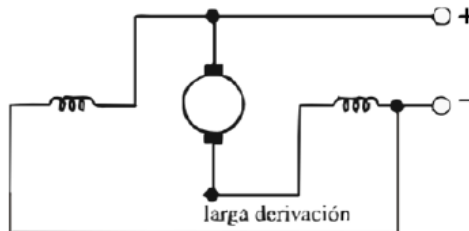
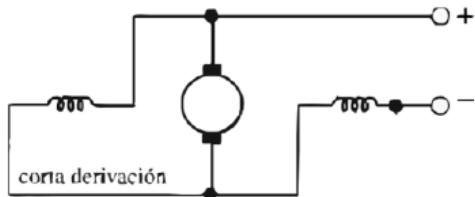
Máquina serie



Máquinas shunt o derivación



Máquinas compound o compuestas



Inversión de giro en motor de C.C.

- ▶ La corriente en uno de los devanados, a saber:
 - ▶ Manteniendo fija la polaridad del devanado de excitación, cambiamos la polaridad del inducido.
 - ▶ Manteniendo fija la polaridad del inducido se cambia la polaridad del devanado de excitación.
- ▶ En la práctica se suele optar por la primera solución puesto que la segunda acarrea ciertos problemas debido a la elevada inductancia del devanado de excitación y al magnetismo remanente de las piezas polares.

Regulación de velocidad

- ▶ La velocidad de giro de un motor es directamente proporcional a la tensión aplicada al inducido e inversamente proporcional al flujo magnético. Ello nos permite deducir que la variación de dicha velocidad puede conseguirse de cualquiera de las tres formas siguientes:
 - ▶ Cambiando la resistencia del devanado de campo
 - ▶ Cambiando el voltaje del inducido
 - ▶ Cambiando la resistencia del inducido
- ▶ De todos ellos, el más utilizado es el de control de voltaje en el inducido (Ward-Leonard).

Motor universal (C.A. en el colector)

- ▶ La construcción de un motor universal es en esencia, igual a la de un motor serie de c.c. y sus características de funcionamiento también son análogas. La corriente que recorre el inducido y el inductor tiene una frecuencia de 50 Hz, por lo que simultáneamente el flujo del inductor y el par de rotación tienen el mismo sentido relativo. Por lo que un motor serie de corriente continua puede funcionar como motor de corriente alterna, pero en el caso de corriente alterna tanto en el rotor como en el estator es preciso que ambos sean contruidos de chapa magnética.
- ▶ Se utilizan en: batidoras, máquinas de afeitar, taladros eléctricos de mano, secadores, etc.