

Resumen para C4 Sistemas electromecánicos: “Violencia moderada 4”

Felipe Vera A.

1. Glosario

Devanados

- *Armadura del motor*: Parte externa del motor, por la cual circula flujo electromagnético. Contiene devanados o imán permanente que generan flujo electromagnético.
- *Rotor*: Parte giratoria del motor. También consta de un generador de flujo magnético si el rotor es cilíndrico.
- *Polos*: Lugar en donde entra o sale flujo magnético de o hacia la armadura.
- *Ranuras*: Cortes en la armadura del motor que la divide en zonas más gruesas, en donde el flujo magnético circula más fácilmente desde o hacia el rotor, dividiendo la armadura en polos.
- *Eje directo*: Eje del motor que tiene el mismo sentido de sus polos.
- *Eje normal/de cuadratura*: Eje del motor perpendicular al eje directo.

Máquinas CC

- V_a, R_a, L_a, I_a : Características y variables de los devanados de armadura.
- V_f, R_f, L_f, I_f : Características y variables de los devanados de campo.???
- V_{rot} ó E : Tensión que cae en la parte rotatoria del motor, cuya energía se transforma completamente en energía mecánica.
- I_{fq} : ???
- G_{fq} : **Inductancia mutua** entre los devanados de campo y de armadura. Se mide en $[H]$.
- T_e : **Torque eléctrico**, corresponde al torque que produciría el rotor sin ninguna carga que impida su movimiento. Se mide en $[Nm^2]$.

- T_c : **Torque de carga**, corresponde a un torque que anula el efecto del torque eléctrico.
- J : **Momento inercial**, depende de la cantidad y distribución de la masa de la carga. Se mide en $[kg m^2]$
- ω : **Rapidez angular** del rotor en $[\frac{rad}{s}]$.
- η : Dependiendo del contexto, puede significar **rendimiento** del motor o **rapidez angular**, la cual se mediría en $[rpm]$.
- ϕ : Flujo magnético, se mide en $[Wb]$???
- ψ : **Enlace de flujo**, relaciona la inductancia de un devanado con la corriente a través de él.

2. Máquinas eléctricas a corriente continua

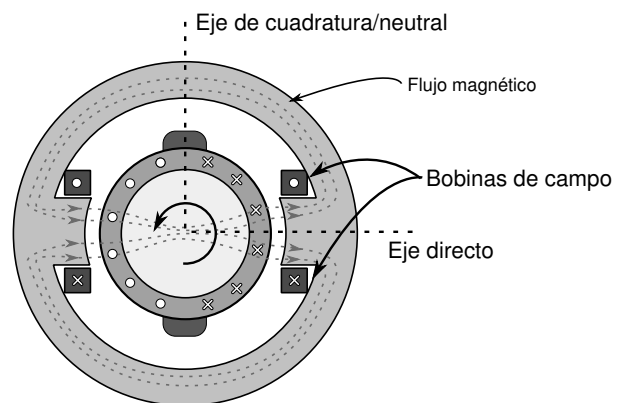
El funcionamiento de un motor DC se basa en hacer pasar una corriente en un conductor dentro de un campo magnético, lo cual genera una fuerza por ley de Lorentz, al tratarse de cargas en movimiento.

$$\vec{F} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B} \quad \Rightarrow \quad ||\vec{F}|| = il \cdot (\hat{i} \times \vec{B})$$

2.1. Estructura del motor: una introducción

Al momento de armar un motor, este se construye teniendo los siguientes elementos:

- *Armadura del motor/Estator*: Es la parte externa del motor. Aparte de constituir un elemento mecánico que sirva para mantener aislado al devanado del exterior, también se construye con el propósito de ser un material ferromagnético de una permeabilidad magnética lo más alta posible ($\mu \rightarrow \infty$ en aplicaciones teóricas), para poder completar el circuito magnético que haga que el rotor gire. También posee bobinas (*aunque comúnmente, en lugar de eso, posee imanes permanentes*) para establecer un flujo magnético permanente que atraviese el rotor.
- *Rotor*: Es la parte móvil del motor. También está fabricado de un material de permeabilidad alta para que el flujo magnético pase por él. En una máquina de corriente continua también tiene devanados para generar campos magnéticos que hagan que el rotor gire, mediante repelencia/atracción, lo cual hace necesario que el rotor esté en contacto eléctrico con alguna fuente. Esto se logra mediante el uso de *escobillas* (comúnmente se le llaman *carbones*).



Del esquema:

- *Eje directo*: Es un eje que está en la misma dirección del flujo magnético.
- *Eje de cuadratura/normal*: Es perpendicular al eje anterior.

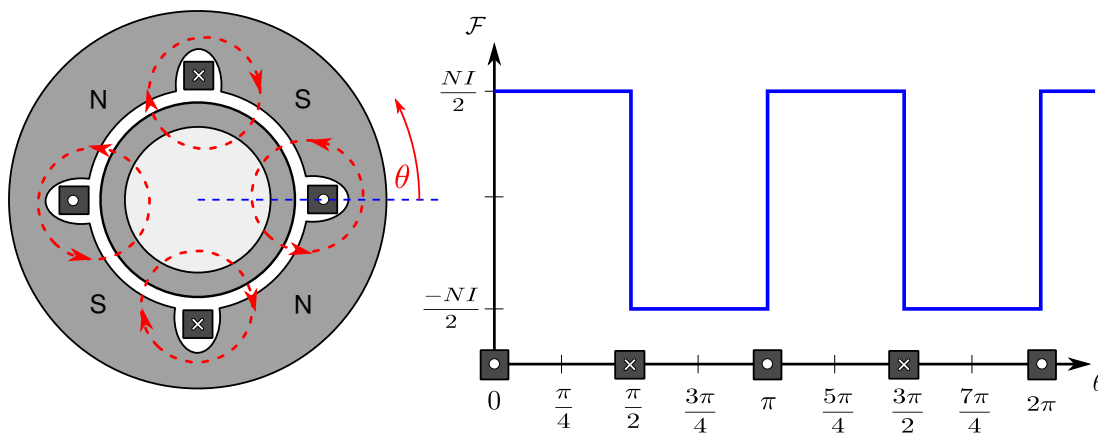
Nótese que en el caso de la figura, el flujo magnético tiende a circular a través del menor espacio de aire posible (debido a que hay menor reluctancia en ese camino). En ese caso el flujo magnético llega al rotor desde un solo lugar y sale por otro, como si fuera un imán permanente en forma de barra con un polo N y otro S. Por eso se dice que este motor **tiene un par de polos**.

El movimiento se produce cuando el campo magnético del rotor y la armadura están desalineados, con esto, el rotor debe girar para mantener el equilibrio. Cuando llega al equilibrio las escobillas cambian el sentido de la corriente en el devanado del rotor, por lo tanto, desalineando ambos campos magnéticos y continuando el movimiento. Luego el ciclo se repite hasta que no circule corriente por el devanado del rotor.

Ranuras

El siguiente motor tiene cuatro ranuras en la armadura (en el corte transversal, son los espacios entre los polos del imán), lo cual genera que la circunferencia del motor se divida en cuatro polos, donde el flujo magnético tiene que atravesar menos aire, por lo tanto es más fácil que lo haga en tales zonas.

Para analizar la magnitud del flujo magnético que circula en estos polos, se despliega el motor y se elabora un **diagrama polar** de campo magnético v/s ángulo. La fuerza magnetomotriz \mathcal{F} es positiva en los lugares en el que el flujo entra al rotor, y negativa donde sale.



En este caso es observable que el patrón de fuerza magnetomotriz es periódico cada π , por lo tanto hay dos períodos dentro de la circunferencia del motor, es decir 2π . Con eso, se puede establecer una relación entre θ_e (ángulo dentro de un período de fuerza magnetomotriz) con θ_g (ángulo dentro del motor, al que llamábamos en el diagrama como θ y el número p de pares de polos que posee el devanado.

$$\theta_e = p \cdot \theta_g$$

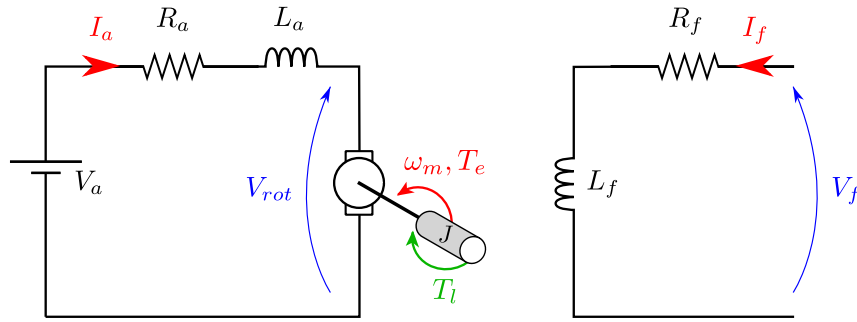
También hay una buena cantidad de otros detalles que no voy a pasar acá como:

- *Devanados distribuidos*: Donde la distribución de ranuras se hace para que el gráfico de fuerza electromotriz sea similar a una sinusoidal.
- *Motores polifásicos*.
- *Motores squirrel-cage*.
- *Tensiones inducidas*.

3. Introducción a máquinas CC

Estas máquinas funcionan con corriente continua aplicada a sus rotores.

Se tiene el tipo general de máquina CC, la cual consiste en un *motor de excitación independiente*.



Este tipo de máquina a continua tiene dos corrientes: la de **armadura** y la de **campo**. Las corrientes son continuas así que para efectos de análisis en este contexto, **las inductancias se comportan como cortocircuitos**, por lo que sólo las resistencias presentan caídas de tensión. Los LVKs presentes en este circuito son:

$$V_a = I_a \cdot R_a + V_{rot}$$

$$V_f = I_f \cdot R_f$$

Además, V_{rot} puede relacionarse con la corriente de campo I_f mediante la inductancia mutua de armadura y de campo.

$$V_{rot} = \underbrace{G_{fq} \cdot I_f}_{\phi} \cdot \omega_r$$

Se tiene también las siguientes relaciones.

$$\psi = L \cdot I$$

$$\phi = G_{fq} \cdot I_{fq}$$

$$G_{fq} = \frac{N_f \cdot N_a}{\mathcal{R} \cdot \pi}$$

Para efectos de los torques se tiene la siguiente ecuación mecánica, derivada de la tercera ley de Newton.

$$T_e - T_c = J \cdot \frac{d\omega}{dt}$$

Además:

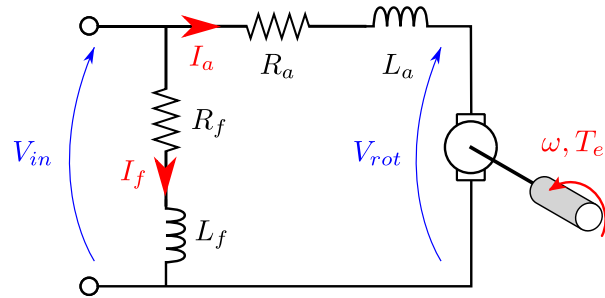
$$T_e = G_{fq} \cdot I_f \cdot I_a$$

$$P_{eje} = T_e \cdot \omega = V_{rot} \cdot I_a$$

3.1. Tipos comunes de máquinas CC

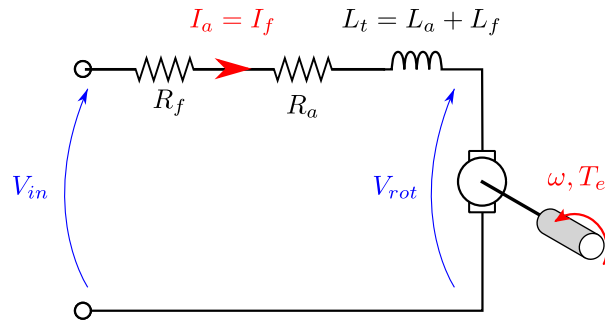
Existen varios tipos, los dos primeros son los más usados.

Shunt: En esta variedad, el devanado de campo (R_f y L_f) está conectado en paralelo al motor, lo que hace que en este devanado caiga todo el voltaje V_{in} . Por lo tanto el voltaje del rotor V_{rot} está determinado por el voltaje de entrada y la caída de tensión en el devanado de armadura $R_a \cdot I_a$. (Se desprecia la caída de tensión en el inductor L_a , puesto que es un motor de corriente continua y en tales casos el inductor actúa como un cortocircuito)



$$V_{rot} = V_{in} - R_a \cdot I_a$$

Serie: En esta variedad, el devanado de campo (R_f y L_f) está conectado en serie al motor, lo que hace que el voltaje V_{in} se reparta entre la resistencia del devanado de armadura R_a , del de campo R_f y el motor V_{rot} . Las inductancias de armadura y de campo están sumadas en L_t , y nuevamente no tienen injerencia sobre la tensión rotacional final.



$$V_{rot} = V_{in} - (R_a + R_f) \cdot I_a$$

Existen más tipos de máquinas CC, pero no se detallará en eso acá.