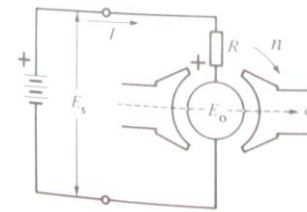
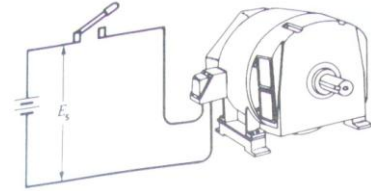


Los motores de corriente directa transforman la energía eléctrica en energía mecánica.

Impulsan dispositivos tales como malacates, ventiladores, bombas, calandrias, prensas, perforadores y carros. Estos dispositivos pueden tener una característica de par o momento de torsión-velocidad muy definida (como una bomba o un ventilador) o una extremadamente variable (como un malacate o un automóvil): La característica de par o de momento de torsión-velocidad del motor debe ser adaptada al tipo de carga que tiene que impulsar, y este requerimiento ha dado lugar a tres tipos básicos motores:



de

- 1- Motores en derivación (o shunt)
- 2- Motores en serie
- 3- Motores compuestos.

Los motores de corriente continua rara vez se utilizan en aplicaciones industriales ordinarias ya que todos los sistemas eléctricos suministran corriente alterna. Sin embargo, en aplicaciones especiales, como fábricas de acero, minas y trenes eléctricas, en ocasiones es conveniente transformar la corriente alterna en corriente directa para utilizar motores de cd. La razón es que las características de par o momento de torsión-velocidad de los motores de cd pueden ser variadas dentro de un amplio intervalo sin perder su alta eficiencia.

Hoy en día, este planteamiento general puede ser cuestionado porque la disponibilidad de controladores eléctricos complejos ha hecho posible utilizar motores de corriente alterna en aplicaciones de velocidad variable. No obstante, aún existen millones de motores de cd en servicio y se están produciendo algunos miles más cada año.

Fuerza contraelectromotriz (f_{cem})

Los motores de corriente directa se construye del mismo modo que los generadores; por consiguiente, una máquina de cd puede operar como motor o como generador. Para ilustrar lo anterior, considere un generador de cd en el que la armadura, inicialmente en reposo, está conectada a una fuente de cd E_s por medio de un interruptor. La armadura tiene una resistencia R y el campo magnético es creado por un juego de imanes permanentes.

En cuanto se cierra el interruptor, una gran corriente fluye en la armadura porque su resistencia es muy baja. Los conductores individuales de la armadura de inmediato se someten a una fuerza porque están inmersos en el campo magnético creado por los imanes permanentes. Estas fuerzas se suman para producir un poderoso par o momento de torsión que hace girar la armadura.

Por otra parte, en cuanto la armadura comienza a girar, ocurre un segundo fenómeno: el efecto de generador. Sabemos que un voltaje E_o es inducido en los conductores de la armadura en cuanto éstos atraviesan un campo magnético. Esto siempre es cierto, sin importar qué



ELEL10



FUNDAMENTOS DE MOTORES

Motores de CD

provoque la rotación. El vapor y la polaridad del voltaje inducido son los mismos que los obtenidos cuando la máquina opera como generador. Por lo tanto, el voltaje inducido E_0 es proporcional a la velocidad de rotación n del motor y al flujo Φ por polo:

$$E_0 = Zn\Phi/60$$

Como en el caso de un generador, Z es una constante que depende del número de vueltas en la armadura y del tipo de devanado. En el caso de devanados imbricados o de lazo, Z es igual al número de conductores de la armadura.

En el caso de un motor, el voltaje inducido E_0 se conoce como *fuerza contraelectromotriz* (f_{cem}) por que su polaridad siempre actúa contra el voltaje de la fuente E_s . Actúa contra el voltaje en el sentido de que el voltaje neto que actúa en el circuito en serie de la figura es igual a $(E_s - E_0)$ volts y no a $(E_s + E_0)$ volts.

Aceleración del motor

El voltaje neto que actúa en el circuito de la armadura es $(E_s - E_0)$ volts. La corriente resultante I en la armadura está limitada sólo por la resistencia R de ésta, por lo que

$$I = (E_s - E_0) / R$$

Cuando el motor está en reposo, el voltaje inducido $E_0 = 0$ por lo que la corriente eléctrica de arranque es:

$$I = E_0 / R$$

La corriente de arranque puede ser 20 o 30 veces mayor que la corriente a plena carga nominal del motor. En la práctica, esto haría que los fusibles se quemaran o que los cortacircuitos o sistemas de protección se activarían sin embargo, si están ausentes, las grandes fuerza que actúan en los conductores de la armadura producen un poderoso par o momento de torsión de arranque y, en consecuencia, una rápida aceleración de la armadura.

Conforme se incrementa la velocidad, la f_{cem} E_0 también se incrementa, lo que provoca que el valor de $(E_s - E_0)$ disminuya. De donde deducimos que la corriente I en la armadura disminuye progresivamente a medida que se incrementa la velocidad. Aún cuando la corriente en la armadura disminuye, el motor continúa acelerándose hasta que alcanza una velocidad máxima definida. Sin carga, esta velocidad produce una f_{cem} E_0 un poco menor que el voltaje de la fuente es. De hecho, si E_0 fuera igual a E_s , el voltaje neto $(E_s - E_0)$ sería cero, por lo que la corriente I también sería cero. Las fuerza impulsoras dejarían de actuar en los conductores de la armadura y la resistencia mecánica impuesta por el ventilador y los cojinetes haría que el motor se desacelerara de inmediato. A medida que disminuye la velocidad, el voltaje neto

$(E_s - E_0)$ aumenta y también la corriente I . La velocidad dejará de disminuir en cuanto el par o momento de torsión desarrollado por la corriente en la armadura sea igual al par o momento de torsión de la carga. De este modo, cuando un motor funciona sin carga, la f_{cem} debe ser un poco menor que E_s , como para permitir que fluya una pequeña corriente, suficiente para producir el par o momento de torsión requerido.

Ejemplo 1:

La armadura de un generador de cd de imán permanente tiene una resistencia de 1Ω y genera un voltaje de 50V cuando la velocidad es de 500 rpm. Si la armadura está conectada a una fuente de 150 V, calcule lo siguiente:

- La corriente de arranque.
- La fcm cuando el motor gira a 1000 rpm
- La corriente en la armadura a 1000 rpm y a 1460 rpm

Solución:

- Al momento de arrancar, la armadura está inmóvil, así que $E_0=0V$. La corriente de arranque está limitada sólo por la resistencia de la armadura:
 $I = E_s/R = 150\text{ V} / 1\ \Omega = 150\text{ A}$
- Como el voltaje del generador es de 50V a 500 rpm, la fcm del motor será de 100V a 1000rpm y de 146V a 1460 rpm
- El voltaje neto en el circuito de la armadura a 1000 rpm es

$$(E_s - E_0) = 150 - 100 = 50V$$

La corriente correspondiente en la armadura es

$$I = (E_s - E_0) / R = 50 / 1 = 50\text{ A}$$

Cuando la velocidad del motor sea de 1460 rpm, la fcm será de 146V, casi igual al voltaje de la fuente. En estas condiciones, la corriente en la armadura es

$$I = (E_s - E_0) / R = (150 - 146) / 1 = 4\text{ A}$$

Y el par o momento de torsión correspondiente en el motor es mucho más pequeño que antes.

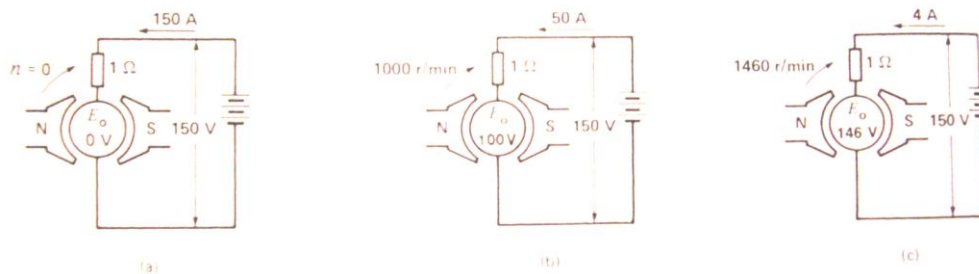


Figura 5.3
Vea el ejemplo 5-1.

Potencia y par o momento de torsión mecánicos

La potencia y el par o momento de torsión de un motor de cd son dos de sus propiedades más importantes. A continuación derivaremos dos ecuaciones simples que nos permitirán calcularlas.

- De acuerdo con la ecuación, la fcm inducida en una armadura de devanado imbricado o de lazo es:

$$E_0 = Zn\Phi/60$$

La potencia eléctrica P_a suministrada a la armadura es igual al voltaje de suministro E_s multiplicado por la corriente I en la armadura:

$$P_a = E_s \cdot I$$

Sin embargo, E_s es igual a la suma de E_0 más la caída IR en la armadura.

$$E_s = E_0 + IR$$

Deducimos que

$$P_a = E_s I = (E_0 + IR) I = E_0 I + R I^2$$

El término $R I^2$ representa el calor disipado en la armadura, pero el muy importante término $E_0 I$ es la potencia eléctrica que es convertida en potencia mecánica. Por lo tanto, la potencia mecánica del motor es exactamente igual al producto de la f_{cem} multiplicada por la corriente en la armadura.

$$P = E_0 I$$

Donde

P = potencia mecánica desarrollada por el motor [W]

E_0 = voltaje inducido en la armadura (f_{cem}) [V]

I = corriente total suministrada a la armadura [A]

2. Volviendo la atención al par o momento de torsión T , sabemos que la potencia mecánica P está dada por la expresión

$$P = nT/9.55$$

Donde n es la velocidad de rotación.

Combinando las ecuaciones tenemos:

$$P = nT/9.55 = E_0 I =$$

$$Zn\Phi I /60$$

Y por lo tanto:

$$T = Zn\Phi I /6.28$$

Donde

T = par o momento de torsión [N·m]

Z = número de conductores en la armadura

Φ = flujo efectivo por polo [Wb]

I = corriente en la armadura [A]

6.28 = constante, para ajustar las unidades [valor exacto = 2π]

La ecuación muestra que podemos aumentar el par o momento de torsión aumentando la corriente en la armadura o aumentando el flujo creado por los polos.

Ejemplo 2:

La siguiente información corresponde a un motor de cd de 225 kW (aprox 300 HP), 250 V y 1200 rpm.

Bobinas en la armadura 243

Vueltas por bobina 1

Tipo de devanado lap

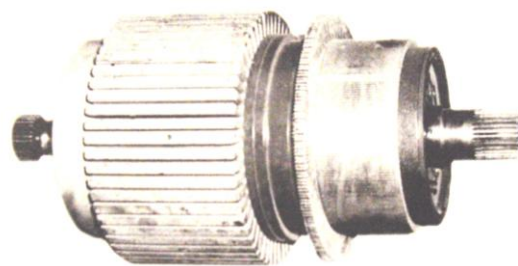


Figura 5.4
Armadura y conmutador descubiertos de un motor de cd de 225 kW, 250 V y 1200 r/min. El núcleo de la armadura tiene un diámetro de 559 mm y una longitud axial de 235 mm. Se compone de 400 laminaciones apiladas de 0.56 mm de espesor. La armadura tiene 81 ranuras y el conmutador tiene 243 barras.
D.H. Riberger

Ranuras en la armadura 81

Segmentos en el conmutador 243

Polos de campo 559 mm

Longitud axial de la armadura 235

Calcule:

- La corriente nominal en la armadura
- El número de conductores por armadura
- El flujo por polo.

Solución:

Podemos suponer que el voltaje inducido E_0 es casi igual al voltaje aplicado (250 V).

La corriente nominal en la armadura es:

$$I = P / E_0 = 250\,000 / 250 = 900 \text{ A}$$

b) Cada bobina se compone de dos conductores, así que hay en total $243 \times 2 = 486$ conductores en la armadura.

$$\text{Conductores por ranura} = 486 / 81 = 6$$

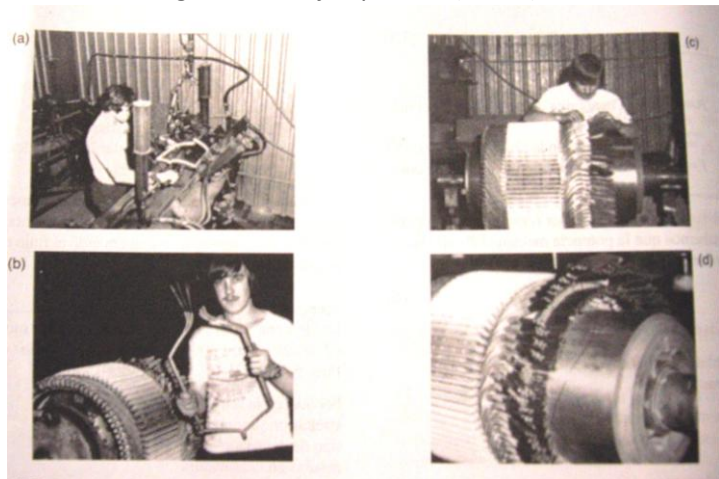
Lados de bobina por ranura = 6

d) El par o momento de torsión del motor es:

$$T = 9.55 \cdot P / n = 9.55 \times 225\,000 / 1200 = 1791 \text{ N}\cdot\text{m}$$

El flujo por polo es

$$\Phi = 6.28 T / ZI = (6.28 \times 1790) / (486 \times 900) = 25.7 \text{ mWb}$$



Velocidad de rotación

Cuando un motor de cd impulsa una carga entre las condiciones sin carga y plena carga, la caída IR provocada por la resistencia de la armadura provocada por la resistencia de la armadura siempre es pequeña comparada con el voltaje de suministro E_s . Esto indica que la fem E_0 es casi igual a E_s .

Por otra parte, ya vimos que E_0 puede ser expresada por la ecuación:

$$E_0 = Zn\Phi/60$$

Reemplazando E_0 por el E_s , obtenemos.



ELEL10



FUNDAMENTOS DE MOTORES

Motores de CD

$$E_s = Z n \Phi / 60$$

Es decir

$$.n = 60 E_s / (Z \Phi) \text{ (aprox.)}$$

Donde

.n = velocidad de rotación rpm

E_s = voltaje de la armadura [V]

Z = número total de conductores en la armadura.

Esta importante ecuación muestra que la velocidad del motor es directamente proporcional al voltaje suministrado a la armadura e inversamente proporcional al flujo por polo. Ahora veremos como se aplica esta ecuación.