

### Capítulo 3

#### Obtención de la constante eléctrica del motor de corriente directa, considerando flujo magnético constante

A pesar de que se pudiese mutilar al sistema y reármalo, dejándolo intacto; no es posible conocer este parámetro; no existe un instrumento que nos pueda entregarlo de forma directa, es más, este parámetro sólo tiene sentido con la interacción de la parte mecánica y eléctrica que conforman al motor.

Actualmente existen motores de corriente directa, que junto con un generador, son llamados taco-generadores; explicando brevemente su funcionamiento, son motores que en su rotor tienen acoplado el rotor de otro motor, este segundo motor tiene la función de generar la tensión eléctrica que corresponde a la variable " $V_{fem}(t)$ ". Directamente es posible encontrar el parámetro " $K_E$ ", si aunado a este dispositivo, se contase con un instrumento medidor de velocidad angular (tacómetro). En parte de este capítulo, inspirado en los llamados "taco-generadores", se propone un arreglo de dos motores, a modo de comprobación del primer método propuesto.

#### 3.1 Uso del modelo en estado estacionario de la parte eléctrica del motor de corriente directa

Como el título lo sugiere, necesitamos del análisis y desarrollo del modelo de la parte eléctrica del motor de corriente directa, el análisis se enfoca en aplicar a dicha ecuación, que es parte del "Capítulo 1" y esta nombrada como la ecuación (1.5), un límite cuando el tiempo tiende a un valor infinito.

Es de mencionar, y recordar, que se obtuvieron dos modelos de corriente; para cada uno es imprescindible aplicar el límite cuando el tiempo tiende a infinito. A modo de comprobación, y veracidad, de nuestros modelos de corriente, ambos límites deben llegar a una misma expresión matemática.

##### 3.1.1 Uso del modelo en estado estacionario de la parte eléctrica del motor de corriente directa, con polos complejos conjugados, debido a un escalón de amplitud arbitraria

El desarrollo comienza encontrando " $\frac{di(t)}{dt}$ " en función de las expresiones (1.23) y (1.24):

Obtención de la constante eléctrica del motor de corriente directa, considerando flujo magnético constante

$$\mathfrak{L}\left\{\frac{di(t)}{dt}\right\} = sI(s);$$

$$I(s) = \frac{V}{JL} \left( \frac{Js + B'}{[(s + \alpha)^2 + \omega_d^2]s} \right);$$

$$\mathfrak{L}\left\{\frac{di(t)}{dt}\right\} = sI(s) = \frac{V}{JL} \left( \frac{Js + B'}{[(s + \alpha)^2 + \omega_d^2]} \right)$$

$$\frac{V}{JL} \left( \frac{Js + B'}{[(s + \alpha)^2 + \omega_d^2]} \right) = \frac{V}{JL} \left( \frac{Js}{[(s + \alpha)^2 + \omega_d^2]} + \frac{B'}{[(s + \alpha)^2 + \omega_d^2]} \right)$$

$$\frac{V}{JL} \left( \frac{Js}{[(s + \alpha)^2 + \omega_d^2]} + \frac{B'}{[(s + \alpha)^2 + \omega_d^2]} \right) = \frac{V}{L} \left( \frac{s}{[(s + \alpha)^2 + \omega_d^2]} \right) + \frac{V}{JL} \left( \frac{B'}{[(s + \alpha)^2 + \omega_d^2]} \right)$$

$$\frac{V}{L} \left( \frac{s}{[(s + \alpha)^2 + \omega_d^2]} \right) + \frac{V}{JL} \left( \frac{B'}{[(s + \alpha)^2 + \omega_d^2]} \right) = \frac{V}{L} \left( \frac{s + \alpha - \alpha}{[(s + \alpha)^2 + \omega_d^2]} \right) + \frac{VB'}{JL} \left( \frac{1}{[(s + \alpha)^2 + \omega_d^2]} \right)$$

$$\frac{V}{L} \left( \frac{s + \alpha - \alpha}{[(s + \alpha)^2 + \omega_d^2]} \right) + \frac{VB'}{JL} \left( \frac{1}{[(s + \alpha)^2 + \omega_d^2]} \right) = \frac{V}{L} \left( \frac{s + \alpha}{[(s + \alpha)^2 + \omega_d^2]} \right) - \frac{V\alpha}{L} \left( \frac{1}{[(s + \alpha)^2 + \omega_d^2]} \right) + \frac{VB'}{JL} \left( \frac{1}{[(s + \alpha)^2 + \omega_d^2]} \right)$$

$$\frac{V}{L} \left( \frac{s + \alpha}{[(s + \alpha)^2 + \omega_d^2]} \right) - \frac{V\alpha}{L} \left( \frac{1}{[(s + \alpha)^2 + \omega_d^2]} \right) + \frac{VB'}{JL} \left( \frac{1}{[(s + \alpha)^2 + \omega_d^2]} \right) = \frac{V}{L} \left( \frac{s + \alpha}{[(s + \alpha)^2 + \omega_d^2]} \right) + \left( \frac{VB'}{JL} - \frac{V\alpha}{L} \right) \left( \frac{1}{[(s + \alpha)^2 + \omega_d^2]} \right)$$

$$\frac{V}{L} \left( \frac{s + \alpha}{[(s + \alpha)^2 + \omega_d^2]} \right) + \left( \frac{VB'}{JL} - \frac{V\alpha}{L} \right) \left( \frac{1}{[(s + \alpha)^2 + \omega_d^2]} \right) = \frac{V}{L} \left( \frac{s + \alpha}{[(s + \alpha)^2 + \omega_d^2]} \right) + \left( \frac{VB' - VJ\alpha}{JL} \right) \left( \frac{1}{[(s + \alpha)^2 + \omega_d^2]} \right)$$

$$\frac{V}{L} \left( \frac{s + \alpha}{[(s + \alpha)^2 + \omega_d^2]} \right) + \left( \frac{VB' - VJ\alpha}{JL} \right) \left( \frac{1}{[(s + \alpha)^2 + \omega_d^2]} \right) = \frac{V}{L} \left( \frac{s + \alpha}{[(s + \alpha)^2 + \omega_d^2]} \right) + \left( \frac{VB' - VJ\alpha}{JL\omega_d} \right) \left( \frac{\omega_d}{[(s + \alpha)^2 + \omega_d^2]} \right)$$

$$sI(s) = \frac{V}{L} \left( \frac{s + \alpha}{[(s + \alpha)^2 + \omega_d^2]} \right) + \left( \frac{VB' - VJ\alpha}{JL\omega_d} \right) \left( \frac{\omega_d}{[(s + \alpha)^2 + \omega_d^2]} \right)$$

Aplicando “Transformada inversa de Laplace” a la expresión anterior:

$$\mathfrak{L}^{-1}\{sI(s)\} = \mathfrak{L}^{-1}\left\{ \frac{V}{L} \left( \frac{s + \alpha}{[(s + \alpha)^2 + \omega_d^2]} \right) + \left( \frac{VB' - VJ\alpha}{JL\omega_d} \right) \left( \frac{\omega_d}{[(s + \alpha)^2 + \omega_d^2]} \right) \right\}$$

$$\frac{di(t)}{dt} = \frac{V}{L} \left[ e^{-\alpha t} \cos \omega_d t + \left( \frac{B' - J\alpha}{J\omega_d} \right) e^{-\alpha t} \sin \omega_d t \right]$$

$$\frac{di(t)}{dt} = \frac{V}{L} e^{-\alpha t} \left[ \cos \omega_d t + \left( \frac{B' - J\alpha}{J\omega_d} \right) \sin \omega_d t \right] \quad t \geq 0$$

Obtención de la constante eléctrica del motor de corriente directa, considerando flujo magnético constante

Sustituyendo en la ecuación (1.5):

$$u(t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} + K_E \omega(t);$$

$$u(t) = V[u_{-1}(t)];$$

$$V[u_{-1}(t)] = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} + K_E \omega(t)$$

$$V[u_{-1}(t)] = Ri(t) + L \left( \frac{V}{L} e^{-\alpha t} \left[ \cos \omega_d t + \left( \frac{B' - J\alpha}{J\omega_d} \right) \text{sen } \omega_d t \right] \right) + K_E \omega(t)$$

$$V[u_{-1}(t)] = Ri(t) + (V e^{-\alpha t}) \left[ \cos \omega_d t + \left( \frac{B' - J\alpha}{J\omega_d} \right) \text{sen } \omega_d t \right] + K_E \omega(t)$$

Aplicando un límite cuando el tiempo tiende a infinito:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \{V[u_{-1}(t)]\} = \lim_{t \rightarrow \infty} \left\{ Ri(t) + (V e^{-\alpha t}) \left[ \cos \omega_d t + \left( \frac{B' - J\alpha}{J\omega_d} \right) \text{sen } \omega_d t \right] + K_E \omega(t) \right\};$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \{V[u_{-1}(t)]\} = V;$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \{Ri(t)\} = Ri_F;$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left\{ (V e^{-\alpha t}) \left[ \cos \omega_d t + \left( \frac{B' - J\alpha}{J\omega_d} \right) \text{sen } \omega_d t \right] \right\} = 0;$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \{K_E \omega(t)\} = K_E \omega_F ;$$

Donde:

$i_F$ : Corriente en estado estacionario del sistema.

$\omega_F$ : Velocidad angular del rotor en estado estacionario.

Reescribiendo la ecuación en estado estacionario:

Obtención de la constante eléctrica del motor de corriente directa, considerando flujo magnético constante

$$V = Ri_F + K_E \omega_F \quad ||t \geq 0 \quad (3.1)$$

La ecuación (3.1) representa el estado estacionario de la parte eléctrica del motor de corriente directa, debido a un escalón de amplitud arbitraria.

### 3.1.2 Uso del modelo en estado estacionario de la parte eléctrica del motor de corriente directa, con polos reales, debido a un escalón de amplitud arbitraria

El desarrollo comienza encontrando “ $\frac{di(t)}{dt}$ ” en función de las expresiones (1.26) y (1.27)

$$\mathfrak{L} \left\{ \frac{di(t)}{dt} \right\} = sI(s);$$

$$I(s) = \frac{V}{JL} \left( \frac{Js + B'}{[(s + p_1)(s + p_2)]s} \right);$$

$$sI(s) = \frac{V}{JL} \left( \frac{Js + B'}{(s + p_1)(s + p_2)} \right)$$

$$\frac{V}{JL} \left( \frac{Js + B'}{(s + p_1)(s + p_2)} \right) = \frac{V}{JL} \left[ \frac{F_1}{(s + p_1)} + \frac{G_1}{(s + p_2)} \right]$$

$$\frac{V}{JL} \left[ \frac{F_1}{(s + p_1)} + \frac{G_1}{(s + p_2)} \right] = \frac{V}{JL} \left( \frac{F_1(s + p_2) + G_1(s + p_1)}{(s + p_1)(s + p_2)} \right) = \frac{V}{JL} \left( \frac{(F_1 + G_1)s + F_1p_2 + G_1p_1}{(s + p_1)(s + p_2)} \right);$$

$$F_1 + G_1 = J; F_1p_2 + G_1p_1 = B';$$

$$F_1 = J - G_1;$$

$$(J - G_1)p_2 + G_1p_1 = Jp_2 - G_1p_2 + G_1p_1 = Jp_2 + G_1(p_1 - p_2) = B'$$

$$G_1(p_1 - p_2) = B' - Jp_2$$

$$G_1 = \frac{B' - Jp_2}{(p_1 - p_2)}; G_1 = J - F_1;$$

$$(J - F_1)p_1 + F_1p_2 = Jp_1 - F_1p_1 + F_1p_2 = Jp_1 + F_1(p_2 - p_1) = B'$$

$$F_1(p_2 - p_1) = B' - Jp_1$$

Obtención de la constante eléctrica del motor de corriente directa, considerando flujo magnético constante

$$F_1 = \frac{B' - Jp_1}{(p_2 - p_1)};$$

$$sI(s) = \frac{V}{JL} \left[ \frac{F_1}{(s + p_1)} + \frac{G_1}{(s + p_2)} \right] = \frac{V}{JL} \left[ \left( \frac{B' - Jp_1}{(p_2 - p_1)} \right) \left( \frac{1}{(s + p_1)} \right) + \left( \frac{B' - Jp_2}{(p_1 - p_2)} \right) \left( \frac{1}{(s + p_2)} \right) \right]$$

Aplicando “Transformada inversa de Laplace” a la ecuación anterior:

$$\begin{aligned} \mathcal{L}^{-1}\{sI(s)\} &= \mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{V}{JL} \left[ \left( \frac{B' - Jp_1}{(p_2 - p_1)} \right) \left( \frac{1}{(s + p_1)} \right) + \left( \frac{B' - Jp_2}{(p_1 - p_2)} \right) \left( \frac{1}{(s + p_2)} \right) \right] \right\} \\ \frac{di(t)}{dt} &= \frac{V}{JL} \left[ \left( \frac{B' - Jp_1}{(p_2 - p_1)} \right) e^{-p_1 t} + \left( \frac{B' - Jp_2}{(p_1 - p_2)} \right) e^{-p_2 t} \right] \end{aligned}$$

Sustituyendo en la ecuación (1.5):

$$\begin{aligned} u(t) &= Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} + K_E \omega(t); \\ u(t) &= V[u_{-1}(t)]; \\ V[u_{-1}(t)] &= Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} + K_E \omega(t) \\ V[u_{-1}(t)] &= Ri(t) + L \left( \frac{V}{JL} \left[ \left( \frac{B' - Jp_1}{(p_2 - p_1)} \right) e^{-p_1 t} + \left( \frac{B' - Jp_2}{(p_1 - p_2)} \right) e^{-p_2 t} \right] \right) + K_E \omega(t) \\ V[u_{-1}(t)] &= Ri(t) + \frac{V}{J} \left[ \left( \frac{B' - Jp_1}{(p_2 - p_1)} \right) e^{-p_1 t} + \left( \frac{B' - Jp_2}{(p_1 - p_2)} \right) e^{-p_2 t} \right] + K_E \omega(t) \end{aligned}$$

Aplicando un límite cuando el tiempo tiende a infinito:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \{V[u_{-1}(t)]\} = \lim_{t \rightarrow \infty} \left\{ Ri(t) + \frac{V}{J} \left[ \left( \frac{B' - Jp_1}{(p_2 - p_1)} \right) e^{-p_1 t} + \left( \frac{B' - Jp_2}{(p_1 - p_2)} \right) e^{-p_2 t} \right] + K_E \omega(t) \right\};$$

Obtención de la constante eléctrica del motor de corriente directa, considerando flujo magnético constante

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \{V[u_{-1}(t)]\} = V; \lim_{t \rightarrow \infty} \{Ri(t)\} = Ri_F;$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left\{ \frac{V}{J} \left[ \left( \frac{B' - Jp_1}{(p_2 - p_1)} \right) e^{-p_1 t} + \left( \frac{B' - Jp_2}{(p_1 - p_2)} \right) e^{-p_2 t} \right] \right\} = 0;$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \{K_E \omega(t)\} = K_E \omega_F ;$$

Reescribiendo la ecuación en estado estacionario:

$$V = Ri_F + K_E \omega_F \quad | t \geq 0 \quad (3.1)$$

Si observamos con detenimiento, se demuestra que sin importar la naturaleza de los polos, la corriente eléctrica en estado a estacionario converge a una misma expresión matemática, misma que se modela en la ecuación (3.1).

Visto lo explicado en el párrafo anterior, se propone el armado de un dispositivo que se ilustra en el siguiente diagrama de conexiones:

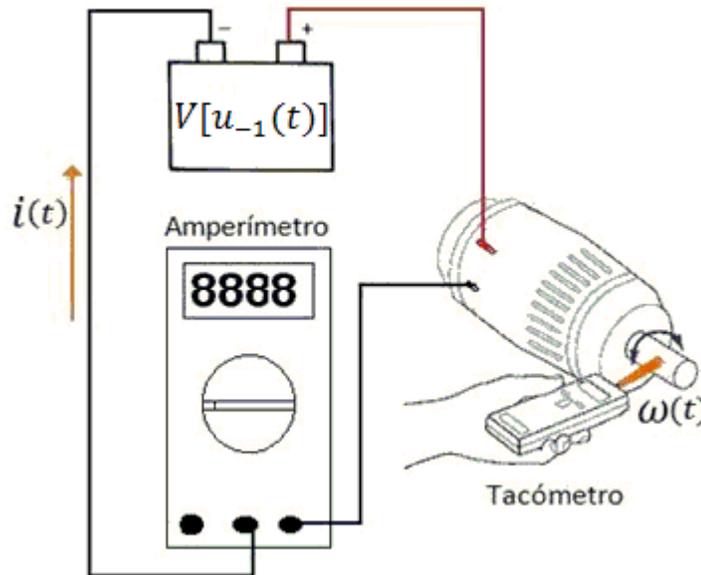


Diagrama 3.1. Lecturas de corriente eléctrica estacionaria y velocidad angular estacionaria en el motor de corriente directa

Obtención de la constante eléctrica del motor de corriente directa, considerando flujo magnético constante

Las instrucciones del diagrama y los puntos a seguir se enlistan a continuación:

1. Aplicar una tensión conocida, medible y constante de alimentación "V"
2. Con la tensión "V", tomar la lectura del amperímetro cuando esta inmute
3. Con la tensión "V", tomar la lectura del tacómetro cuando esta inmute
4. Repetir para distintos valores de "V" los puntos anteriores.

El experimento anterior se ajusta al modelo matemático que hemos obtenido recientemente, ecuación (3.1), es decir, se permite que las variables " $i(t)$ " y " $\omega(t)$ " lleguen a un estado estacionario, por tal motivo, es importante tomar las lecturas cuando el instrumento muestre que estas no varían.

Al tomar las lecturas del amperímetro y del tacómetro, se hace la consideración que estas corresponden a los valores " $i_F$ " y " $\omega_F$ ", cual sea el caso; así mismo, se tiene absoluto control, y conocimiento, de la variable arbitraria "V". Reescribiendo "Ecuación 21" tenemos que:

$$\frac{V - Ri_F}{\omega_F} = K_E \quad \Bigg| \quad t \geq 0 \quad (3.2)$$

Previamente se propuso una metodología para encontrar el parámetro "R", por lo tanto, si observamos detenidamente a la expresión (3.2), notamos que todos los elementos que se encuentran en la parte izquierda de la expresión son medibles, o conocidos.

El promedio de distintos valores obtenidos de " $K_E$ ", cuando se toman lecturas de " $i_F$ " y " $\omega_F$ " para distintos valores de "V", es una forma veraz y certera para la obtención de un valor definitivo de " $K_E$ ".

### 3.2 Uso del modelo "Motor-Generador"

Aplicando el principio básico de los "taco-generadores", a nuestro motor a caracterizar se le acopla un segundo motor; las características del nuevo motor acoplado son las siguientes:

1. Debe tener la potencia necesaria para poder hacer girar el rotor de nuestro motor a caracterizar
2. No se requiere conocimiento alguno de sus parámetros

Obtención de la constante eléctrica del motor de corriente directa, considerando flujo magnético constante

Tomando en cuenta estas disposiciones, el modo de operar será que nuestro motor fungirá como generador, así mismo, sus bornes deben estar conectados a un voltímetro, de este modo, estamos tomando lecturas directamente de la variable “ $V_{fem}(t)$ ”.

Acercas del desconocimiento de los parámetros del motor que hará girar a nuestro motor a caracterizar, a pesar de que estos parámetros son los que dictaminan la velocidad angular en cualquier instante de ambos rotores, cobra sentido, puesto que, la velocidad angular de ambos rotores puede ser medida con un tacómetro.

El siguiente diagrama ilustra el modelo de ambos motores con rotores acoplados:

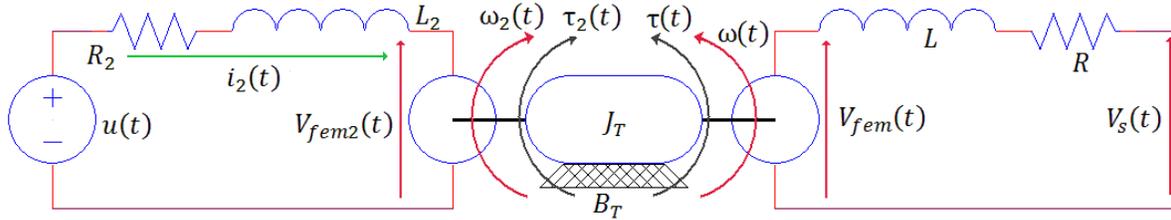


Diagrama 3.2. Motores de corriente directa dispuestos en la configuración “Motor-Generador”

El impacto que tiene el acoplamiento de ambos motores no afecta los parámetros eléctricos de ambos, tal es el caso de la resistencia óhmica de los enbobinados, o la inductancia de los mismos. Tampoco afecta a las constantes que hacen el vínculo entre la parte mecánica del sistema y la parte eléctrica de los motores; el verdadero impacto es en los parámetros mecánicos y en todas las variables, como “ $i(t)$ ,” “ $i_2(t)$ ”, entre otras; ambos rotores al estar acoplados generan un momento de inercia equivalente “ $J_T$ “, así como un coeficiente de fricción viscosa equivalente “ $B_T$ “. En el diagrama no se muestra, pero también se mezclan los pares de fricción de ambos motores produciendo un par de fricción equivalente “ $T_{i_T}$ ”.

Ambos motores, de forma aislada, son sistemas que no comparten ninguna característica en común; al acoplar los rotores estamos garantizando que la única variable que compartirán será la velocidad angular, en otras palabras:

$$\omega_2(t) = \omega(t) \tag{3.3}$$

Obtención de la constante eléctrica del motor de corriente directa, considerando flujo magnético constante

Un completo análisis sobre la veracidad de esta prueba consta en segmentar el sistema “Motor-Generador”. Tomando al primer motor como un ente que al aplicarle una tensión eléctrica “ $V[u_{-1}(t)]$ ”, con un momento de inercia “ $J_T$ ”, un coeficiente de fricción viscosa “ $B_T$ ”, un par de fricción “ $T_{i_T}$ ”, produce una velocidad angular “ $\omega(t)$ ”, sin carga.

Leyendo detenidamente el párrafo anterior, podemos inferir que este análisis lo hemos realizado previamente, se trata de la “obtención de la señal de velocidad angular instantánea del rotor, con polos reales, debida a una escalón de amplitud arbitraria” y de la “obtención de la señal de velocidad angular instantánea, con polos complejos, debida a una señal escalón de amplitud arbitraria”. Las ligeras diferencias que tiene este análisis se basan en que:

$$\begin{aligned} J &\rightarrow J_T; B \rightarrow B_T; \\ T_i &\rightarrow T_{i_T}; R \rightarrow R_2; \\ L &\rightarrow L_2; K_E \rightarrow K_{E_2}; \\ K_T &\rightarrow K_{T_2}; \end{aligned}$$

En otras palabras, simplemente se sustituyen los valores del listado anterior en nuestros modelos de señal de corriente eléctrica instantánea del “Capítulo 1”.

Este análisis nos indica que el sistema en conjunto, Motor-Generador, mantiene una velocidad angular constante cuando el tiempo tiende a un valor infinito; esto se induce debido a que el primer motor obedece las reglas que modelan el comportamiento de los modelos matemáticos ya mencionados.

$$\begin{aligned} \lim_{t \rightarrow \infty} \{\omega(t)\} &= \omega_F = \lim_{t \rightarrow \infty} \{\omega_2(t)\} = \omega_{2F} \\ \omega_F &= \omega_{2F} \end{aligned} \tag{3.4}$$

Continuando con la demostración de la veracidad del método, en segunda instancia se toma la parte que genera tensión eléctrica, esta parte se conforma por nuestro motor a caracterizar, y se ilustra en el siguiente diagrama eléctrico para un fácil entendimiento:

Obtención de la constante eléctrica del motor de corriente directa, considerando flujo magnético constante

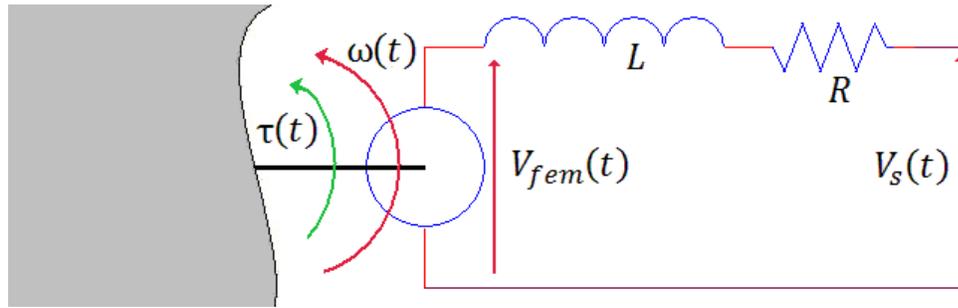


Diagrama 3.3. Generador del sistema "Motor-Generador"

Es fácilmente observable que la parte mecánica del motor es aquella que fungirá la labor de alimentar la parte eléctrica del mismo, que la tensión " $V_s(t)$ " será entregada por los bornes donde usualmente se alimenta a nuestro motor, y que no existe una carga eléctrica en dichos bornes que provoque una corriente eléctrica circulante por los parámetros eléctricos del mismo. La tensión eléctrica con la que se alimenta esta parte del sistema, "Motor-Generador", está dada por el producto " $K_E \omega(t)$ "; por lo tanto, con las consideraciones anteriores, podemos modelar al motor del siguiente modo:

$$K_E \omega(t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} + V_s(t) \quad (3.5)$$

Como se explica en el párrafo anterior:

$$\begin{aligned} i(t) &= 0; \\ K_E \omega(t) &= V_s(t); \end{aligned} \quad (3.6)$$

Si bien se ha dicho que " $\omega(t)$ " es una función de segundo orden, tal que, al aplicarle un límite cuando el tiempo tiende a infinito se obtiene que:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \{\omega(t)\} = \omega_F$$

Obtención de la constante eléctrica del motor de corriente directa, considerando flujo magnético constante

Se puede deducir de forma inmediata que “ $V_s(t)$ ” también puede alcanzar un valor estacionario, cuyo valor esta dado por:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \{V_s(t)\} = V_{sF};$$

$$K_E \omega_F = V_{sF}$$

Despejando el valor “ $K_E$ ”:

$$K_E = \frac{V_{sF}}{\omega_F} \tag{3.7}$$

La expresión (3.4) sugiere que, cuando la velocidad angular del rotor alcance un valor en estado estacionario, los bornes del motor a caracterizar entregarán una tensión eléctrica constante. Fácilmente son medibles los valores de “ $\omega_F$ ” y “ $V_{sF}$ ”, dejando sólo como incógnita el valor de “ $K_E$ ”.

El promedio de distintos valores obtenidos de “ $K_E$ ”, cuando se toman lecturas de “ $\omega_F$ ” y “ $V_{sF}$ ” para distintos valores de “ $V$ ”, es una forma veraz y certera para la obtención de un valor definitivo de “ $K_E$ ”. Recordemos que se tiene control sobre la velocidad angular del sistema “Motor-Generador” desde el motor que hace girar ambos rotores, esto se realiza alimentando al sistema con señales escalón de amplitud arbitraria “ $V$ ”.

A modo de protección de nuestro motor a caracterizar, es preferible nunca colocar una carga eléctrica en sus bornes mientras funge como generador de tensión eléctrica; al cerrar el circuito con una carga, puede generarse una corriente eléctrica que exceda la potencia que pueden disipar los embobinados de motor a caracterizar.

Los posibles errores que puede provocar el uso de este último método, pueden ser debidos a la complicación que conlleva el acoplamiento de los rotores de ambos motores de corriente directa.