

Capítulo 6

Obtención de la inductancia de los embobinados del motor de corriente directa

En esta ocasión, el uso de los modelos en estado estacionario, de las señales de corriente eléctrica del sistema y de velocidad angular del rotor, no nos pueden ofrecer una solución para la obtención de este parámetro; en otras palabras, la inductancia de los embobinados del motor de corriente directa, sólo tiene impacto en las parte transitoria de las señales de los modelos de corriente eléctrica instantánea del sistema, y de velocidad angular instantánea del rotor.

En la actualidad se cuentan con instrumentos que hacen la labor directamente, el primer método que se propone se basa en el uso de estos; cabe mencionar que dichos instrumentos no son de fácil acceso, son costosos, y no siempre se puede contar con ellos en el lugar de trabajo.

6.1 Uso de un puente de impedancias

El método que a continuación se explicará es con el uso de estos instrumentos, tomando en cuenta y explicando porque su uso no siempre es recomendable para la obtención de este parámetro.

Para fines de nuestro desarrollo, la prueba consiste simplemente en conectar los bornes de nuestro motor a un puente de impedancias, la toma de la lectura debe tener las siguientes características:

1. Se deben esperar unos instantes para que la lectura se mantenga estable
2. La toma de la lectura debe ser en diferentes posiciones, es decir, girando el rotor y dejándolo en una posición diferente a la anterior.

La toma de diferentes muestras, en diferentes posiciones, nos permite realizar un promedio de las mismas; dicho promedio es un valor que podemos considerar aceptable. Estadísticamente, entre mayor sea la cantidad de muestras, el resultado tiene mayor aceptación y veracidad.

Retomando la posible problemática que tiene el uso de un puente de impedancias, esta se debe a que la operación del instrumento puede provocar movimiento en el rotor del motor, debido a la corriente eléctrica que genera el propio instrumento; es decir, parte de dicha corriente eléctrica produce la tensión eléctrica " $V_{fem}(t)$ ", siendo que se debería sólo consumir en los embobinados del motor de corriente directa.

La problemática se aborda de un modo ingenioso, que consiste en la reducción del sistema en uno de primer orden; esta misma modalidad fue adoptada para la obtención de resistencia óhmica de los embobinados del motor de corriente directa “R”. La validez para adoptar esta modalidad y el propio método están desarrollados en el subtema final del capítulo.

6.2 El problema de la conmutación

A decir verdad, actualmente se cuentan con instrumentos de alta precisión que pueden graficar para señales instantáneas, y de ese modo obtener para cualquier instante, un valor de amplitud de dichas señales. Usualmente estos instrumentos se utilizan para señales que conmutan uniformemente a través del tiempo, dicho de otra forma, son utilizados en aquellas que cuentan con un periodo y que tienen una amplitud que nunca tiende a un valor finito.

El motor de corriente directa es un sistema que, usualmente, se alimenta con una señal escalón de amplitud variable, y que, genera señales de corriente eléctrica instantánea, también de velocidad angular instantánea del rotor, que tienden a un valor finito; tomando en cuenta estas consideraciones, nos damos cuenta que el uso de estos instrumentos no permiten la observación y el análisis de la parte transitoria de las señales con las que se cuentan.

Nuestro problema a resolver consiste en recrear, como una señal periódica, la parte transitoria de la señal de corriente eléctrica instantánea; en otras palabras, consiste en repetir infinitamente dicha parte transitoria de la señal. Esta problemática se resuelve si alimentamos al motor de corriente directa de una forma poco ortodoxa; es bien sabido que, cuando se alimenta a un circuito eléctrico con una fuente conmutada, la corriente eléctrica resultante es una corriente que también conmuta, que tiene un desplazamiento en el tiempo respecto a la señal de alimentación, y/o es una señal filtrada por los elementos que conforman al mismo.

Para recrear la conmutación de la parte transitoria de la señal de corriente eléctrica, se requiere de una fuente que también emita una señal conmutada.

Dicha señal debe tener las siguientes características:

1. Instantes posteriores a la alimentación del sistema, debe privarse al mismo de dicha alimentación de forma inmediata (Apagado).
2. Posterior a la privación de energía al sistema, la energía se tiene que suministrar nuevamente de forma inmediata (Encendido).
3. La señal intercala infinitamente los procesos descritos en los puntos “1” y “2”.

Obtención de la inductancia de los embobinados del motor de corriente directa

4. Debe garantizar el suministro de una corriente eléctrica necesaria para el movimiento del rotor.
5. El tiempo de “Encendido” debe ser igual, o mayor, al tiempo que le toma a la corriente eléctrica del sistema llegar a un valor en estado estacionario.
6. Para garantizar el frenado total del rotor, el tiempo de “Apagado” debe ser igual al de “Encendido”

Si leemos con detenimiento, nuestra fuente de tensión eléctrica, para alimentar a nuestro sistema, consiste en una señal llamada “tren de pulsos”, cuyo valor mínimo es cero volts; que cuenta con un ciclo de trabajo simétrico, y con un periodo que oscila en el orden de algunos “Hz”.

Un generador de funciones puede proporcionarnos una señal “tren de pulsos” con casi todas las características que se requieren, la única característica que no cumple es la de suministro de corriente eléctrica que garantiza el movimiento del rotor. La forma de abordar este obstáculo requiere de medios electrónicos que aumenten la ganancia de corriente de la señal. El uso de transistores nos ofrece la solución al problema.

El comportamiento que tienen los transistores de corte y saturación se traduce en un encendido y apagado sobre el suministro de energía hacia cualquier dispositivo. Aprovechando estas características, se propone el siguiente sistema electrónico que generará una señal “tren de pulsos” con las características mencionadas, cuya carga será el motor de corriente directa.

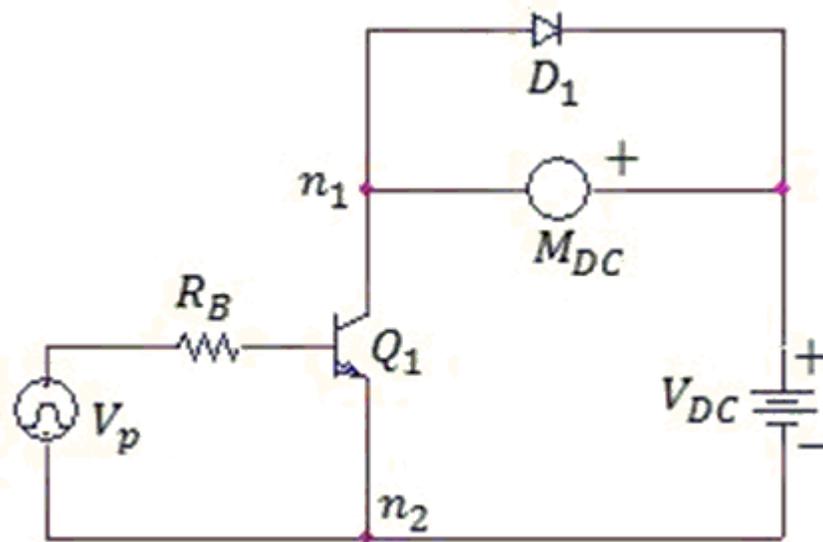


Diagrama 6.1. Sistema generador de la señal de tensión eléctrica “tren de pulsos” de alta potencia.

Donde:

Q_1 : Transistor Bipolar de Juntura

R_B : Resistencia en la base del transistor

M_{DC} : Motor de corriente directa a caracterizar

V_{DC} : Fuente de tensión eléctrica directa

D_1 : Diodo volante

V_p : Generador de se la señal de tensión eléctrica “tren de pulsos”

n_1 : Nodo uno

n_2 : Nodo dos

El generador de funciones produce una señal “tren de pulsos”, dicha señal es de tensión eléctrica; el transistor bipolar de juntura es un dispositivo electrónico que entra en su región de saturación cuando es alimentado por una señal constante y suficiente de corriente eléctrica, por tal motivo se requiere una resistencia entre la base del transistor y la salida del generador de funciones.

Cuando el transistor entra en su región de saturación, funciona como un circuito cerrado entre los nodos “ n_1 ”y “ n_2 ”, permitiendo el paso de una corriente eléctrica en el motor de corriente directa, dicha corriente es producto de la fuente de tensión eléctrica “ V_{DC} ”

Cuando el generador de funciones emite una amplitud constante, igual o menor a cero, el transistor entra en su región de corte, en estos instantes funciona como un circuito abierto entre los nodos “ n_1 ”y “ n_2 ”, evitando instantáneamente el suministro de corriente eléctrica al motor de corriente directa.

Debido a la inductancia que conforma al motor de corriente directa, un corte instantáneo en el suministro de tensión eléctrica produce una señal impulso de corriente eléctrica, eventualmente, estos picos de corriente eléctrica dañan al transistor; el diodo volante es una protección muy usada para estos arquetipos de circuito, en donde comúnmente se producen picos de corriente. Cuando el transistor se encuentra en la región de saturación, el diodo volante se polariza inversamente, teniendo participación nula en esos instantes; cuando el transistor se encuentra en la región de corte, el diodo volante se polariza directamente, provocando de esa forma que el pico de corriente eléctrica circule a través de la pequeña malla que conforman el motor de corriente directa y el mismo diodo, esta corriente se disipa de manera exponencial hasta que tiende a cero.

Otras consideraciones pertinentes consisten en la selección del transistor bipolar de juntura y del diodo volante; usualmente cualquier diodo y transistor son candidatos para esta labor, siempre y cuando puedan soportar la corriente eléctrica máxima que se pueda producir durante el experimento. Utilizar transistores y/o diodos que soporten el doble o el triple de

este valor máximo, no interfieren en las mediciones para el cálculo de parámetros que solo tienen impacto en la parte transitoria de la señal de corriente eléctrica instantánea.

Una última consideración es sobre la caída de tensión eléctrica inherente en un transistor bipolar de juntura, dicho valor es constante y lo representaremos con el símbolo “ V_{CE} ”; el impacto que tiene esta caída de tensión requiere que, para ambos modelos de corriente eléctrica instantánea, la tensión de entrada “ V ” sea substituida por la siguiente ecuación:

$$V \rightarrow V - V_{CE} \quad (6.1)$$

Esta substitución sólo es válida en experimentos en donde el circuito electrónico propuesto sea utilizado.

6.3 Reducción y conmutación del sistema

El primer paso, el de reducción del sistema a uno de primer orden y de la obtención de un modelo de corriente para el mismo, es una labor descrita en el “Capítulo 2”; en esta ocasión usaremos la teoría que rige a los sistemas de primer orden.

Según la teoría, un sistema de primer orden cuenta con una constante que se expresa en unidades de tiempo, por tal motivo se le ha llamado “constante de tiempo”; se representa con el símbolo “ τ ”. Se ha demostrado que el 63.2% de la amplitud del valor en estado estacionario de una señal de primer orden, es generado exactamente en el valor de tiempo que representa “ τ ”.

La constante de tiempo es el negativo del recíproco del coeficiente que acompaña a la variable independiente en el modelo matemático de una señal de primer orden. En la siguiente figura se ejemplifica el modelo matemático de un sistema de primer orden:

$$y(t) = A \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \Big\| t \geq 0 \quad (6.2)$$

Comparando el modelo general de un sistema de primer orden, ecuación (6.2), con la expresión (2.4), podemos inferir de inmediato que la constante de tiempo es:

$$\tau = \frac{L}{R} \quad (6.3)$$

Combinando este sistema de primer grado con el circuito propuesto en el subtema anterior, se puede observar de forma periódica la señal de de primer orden cada vez que el transistor entre en su región de saturación.

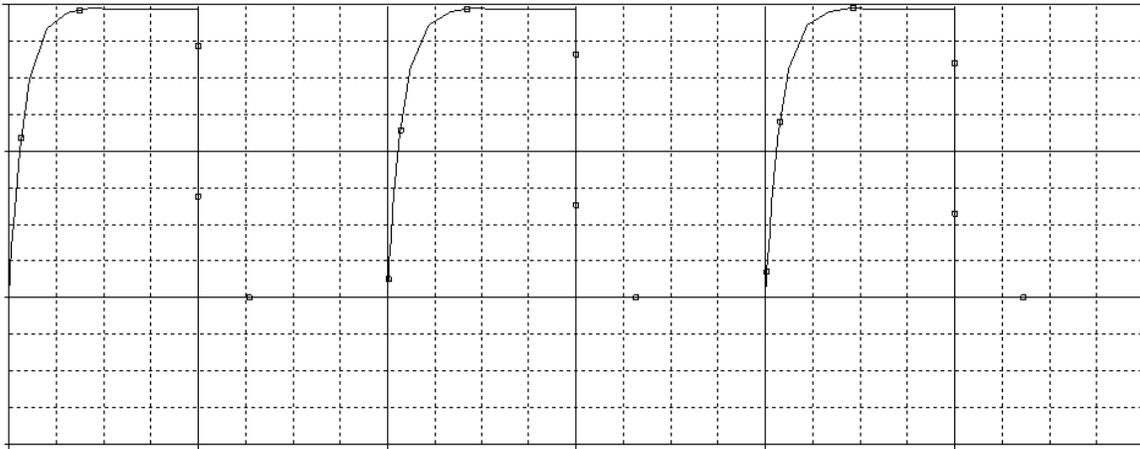


Figura 6.1. Conmutación de la reducción del motor de corriente directa a un sistema de primer orden

En el osciloscopio fácilmente se puede obtener el valor de la amplitud de corriente eléctrica en estado estacionario, una vez que se cuenta con dicha cantidad se obtiene 63.2% de ese valor, de tal modo que se tiene que ubicar este último en el mismo osciloscopio; al ubicarlo, este nos puede entregar directamente el valor de tiempo que corresponde a esa amplitud. Esa lectura de tiempo la consideramos como la constante de tiempo, “ τ ”, de nuestro motor de corriente directa.

Al obtener “ τ ”, y considerando que previamente en el “Capítulo 2” se encontró el valor que tiene la resistencia óhmica de los embobinados del motor “ R ”, se puede adquirir de la expresión, donde “ τ ” es sólo una función de “ R ” y “ L ”, el parámetro “ L ”.

Para el desarrollo de este experimento, se deben tomar algunas precauciones; al reducir el sistema a uno de primer orden, la corriente eléctrica, que puede producir la fuente con la que se alimenta el motor, recae y se disipa en su totalidad por los embobinados del motor a

caracterizar. Exceder la tensión de entrada de la fuente de excitación puede provocar daños severos e irreversibles a nuestro sistema.

Se requiere contar con un sistema de sujeción efectivo que impida el movimiento del motor, incluso las vibraciones que pueda permitir el sistema de sujeción interfieren y alteran la señal descrita en “*Figura 6.1*”; un sistema efectivo que se propone para estos fines, si se tienen motores de dimensiones reducidas, consta de un soporte universal, de pinzas sujeta-matracas, de articulaciones fijas para extensiones del soporte universal, y las mismas extensiones del soporte; este material es muy utilizado en los laboratorios de química para sujetar matraces y otra cristalería propia de los experimentos de dicha ciencia; las articulaciones, que se sugieren, cuentan con dos orificios, mismos que en algunas ocasiones tienen un radio más grande que del rotor de nuestro motor a caracterizar, estas articulaciones sirven para sujetar barras metálicas como es el caso de las extensiones para el soporte universal, o para acoplar el rotor de nuestro motor de corriente directa; estas articulaciones cuentan con pernos, y otros mecanismos, que sirven para sujetar barras de un modo efectivo. Generar un sistema de barras que impida el movimiento del rotor mediante el uso de estas herramientas, garantiza la reducción del motor de corriente directa a un sistema de primer orden.

Como se mencionó con anterioridad, la señal periódica es producida por el sistema electrónico propuesto en un subtema de este capítulo; tenemos que considerar la caída de tensión que genera el transistor del mismo. Cuando se opera con baja tensión tiene un impacto importante en las lecturas de los resultados.

La toma de diferentes muestras, para diferentes valores de “ V' ”, en diferentes posiciones, nos permite realizar un promedio de las mismas, donde dicho promedio es un valor que podemos considerar aceptable. Estadísticamente, entre mayor sea la cantidad de muestras, el resultado tiene mayor aceptación y veracidad.