

CAPÍTULO

II

Máquinas de corriente directa

El presente es un capítulo de *Máquinas eléctricas y técnicas modernas de control* de Pedro Ponce Cruz y Javier Sampé López, quienes amablemente nos autorizaron a incluirlo como lectura complementaria de *Teoría de control para informáticos* de Rubén J. Fusario, Patricia S. Crotti, Andrés P. M. Bursztyn y Omar O. Civalé.



- 2.1 Introducción
- 2.2 Partes principales de las máquinas de c.d.
- 2.3 Clasificación de las máquinas de c.d.
- 2.4 Motor serie
- 2.5 Motor paralelo
- 2.6 Motor compuesto
- 2.7 Generador serie
- 2.8 Generador paralelo
- 2.9 Generador compuesto
- 2.10 Problemas

2.1 Introducción

Guerra de las corrientes

Edison George Westinghouse Jr. (1846-1914) fue un inventor estadounidense y el principal responsable de la adopción de la corriente alterna para el suministro de energía eléctrica en Estados Unidos. Para esto, tuvo que vencer la enconada oposición del popular inventor Thomas Edison, partidario de la corriente continua, quien llegó a financiar la invención de la silla eléctrica como parte de este desacuerdo.

Las máquinas de corriente directa (c.d.), especialmente las de excitación separada, se caracterizan por estar desacopladas, es decir, que se tiene un control independiente del flujo principal y del par electromagnético. Otra característica importante de estas máquinas es que se puede encontrar una de acuerdo con la aplicación que se requiera ya que existen diferentes tipos de conexiones y entre las principales se encuentra la conexión serie, paralelo, compuesto, excitación independiente, imanes permanentes, etc. Debido a la facilidad de control de estas máquinas se emplean en donde se requieren aplicaciones de velocidad variable, tomando en cuenta los problemas que tienen en operación: una menor eficiencia con respecto a las máquinas de corriente alterna (c.a.) debido a las escobillas que conectan la parte fija y la móvil de la máquina. Aún con este problema, existen aplicaciones en donde las máquinas de c.d. no han podido ser sustituidas por máquinas de c.a.

Una máquina de c.d. puede funcionar ya sea como motor o como generador. El motor convierte la potencia eléctrica en potencia mecánica, en tanto que el generador transforma la potencia mecánica en potencia eléctrica y por lo tanto el generador debe de ser impulsado mecánicamente a fin de generar electricidad. Como se verá más adelante estas máquinas pueden operar como generador o como motor, ya que el circuito equivalente de éstas varía únicamente en la dirección de las corrientes en cada modelo.

2.2 Partes principales de las máquinas de c.d.

Las partes principales de una máquina de corriente directa son: el estator que es la parte fija y el rotor que es la parte móvil. Para algunas máquinas de c.d. también son indispensables los carbones o escobillas que conectan

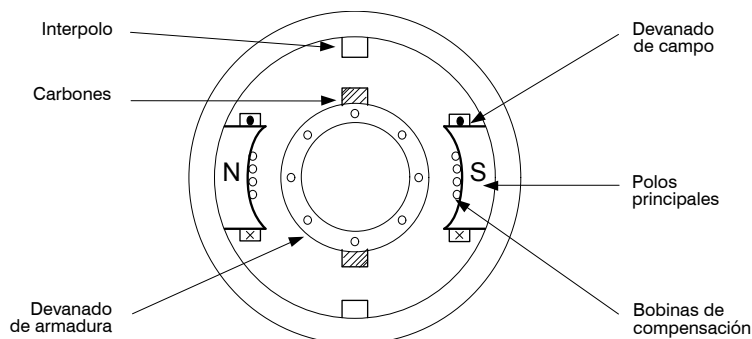


Figura 2.1 Partes de una máquina de c.d.

la parte fija y la móvil, el colector de delgas que actúa como un rectificador mecánico, y los polos auxiliares que ayudan a reducir el efecto de la reacción de inducido. En estas máquinas también es necesario comentar que el devanado de campo es colocado en el estator y al devanado que va colocado en el rotor se le conoce como devanado de armadura.

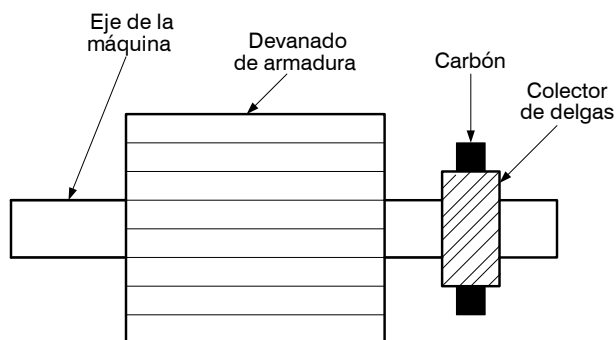


Figura 2.2 Devanado de armadura de una máquina de c.d.

Estator y rotor

La estructura de una máquina eléctrica tiene dos componentes principales: el estator y el rotor, los cuales están separados por un entrehierro.

El estator es la carcasa de la máquina y es una parte no móvil de ésta. Por otro lado, el rotor está libre para moverse y por lo general es la parte interna de la máquina.

Tanto el estator como el rotor están hechos con materiales ferromagnéticos, y la mayor parte de los estatores tienen ranuras externas e internas en las cuales se colocan conductores.

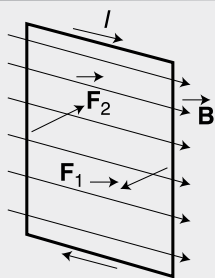
2.3 Clasificación de las máquinas de c.d.

Puesto que el devanado de campo es un electroimán, una intensidad de corriente debe fluir a través de él para producir un campo magnético; esta corriente se conoce como corriente de excitación y se puede suministrar al devanado del campo en dos formas: puede provenir de una fuente externa independiente de c.d., en cuyo caso el motor o generador se clasifica como de excitación independiente, o bien puede provenir de la propia conexión de la armadura del motor o generador en cuyo caso se denomina autoexcitado.

Cuando un devanado de campo se excita por medio de una corriente directa se establece un flujo magnético fijo en la máquina, y si se aplica un esfuerzo mecánico al eje del rotor (o más correctamente, la armadura) haciendo que gire, las bobinas de la armadura cortarían el flujo magnético induciéndose en ellas una tensión de c.a. convirtiéndola en c.d. mediante el colector de delgas y las escobillas, y en este caso la máquina se encuentra operando como generador de c.d. Si el devanado de armadura es excitado mediante una fuente de c.d. y al mismo tiempo el devanado de campo es excitado por la misma fuente de c.d. o una fuente externa, ambos flujos interactúan haciendo que la armadura de la máquina gire en cierta dirección; en este caso esta máquina está operando como motor.

2.4 Motor serie

Momento magnético de una espira



Como se muestra en la figura, al situar en un campo magnético uniforme \mathbf{B} una espira por la que circula una corriente I , de acuerdo con la expresión de la fuerza de Lorentz sobre la espira actúan las fuerzas \mathbf{F}_1 y \mathbf{F}_2 , de igual magnitud y dirección pero de sentido contrario, que originan un par que hace girar a la espira.

Si se representa el área de la espira con un vector \mathbf{A} , normal al plano que contiene a la espira y con el mismo sentido que \mathbf{F}_2 , entonces el momento \mathbf{N} del par se expresa como

$$\mathbf{N} = I \mathbf{A} \times \mathbf{B}$$

Se designa así al motor de corriente continua cuya bobina de campo (inductor) está conectada en serie con la bobina de armadura (inducido). Al igual que en los generadores serie, las bobinas de campo son construidas de pocas espiras y con conductor de gran sección.

Este motor se caracteriza por su par de arranque elevado, ya que el par de esta máquina es directamente proporcional a la corriente de armadura al cuadrado. El problema que tiene esta máquina es que si se deja en vacío en condiciones nominales, presenta el peligro de embalsarse debido al reducido valor del flujo de campo que depende de la corriente de campo. Recordando que la corriente de campo es igual que la corriente de armadura por estar conectados en serie, como la máquina se encuentra en vacío la corriente de armadura es prácticamente cero. En consecuencia, la velocidad del motor depende totalmente de la corriente de campo, por lo tanto la velocidad es baja cuando la carga es pesada y alta con cargas ligeras. El circuito equivalente de este motor se encuentra representado en la figura 2.3, en donde se puede ver que las ecuaciones de la máquina son

$$\begin{aligned} V_t &= E_a + (R_a + R_s) I_a \\ I_a &= I_s = I_L \end{aligned} \quad (2.1)$$

en donde V_t es el voltaje en las terminales, E_a es el voltaje de armadura, R_a y R_s son las resistencias de armadura y serie, respectivamente, e I_a e I_s son las corrientes de armadura y serie.

El voltaje en las terminales de la armadura también se puede calcular a partir de

$$E_a = k\phi\omega \quad (2.2)$$

en donde k es una constante que depende de la construcción de la máquina, ϕ es el flujo del devanado de campo serie dado en webers y ω es la velocidad angular de la máquina en rad/seg. El par que entrega la máquina entre sus terminales está dado por

$$\tau = k\phi I_a \quad (2.3)$$

en donde τ es el par que proporciona la máquina en N-m y la I_a es la corriente de la armadura

En la figura 2.3 se pueden ver las bobinas L_a y L_s de forma ficticia, ya que como se sabe una bobina alimentada con una fuente de corriente

directa se comporta como un cortocircuito en estado permanente creando un campo magnético fijo.

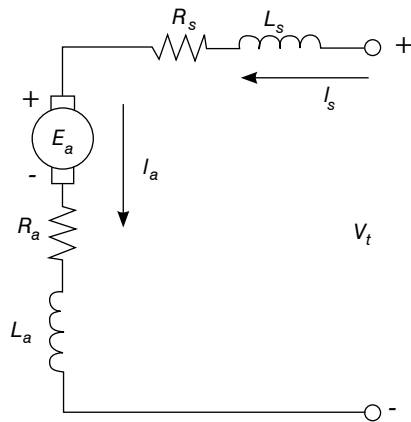


Figura 2.3 Circuito equivalente del motor serie.

En la figura 2.4 se puede observar una prueba que se desarrolla en un motor de c.d. excitación serie; desde la carga nominal se le va quitando la carga de forma gradual hasta llegar aproximadamente a un cuarto de la misma. En este caso es evidente la elevación de la velocidad, ya que la velocidad nominal de la máquina bajo prueba es de 3500 rpm.

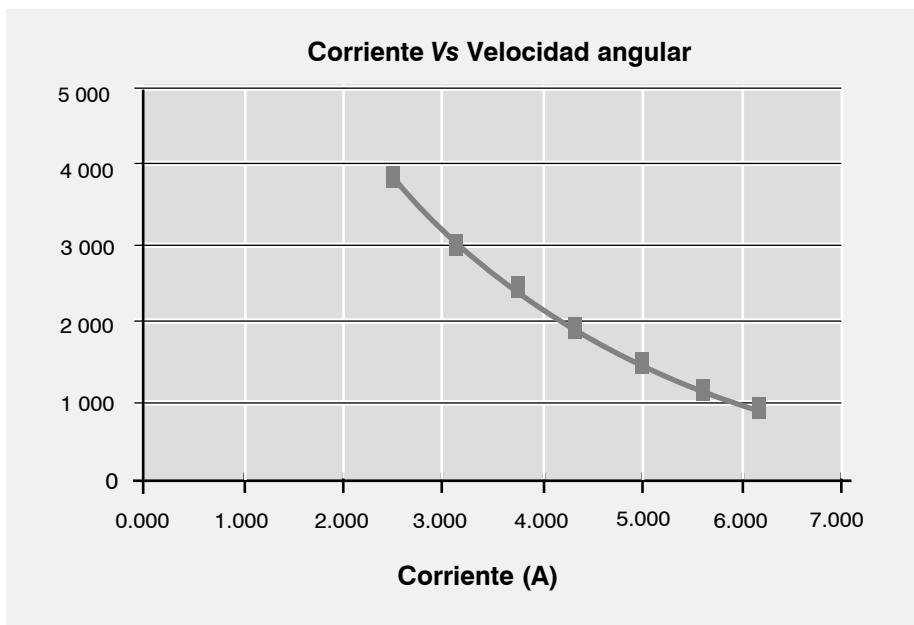


Figura 2.4 Curva característica de velocidad contra corriente de armadura.

Potencia eléctrica y mecánica

La potencia eléctrica se define como la cantidad de trabajo realizado por una corriente eléctrica.

En el caso de la corriente continua, la potencia eléctrica desarrollada por un dispositivo de dos terminales es el producto de la diferencia de potencial entre las terminales por la intensidad de la corriente que pasa a través del dispositivo.

$$P = I \cdot V$$

donde I es la corriente y V es el voltaje.

Cuando el dispositivo es una resistencia R , la potencia es

$$P = I^2 \cdot R = \frac{V^2}{R}$$

Por otro lado, la potencia mecánica se define como el trabajo realizado por una fuerza durante la unidad de tiempo.

Velocidad angular

La velocidad angular se define como

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

donde θ es el ángulo de rotación, y sus unidades son radianes por segundo.

En el caso de un movimiento periódico, la relación que hay entre la velocidad angular, el periodo y la frecuencia es

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

donde T es el periodo y f es la frecuencia.

2.5 Motor paralelo

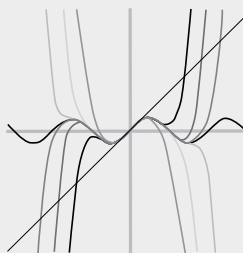
Aproximación de una curva a través de polinomios

Para aproximar una función (curva) $f(x)$, infinitamente derivable (muy suave) y definida en un intervalo abierto $(a - \delta, a + \delta)$, a través de polinomios se utiliza la serie de Taylor de la función que se define como

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{f^{(n)}(a)}{n!} (x-a)^n$$

en donde $f^{(n)}(a)$ es la n -ésima derivada de $f(x)$ evaluada en a .

En la siguiente figura se muestra la aproximación de $f(x) = \sin(x)$ utilizando polinomios de grados 1, 3, 5, 7, 9, 11 y 13.



El motor de c.d. en paralelo es diferente del motor de serie ya que el devanado inductor está conectado en paralelo con la armadura. Puesto que el devanado inductor se conecta en paralelo al devanado del inducido, a este tipo de máquinas se le conoce como motor con excitación en paralelo, o simplemente motor paralelo.

Un motor en paralelo o en derivación tiene características diferentes en construcción al motor serie, ya que la bobina de campo en derivación está devanada con alambre de calibre delgado y muchas vueltas para generar un campo lo suficientemente fuerte para mantener la velocidad de esta máquina prácticamente constante. Esto significa que el motor tiene un par de arranque menor que el motor serie, pero es más estable con respecto a su velocidad de operación.

Las ecuaciones que rigen a este tipo de máquina se pueden obtener a partir del circuito equivalente mostrado en la figura 2.5.

$$\begin{aligned} V_t &= E_a + I_a R_a \\ V_p &= V_t \end{aligned} \quad (2.4)$$

en donde V_t es el voltaje en las terminales de la máquina, E_a es el voltaje en las terminales de la armadura, I_a es la corriente en la armadura, R_a es la resistencia de armadura y V_p es el voltaje de en paralelo o voltaje de campo paralelo.

Las ecuaciones 2.2 y 2.3 se aplican de la misma forma a este tipo de máquina.

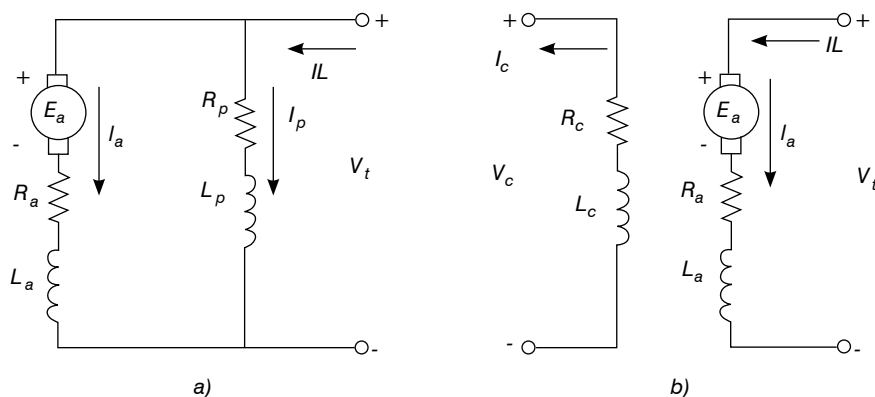


Figura 2.5 Circuito equivalente del motor paralelo a) autoexcitado, b) excitación separada.

En la figura 2.6 se muestra la curva de par contra velocidad, en donde se puede observar que la velocidad de este tipo de máquina es prácticamente constante en comparación con el motor serie.

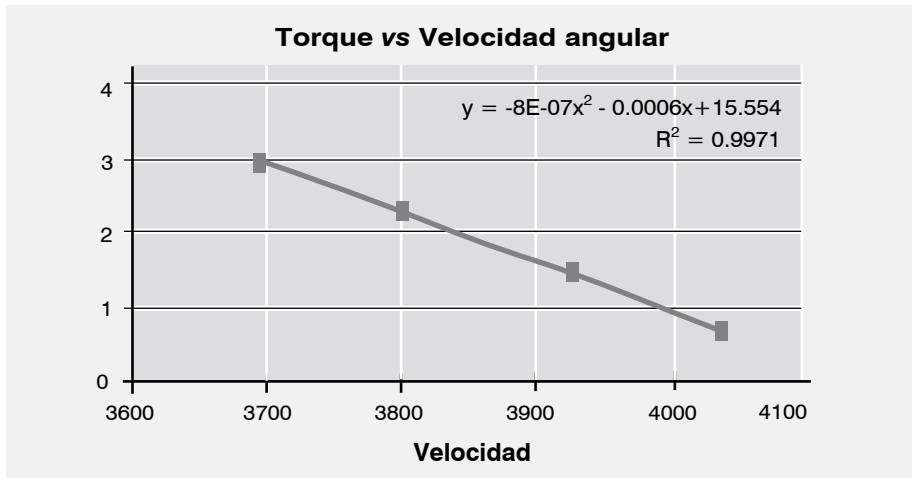


Figura 2.6 Curva característica par contra velocidad del motor paralelo.

2.6 Motor compuesto

Un motor compuesto combina las características de los motores serie y paralelo, ya que esta máquina tiene un devanado de campo serie y un devanado de campo paralelo. Dependiendo de la conexión de estos devanados, estas máquinas pueden clasificarse como: motor compuesto largo o motor compuesto corto, y éstas a su vez pueden ser aditivas o sustractivas.

Cuando el devanado de campo serie se conecta en serie con la armadura se conoce como *motor compuesto largo*, cuando el devanado de campo serie se conecta en serie con la línea se le conoce como *motor compuesto corto*. Dependiendo de las marcas de la polaridad de las bobinas de excitación serie y paralelo, se clasifican como aditivas y sustractivas. Si la dirección de las corrientes en las bobinas serie y paralelo entran o salen por las marcas de polaridad a esta máquina se le conoce como *motor compuesto (largo o corto) aditivo*, si la corriente en uno de los devanados entra por el signo de polaridad y en el otro devanado el sentido de la corriente sale por el signo de polaridad al motor se le conoce como *motor compuesto (largo o corto) sustractivo*.

En la figura 2.7 se muestra el circuito equivalente del motor compuesto largo y corto. En esta máquina se debe de tener cuidado con la conexión respetando las marcas de polaridad, ya que si se conecta con la polaridad de los (*) los flujos internos de la máquina se suman (aditivo), y si se conectan con la polaridad de los (^) los flujo internos se restan (sustractivo).

Nodos y mallas en un circuito eléctrico

Los nodos de un circuito eléctrico son los puntos en donde se conectan dos o más elementos.

Por otro lado, una trayectoria cerrada o lazo de un circuito eléctrico es el recorrido que se hace partiendo de un nodo y regresando al mismo sin pasar por un nodo intermedio más de una vez. Una malla es un caso especial de lazo. Una malla es un lazo que no contiene otros lazos.

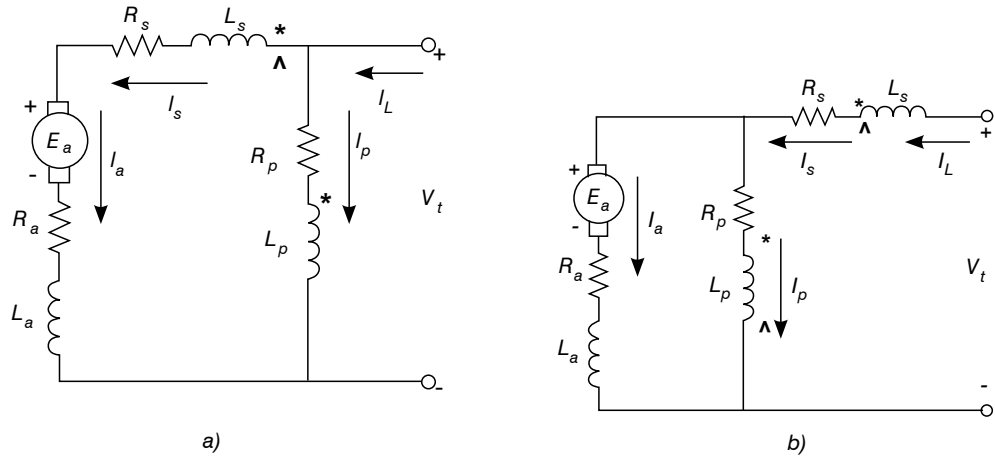


Figura 2.7 Circuito equivalente del motor compuesto: a) largo y b) corto.

A partir del circuito equivalente de la figura 2.7a se pueden obtener las ecuaciones del motor compuesto:

$$\begin{aligned}
 V_t &= E_a + (R_a + R_s)I_a \\
 V_t &= V_p \\
 I_L &= I_a + I_p \\
 I_a &= I_s \\
 I_p &= \frac{V_p}{R_p}
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

y a partir de la figura 2.7b se pueden obtener las ecuaciones

$$\begin{aligned}
 V_t &= E_a + R_a I_a + R_s I_s \\
 V_p &= E_a + R_a I_a \\
 I_L &= I_s = I_a + I_p \\
 I_p &= \frac{V_p}{R_p}
 \end{aligned} \tag{2.6}$$

en donde V_t es el voltaje en las terminales de la máquina, E_a es el voltaje en las terminales de la armadura, R_a , R_s , R_p respectivamente son las resistencias de armadura, serie y paralelo, V_p es el voltaje de campo paralelo, I_a es la corriente de armadura e I_p es la corriente de campo paralelo

Las ecuaciones 2.2 y 2.3 se aplican de la misma forma a este tipo de máquina.

En la figura 2.8 se muestra el comportamiento del motor compuesto de la velocidad con respecto a la potencia consumida; se puede afirmar que este comportamiento es muy parecido al comportamiento del motor de c.d. excitación en paralelo.

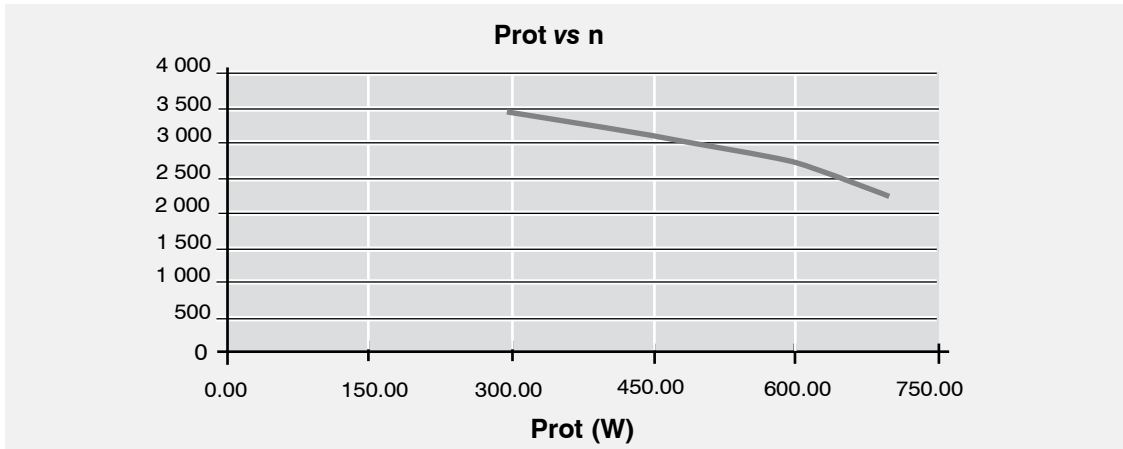


Figura 2.8 Curva característica de velocidad contra potencia consumida por la máquina.

2.7 Generador serie

Un generador de c.d. serie es muy parecido al motor serie en cuanto a sus componentes y a su estructura; en el devanado de campo serie circula una corriente que es igual a la corriente de armadura por lo que el flujo que produce el devanado de campo serie está en función de la corriente en la armadura que a su vez depende de la carga conectada en las terminales de la máquina. En la figura 2.9 se muestra el circuito equivalente del generador serie.

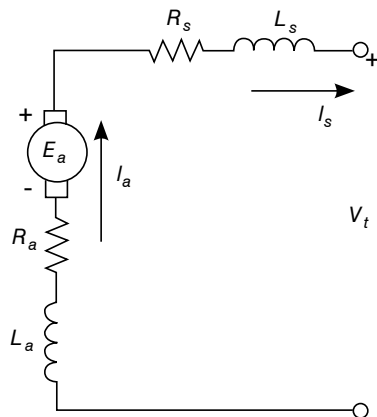


Figura 2.9 Circuito equivalente del generador serie.

Las ecuaciones del generador serie son:

$$\begin{aligned} V_t &= E_a - (R_a + R_s)I_a \\ I_a &= I_s \end{aligned} \quad 2.7)$$

en donde V_t es el voltaje en las terminales, E_a es el voltaje de armadura, R_a y R_s son las resistencias de armadura y serie e I_a e I_s son las corrientes de armadura y serie.

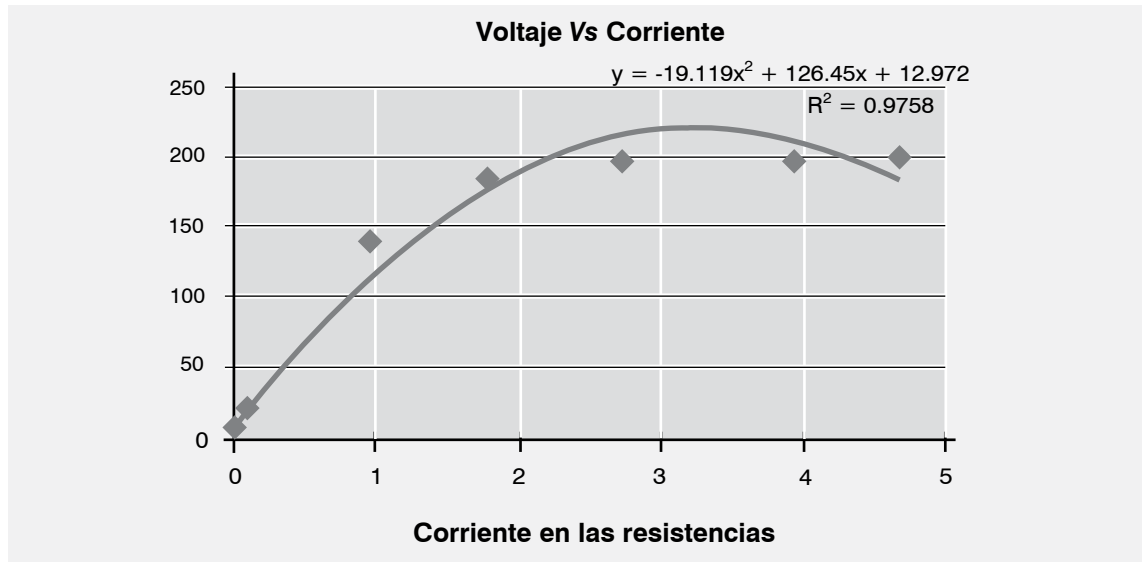


Figura 2.10 Curva característica de voltaje generado contra corriente de la carga.

En la figura 2.10 se muestra la curva del voltaje generado de esta máquina en función de la carga conectada en sus terminales. Se puede ver que el voltaje generado no inicia exactamente en cero debido al flujo remanente que presenta, y una vez que la máquina alcanzó su condición nominal la máquina se satura y el voltaje generado nuevamente empieza a disminuir.

2.8 Generador paralelo

Un generador de c.c. paralelo o en derivación es aquel que suministra su propia corriente de campo conectando su campo directamente a las terminales de la máquina. En el circuito equivalente mostrado en la figura 2.11 la corriente de armadura de la máquina alimenta tanto al circuito de campo como a la carga conectada a la máquina. El generador paralelo es similar al motor paralelo.

Este tipo de generador tiene una clara ventaja sobre el generador de c.d. de excitación separada porque no requiere fuente externa alguna para el circuito de campo. El voltaje inicial en las terminales del generador depende de la presencia de un flujo residual en los polos del generador.

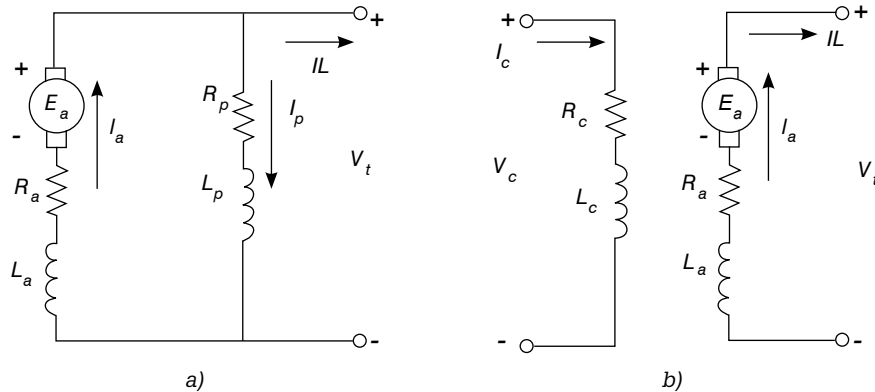


Figura 2.11 Circuito equivalente del generador paralelo: a) autoexcitado, b) excitación separada.

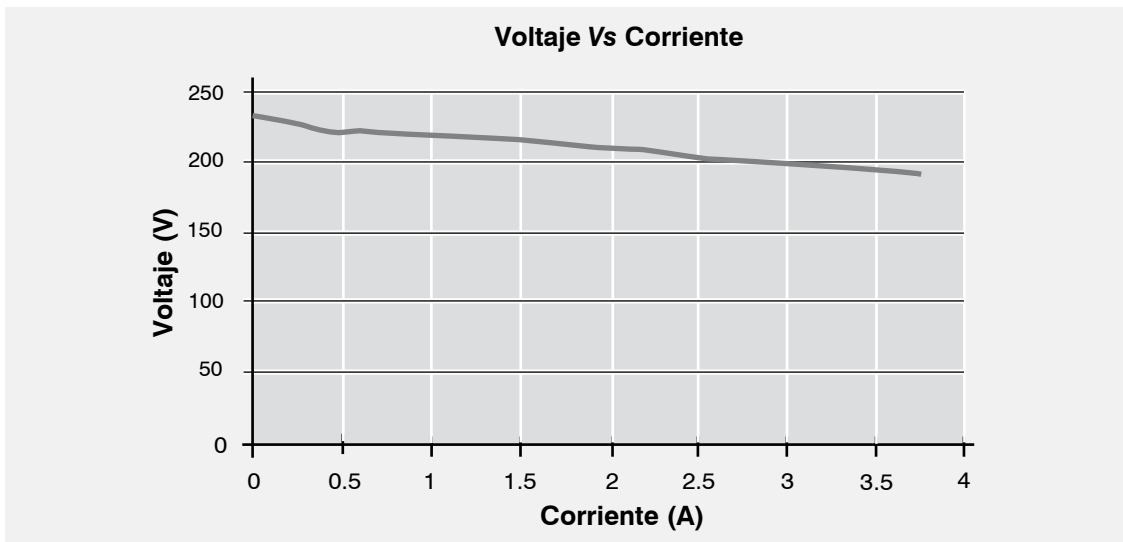


Figura 2.12 Curva característica de velocidad contra potencia consumida por la máquina.

Las ecuaciones del generador paralelo se pueden obtener del circuito equivalente mostrado en la figura 2.11:

$$\begin{aligned} V_t &= E_a - I_a R_a \\ V_p &= V_t \end{aligned} \quad (2.8)$$

en donde V_t es el voltaje en las terminales de la máquina, E_a es el voltaje en las terminales de la armadura, I_a es la corriente en la armadura, R_a es la resistencia de armadura y V_p es el voltaje de en paralelo o voltaje de campo paralelo

2.9 Generador compuesto

El generador compuesto tiene las mismas características que un motor de c.d. compuesto. Tiene una bobina de campo en paralelo con la armadura del generador y una bobina en serie con la armadura. Dependiendo de la forma de conexión que se comentó, al motor compuesto se le da el nombre de generador compuesto largo o generador compuesto corto, y éstos a su vez pueden ser aditivos o sustractivos. El circuito equivalente del generador compuesto se muestra en la figura 2.13.

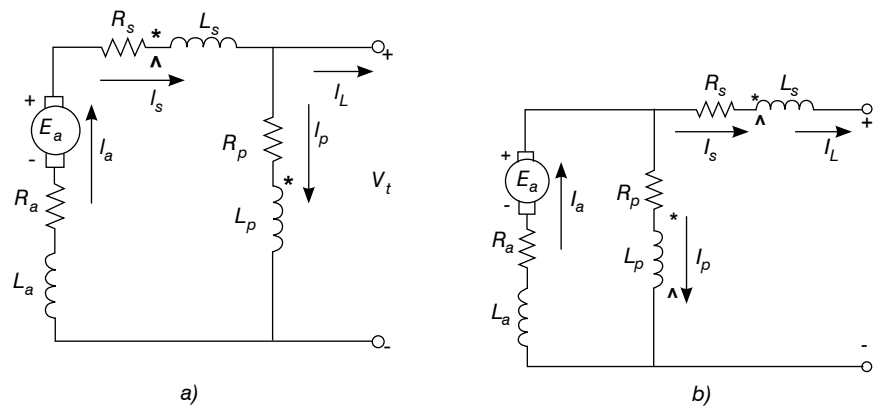


Figura 2.13 Circuito equivalente del generador compuesto: a) largo, b) corto.

A partir del circuito equivalente de la figura 2.13a se pueden obtener las ecuaciones del generador compuesto:

$$\begin{aligned}
 V_t &= E_a - (R_a + R_s) I_a \\
 V_t &= V_p \\
 I_a &= I_s \\
 I_L &= I_a - I_p \\
 I_p &= \frac{V_p}{R_p}
 \end{aligned}
 \tag{2.9}$$

y a partir de la figura 2.13b se pueden obtener las ecuaciones:

$$\begin{aligned} V_t &= E_a - R_a I_a - R_s I_s \\ V_p &= E_a - R_a I_a \\ I_L = I_s &= I_a - I_p \\ I_p &= \frac{V_p}{R_p} \end{aligned} \quad (2.10)$$

en donde V_t es el voltaje en las terminales de la máquina, E_a es el voltaje en las terminales de la armadura, R_a , R_s , R_p , son las resistencias de armadura, serie y paralelo, V_p es el voltaje de campo paralelo, I_a es la corriente de armadura e I_p es la corriente de campo paralelo.

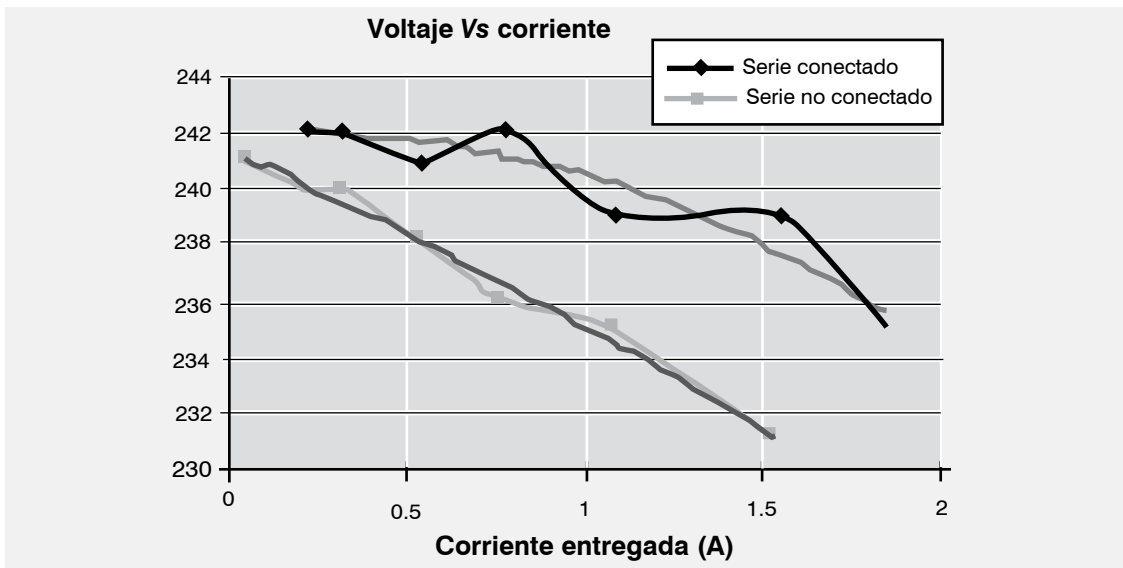


Figura 2.14 Curva característica de voltaje generado contra corriente entregada por la máquina.



Para la determinación de parámetros y curvas de operación de un motor y generador de c.d., véanse los archivos de la carpeta *Motores de CD* contenida en *Prácticas De Laboratorio*



2.10 Problemas

Problema 1



Se tiene un generador de corriente directa (c.d.) con excitación serie con los siguientes datos de placa (1.5 kW, 220 V, 3400 rpm). La suma de los devanados de campo y de armadura son $R_a + R_s = 4.41 \Omega$. La curva de magnetización del generador se muestra en la siguiente tabla:

$I_a(A)$	0	1	3	4	5	6	7	8
$E_a(V)$	5.7	53	122	174	195	212	225	232

Determinar el voltaje entregado en las terminales del generador cuando la carga varía con las corrientes de armadura siguientes, también calcular la pérdida de potencia en el devanado serie y de campo para cada caso:

a) $I_a = 1 \text{ Amp}$

b) $I_a = 5 \text{ Amp}$

c) $I_a = 8 \text{ Amp}$

Solución



- a) Para una corriente $I_a = 1 \text{ Amperes}$ y el voltaje $E_a = 53 \text{ Volts}$, de $V_T = E_a - (R_a + R_s)I_a$ se tiene que

$$V_T = 53 - (4.41) (1) = 48.59 \text{ Volts}$$

La pérdida de potencia en los devanados es

$$P = VI = (4.41) (1) = 4.41 \text{ Watts}$$

- b) Para una corriente $I_a = 5 \text{ Amperes}$ y el voltaje $E_a = 195 \text{ Volts}$ se tiene que

$$V_T = 195 - (4.41) (5) = 172.95 \text{ Volts}$$

La pérdida de potencia en los devanados es

$$P = VI = (22.05) (5) = 110.25 \text{ Watts}$$

- c) Para una corriente $I_a = 8 \text{ Amperes}$ y el voltaje $E_a = 232 \text{ Volts}$ se tiene que

$$V_T = 232 - (4.41) (8) = 196.72 \text{ Volts}$$

La pérdida de potencia en los devanados es

$$P = VI = (35.28) (8) = 282.24 \text{ Watts}$$

La resistencia de armadura de un motor de corriente directa en derivación es $R_a = 0.5 \Omega$, el voltaje en las terminales es $V_t = 250 V$ y gira a una velocidad de 1200 rpm . Determinar la resistencia externa que debe de conectar en serie con la resistencia de armadura para reducir la velocidad del motor a 1000 rpm si la corriente de armadura es de 60 Amperes y el flujo se mantiene constante.

De $E_a = V_t - I_a R_a$ y $E_a = K\phi n$ se tiene que

$$E_a = 250 - (60)(0.5) = 220 V$$

$$K\phi = \frac{E_a}{n} = \frac{220}{1200} = 0.183$$

Si $n = 1000 \text{ rpm}$ y $K\phi = 0.183$ entonces $E_a = (0.183)(1000) = 183 V$ y también

$$R'_a = \frac{V_t - E_a}{I_a} = \frac{250 - 183}{50} = 1.34 \Omega$$

$$R_{\text{externa}} = R'_a - R_a = 1.34\Omega - 0.5\Omega = 0.84 \Omega$$

Problema 2



Solución



Un motor de corriente directa en derivación con un voltaje de alimentación de $V_t = 220 V$ desarrolla un par de $45 N - m$ cuando su corriente de armadura absorbe $12 A$. Calcular el par de la máquina cuando la corriente de armadura tiene los siguientes cambios:

a) $I_a = 6 A$

b) $I_a = 18 A$

a) $I_a = 24 A$

Problema 3



Solución



Si $\tau = 45 N - m$ con corriente de armadura de 12 Amperes , usando $\tau = K\phi I_a$

y $K\phi = \frac{45}{12} = 3.75$ se tiene que

a) $\tau = (3.75)(6) = 22.5 N - m$

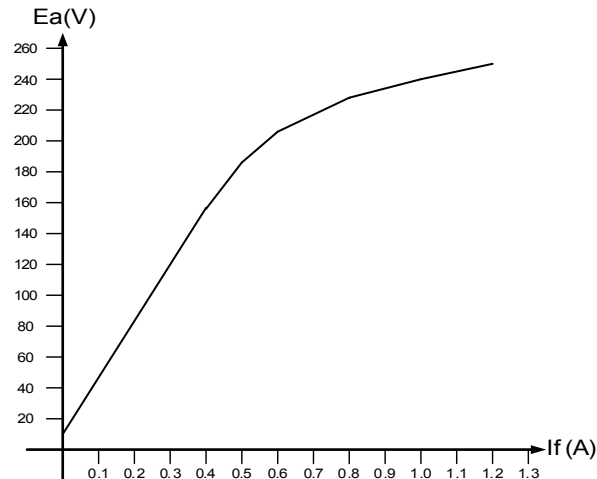
b) $\tau = (3.75)(18) = 67.5 N - m$

c) $\tau = (3.75)(24) = 90 N - m$

Problema 4



Un generador de corriente directa con excitación separada tiene los siguientes datos de placa (10 H.P., 240 Volts, 1500 rpm). La resistencia de armadura es $R_a = 0.18 \Omega$, la resistencia de campo es $R_f = 0.110 \Omega$ y la curva de magnetización de la máquina se muestra en la siguiente figura.



Cuando la corriente de campo se ajusta a $I_f = 0.18 \text{ A}$ y se conecta una carga resistiva $R_L = .8 \Omega$ en las terminales de la máquina, sin tomar en cuenta el efecto de la reacción de inducido determinar:

- El voltaje E_a
- La corriente I_a
- La potencia consumida en la carga

Solución



Como se sabe, el par de la máquina se puede calcular con la fórmula $\tau = K\phi I_a$ y el voltaje con $E_a = K\phi\omega$. Si $n = 1500 \text{ rpm}$, entonces

$$\omega = 1500 \left(\frac{2\pi}{60} \right) = 157.079 \text{ rad / seg}$$

- Con una corriente de campo de $I_f = 1.0 \text{ Ampere}$, de acuerdo con la curva de magnetización se tiene un voltaje de $E_a = 120 \text{ volts}$.
- A partir del voltaje generado $E_a = 120 \text{ volts}$ se tiene que la corriente de armadura es

$$I_a = \frac{E_a}{R_a + R_L} = \frac{120}{5.18} = 23.166 \text{ Amperes}$$

- c) La expresión de la potencia consumida en la carga es $P = I_a V_L = I_a^2 R_L$ y de aquí se tiene que

$$P = (23.166)^2 (5) = 2683.317 \text{ Watts}$$

$$V_L = \frac{E_a R_L}{R_a + R_L} = \frac{(120)(5)}{5.18} = 115.83 \text{ Volts}$$

$$P = (23.166)(115.83) = 2683.317 \text{ Watts}$$

Una máquina de corriente directa tiene los siguientes datos de placa (30 H.P., 300 Volts, 1000 rpm). Cuando esta máquina se conecta a una fuente de voltaje de 300 volts, su voltaje es de $E_a = 270$ volts y tiene una corriente de armadura de 75 Amperes, así como la resistencia de campo de la máquina es de $R_f = 150 \Omega$. En vacío la máquina absorbe una corriente de 4 Amperes, con una velocidad de 1000 rpm.

Problema 5



- ¿Esta máquina está operando como motor o como generador?
- Calcular la resistencia de armadura de esta máquina.
- Calcular la potencia de pérdida del circuito de armadura.
- Calcular el par desarrollado por la máquina.
- Calcular la eficiencia de la máquina.

Solución



- La diferencia de voltajes nos indica el tipo de máquina; en este caso como el voltaje E_a es menor que el voltaje de línea, esta máquina está operando como motor.
- Se tiene que $V_t = E_a + I_a R_a$ para una máquina con excitación en paralelo, y de aquí resulta que

$$R_a = \frac{V_t - E_a}{I_a} = \frac{300 - 270}{75} = 0.4 \Omega$$

Para el caso de una máquina con excitación serie o compuesto, esta resistencia sería la suma de las resistencias serie y de armadura.

c) En este caso se tiene que

$$P = V_a R_a = (30)(75) = 2250 \text{ Watts}$$

d) La potencia en la armadura de la máquina es

$$P_a = E_a I_a = (270)(75) = 20250 \text{ Watts}$$

y por lo tanto el par desarrollado por la máquina es

$$\tau = P_a \omega = (20250)(52.359) = 1060269.75 \text{ N} \cdot \text{m}$$

En vacío la potencia electromagnética desarrollada son las pérdidas rotacionales:

$$P_{\text{rotacionales}} = E_a I_a = (270)(4) = 1080 \text{ Watts}$$

$$P_{\text{salida}} = E_a I_a - P_{\text{rotacionales}} = 20250 - 1080 = 19170 \text{ Watts}$$

$$P_{\text{entrada}} = V_t I_t = V_t (I_a + I_f) = (300)(75 + 2) = 23100 \text{ Watts}$$

La eficiencia de la máquina es

$$\eta = \frac{P_{\text{salida}}}{P_{\text{entrada}}} \times 100\% = \frac{19170}{23100} \times 100\% = 82.98\%$$