

Objetivos

I.I Primer Objetivo

Identificar los parámetros más significativos de un motor de corriente directa; donde dicha identificación será expuesta y desarrollada en el “Capítulo 1” de esta publicación.

I.II Segundo Objetivo

Establecer un método que garantice la obtención de los parámetros más significativos, previamente identificados, de un motor de corriente directa.

Tómense en cuenta las limitaciones y alcance, expuestas en la “Definición del problema” de esta publicación, en conjunción con las consideraciones que se hacen a lo largo de los capítulos del mismo método.

Definición del problema

Puede ser que no se cuente con la información, completa o parcial, sobre el valor concreto de los parámetros que ofrecen las hojas de datos de los motores de corriente directa; Diversas causales generan el desconocimiento de los mismos, sin embargo, las más comunes se describen detalladamente en los siguientes párrafos.

La adquisición de motores que han sido utilizados excesivamente en la operación de diversos aparatos, o que llevan algún tiempo en desuso, son susceptibles a un desgaste en los elementos mecánicos y/o eléctricos que lo conforman; en consecuencia, los parámetros que se manejan en las hojas de datos se alteran de forma considerable.

Otro gran problema consiste en adquirir motores que no ofrecen ningún tipo de información, esto es posible por efecto de la reventa de estos dispositivos; a pesar de seguir funcionando, desconocemos totalmente un posible comportamiento de los mismos debido a la carencia de los datos que ofrecería el fabricante.

Muchas empresas, diseñadoras de motores de corriente directa, se ubican en el extranjero y no cuentan con una página de consulta en la red. A pesar de que algunos usuarios de la red

publican las hojas de datos de los productos de este tipo de empresas, muchas veces no se puede contar con el acceso y veracidad de estas mismas.

Algunas corporaciones que sólo publican las hojas de datos de estos dispositivos en la red, han desaparecido o han descontinuado modelos de estos dispositivos; como consecuencia de lo anterior, se han perdido los registros de estas hojas de datos.

Las soluciones al desconocimiento de los parámetros que están en las hojas de datos, que ofrece el fabricante, puede ser resuelta mediante el uso de instrumentos de medición; lamentablemente, en muchos lugares de trabajo existen bastantes problemáticas debido a diversas condiciones que generan los instrumentos de medición, sin embargo, las más comunes se muestran en el siguiente listado:

1. Su difícil acceso debido a su alto costo en el mercado
2. La manufactura de piezas mecánicas para el posicionamiento del motor de prueba con el instrumento de medición. De tener más de un motor de prueba, en el caso de que no tengan las mismas dimensiones, es necesario manufacturar más de un juego de piezas de acoplamiento, lo que implica un alto costo.
3. La inexistencia de estos mismos

El desarrollo que conlleva el método propuesto como “Caracterización de un motor de corriente directa”, debe alcanzar sus objetivos prescindiendo de cualquier punto del listado anterior.

I.III Delimitación del problema

Una vez identificado el problema y sus efectos, es importante delimitar el alcance de nuestro método y especificar los estándares de diseño del mismo.

La mayoría de los fenómenos físicos se modelan a partir de ecuaciones diferenciales de orden “ n ” y de grado “ m ”, siempre tomando en cuenta que “ $m > 1$ ”, tal aseveración provoca que el modelado de la mayoría de los sistemas físicos sea “no lineal”. El motor de corriente directa siempre es un sistema “no lineal”, sin embargo, algunos tipos de este sistema físico pueden entregar sistemas de ecuaciones “lineales” cuando se les modela; los de otro tipo requieren de la aplicación de métodos matemáticos para obtener un modelo “lineal”, que es representativo en un espacio delimitado; aplicar métodos matemáticos a los modelos “no lineales”, para generar uno “lineal”, está fuera del alcance del método que se propone en esta publicación.

El modelado matemático, que es parte del método que se propone, se hace considerando ecuaciones diferenciales “lineales”, con parámetros que son invariantes en el tiempo. Tal

motivo nos hace excluir el uso del método sobre algunos tipos de motores de corriente directa.

I.III.I Delimitación del problema por el tipo de motor de corriente directa

Un motor eléctrico es esencialmente una máquina que convierte energía eléctrica en movimiento o trabajo mecánico, a través de medios electromagnéticos. Se supone que la excitación, que alimenta a los motores de corriente directa, es por medio de una fuente de tensión eléctrica constante, sin embargo, dicha tensión en algunos casos alimenta un segundo devanado, muchas veces ubicado en el estator del motor de corriente directa.

Dependiendo de la disposición del devanado ubicado en el estator, respecto al devanado situado en el rotor, se puede asignar una clasificación de motores de corriente directa; en los párrafos siguientes se explican brevemente dichas clasificaciones, que son las más conocidas, y se hace exclusión sobre aquellos modelos que no son candidatos para el método propuesto como “Caracterización de un motor de corriente directa”.

I.III.I.I Motor de corriente directa con excitación independiente

Este tipo de motores tienen la característica de contener un devanado en el estator, tal que, nunca genera una malla eléctrica con el devanado del rotor del motor. Adquieren su nombre porque energizan con fuentes aisladas cada devanado que constituye al sistema, es decir, una fuente de tensión eléctrica alimenta el devanado del rotor, mientras que una segunda fuente, también de tensión, alimenta a los embobinados que constituyen al estator.

Cabe mencionar que estas fuentes de alimentación pueden tener diferente amplitud, pero comparten la característica de ser fuentes de tensión eléctrica constante. Al pasar una corriente por los devanados del rotor, y otra por el estator, genera un par de fuerzas sobre el rotor debido a un efecto electromagnético.

La parte del modelado matemático que vincula la parte eléctrica del motor, con la mecánica del mismo, en donde se incluye el efecto electromagnético mencionado, se modela mediante las siguientes ecuaciones:

$$\tau(t) = \beta_1 f(i_2(t)) i_1(t); \quad (\text{I.I})$$

$$V_{fem}(t) = \beta_2 f(i_2(t)) \omega(t) \quad (\text{I.II})$$

Donde:

$\tau(t)$: Par del rotor

$i_1(t)$: Corriente que circula en el devanado del rotor

$V_{fem}(t)$: Tensión eléctrica inducida

$\omega(t)$: Velocidad angular del rotor

$i_2(t)$: Corriente que circula en el devanado del estator

$f(i_2(t))$: Flujo magnético debido a la corriente eléctrica que circula en el devanado del rotor

β_1 : Constante mecánica, o constante de campo, del motor de corriente directa

β_2 : Constante eléctrica, o constante de armadura, del motor de corriente directa

Se observa que las ecuaciones (I.I) y (I.II), forman parte del modelado “no lineal” de este tipo de motor de corriente directa. Como se dijo anteriormente, aplicar métodos matemáticos a modelos “no lineales”, para obtener un modelo “lineal”, está fuera del alcance del método propuesto.

A pesar de las condiciones que genera este tipo de motor, existe una posibilidad para poder utilizar el método “Caracterización de un motor de corriente directa” en este tipo de motores, dicha posibilidad consiste en adoptar una de las dos situaciones que se proponen a continuación:

1. Mantener siempre constante la variable “ $f(i_2(t))$ ”, esto se produce cambiando el tipo de alimentación que excita a los embobinados del estator, usualmente se alimentan con una fuente de tensión eléctrica constante; al alimentar el devanado mencionado con una fuente de corriente eléctrica constante, estamos garantizando este primer propósito.
2. Comenzar los experimentos, propuestos por los capítulos que conforman el método, en el instante en el cual “ $f(i_2(t))$ ” alcance un valor concreto en estado estacionario; es decir, alimentamos de forma ortodoxa el devanado del estator, tomamos lectura de la corriente que circula por dicho devanado, y posteriormente aplicamos el método “Caracterización de un motor de corriente directa” a partir del instante en el cual las lecturas de “ $f(i_2(t))$ ” inmuten.

I.III.I.II Motor de corriente directa en serie

Este tipo de motores tienen la característica de contener un devanado en el estator, tal que, se conecta en serie con el devanado del rotor del motor. Adquieren su nombre porque energizan con una misma fuente el circuito en serie que conforman los devanados del rotor

y el estator del sistema. Cabe mencionar que esta fuente de alimentación es de tensión eléctrica constante.

Al pasar una misma corriente eléctrica por los devanados del rotor y el estator, se genera un par de fuerzas sobre el rotor debido a un efecto electromagnético.

La parte del modelado matemático que vincula la parte eléctrica con la mecánica del motor de corriente directa en serie, en donde se incluye el efecto electromagnético mencionado, se modela mediante las siguientes ecuaciones:

$$\tau(t) = \beta_1 f(i(t)) i(t); \quad (\text{I.III})$$

$$V_{fem}(t) = \beta_2 f(i(t)) \omega(t); \quad (\text{I.IV})$$

Donde:

$\tau(t)$: Par del rotor

$i(t)$: Corriente que circula en el devanado del rotor y el devanado del estator

$V_{fem}(t)$: Tensión eléctrica inducida

$\omega(t)$: Velocidad angular del rotor

$f(i(t))$: Flujo magnético debido a la corriente eléctrica que circula en el devanado del rotor

β_1 : Constante mecánica, o constante de campo, del motor de corriente directa

β_2 : Constante eléctrica, o constante de armadura, del motor de corriente directa

Para este caso particular, no se puede ofrecer alternativa alguna para evadir el efecto que tiene un flujo magnético variable; es decir, este tipo de motores no son candidatos para aplicar la caracterización propuesta en esta publicación.

I.III.I.III Motor de corriente directa en derivación

Este tipo de motores tienen la característica de contener un devanado en el estator, tal que, se conecta en paralelo con el devanado del rotor del motor. Adquieren su nombre porque energizan con una misma fuente el circuito en paralelo que conforman los devanados del rotor y el estator del sistema. Cabe mencionar que esta fuente de alimentación es de tensión eléctrica constante.

Al pasar una corriente eléctrica por los devanados del rotor, y otra por el devanado del estator, se genera un par de fuerzas sobre el rotor debido a un efecto electromagnético.

La parte del modelado matemático que vincula la parte eléctrica con la mecánica del motor de corriente directa en paralelo, en donde se incluye el efecto electromagnético mencionado, se modela mediante las siguientes ecuaciones:

$$\tau(t) = \beta_1 f(i_T(t)) i_1(t); \quad (\text{I.V})$$

$$V_{fem}(t) = \beta_2 f(i_T(t)) \omega(t); \quad (\text{I.VI})$$

$$i_T(t) = i_1(t) + i_2(t); \quad (\text{I.VII})$$

Donde:

$\tau(t)$: Par del rotor

$i_1(t)$: Corriente que circula en el devanado del rotor

$V_{fem}(t)$: Tensión eléctrica inducida

$\omega(t)$: Velocidad angular del rotor

$i_2(t)$: Corriente que circula en el devanado del estator

$f(i_T(t))$: Flujo magnético debido a la corriente eléctrica que circula en el devanado del rotor

β_1 : Constante mecánica, o constante de campo, del motor de corriente directa

β_2 : Constante eléctrica, o constante de armadura, del motor de corriente directa

$i_T(t)$: Corriente total del sistema

Como es observable en las ecuaciones (I.V), (I.VI) y (I.VII); el flujo magnético, para este tipo de motores, es función de dos variables; el método propuesto como “Caracterización de un motor de corriente directa” tampoco puede ser aplicado en este tipo de dispositivos.

En resumen, “Caracterización de un motor de corriente directa” es aplicable a motores de corriente directa, en los que se tenga la certeza de que el flujo magnético generado por el estator sea constante, a partir del instante que se alimenta al devanado del rotor del mismo sistema.

Habiendo excluido algunos tipos de motores y tomando en cuenta que el método utiliza modelos matemáticos de ecuaciones diferenciales “lineales”, con parámetros que son invariantes en el tiempo, considero que se requiere explicar la razón del uso de las herramientas matemáticas que dan solución a las ecuaciones diferenciales que modelan a nuestro motor de corriente directa.

I.III.II Delimitación del problema por el uso de la transformación lineal de Laplace

Únicamente queda justificar el uso del tipo de solución al modelo lineal, compuesto por un sistema de ecuaciones diferenciales, del motor de corriente directa. Las señales que genera un motor de corriente directa están ubicadas en el dominio del tiempo, consideramos que este tiempo empieza su avance en el mismo instante que se energiza al sistema. Es decir, las señales sólo tienen valores de amplitud, diferentes de cero, cuando el tiempo es mayor o igual a cero.

Si consideramos que el modelado, de este sistema en particular, se hace con parámetros que son invariantes en el tiempo, que las señales que emite sólo tienen sentido cuando el tiempo es mayor o igual a cero, y que se excita con señales continuas a lo largo del paso del tiempo; nos hace posible la aplicación de una transformación lineal específica, conocida como “Transformada de Laplace”, a las ecuaciones diferenciales que conforman dicho modelado.

El resultado de la aplicación de la “Transformada de Laplace” es una ecuación algebraica que no contiene derivadas, ni integrales; por lo tanto, su manipulación es en extremo simple; al arreglar los elementos que conforman dicha expresión algebraica, en cierta disposición, y combinándolas con otras expresiones, que también son producto de la aplicación de la misma transformación, podríamos garantizar dos cosas:

1. La obtención de varias “funciones de transferencia”. Mismas que nos permiten hacer diversos análisis y tomar ciertas consideraciones a lo largo del método propuesto como “Caracterización de un motor de corriente directa”.
2. La aplicación de la “Transformada inversa de Laplace”. Esta transformación lineal, es la solución general a la ecuación diferencial que modela una señal particular. Dichas señales, en conjunción de ciertos criterios, y con el uso de ciertos instrumentos, ofrecen directamente algunos parámetros del motor de corriente directa a caracterizar.

Una última consideración sobre el uso de la “Transformada de Laplace”, se refiere a las “Condiciones Iniciales”. Matemáticamente conforman parte de la ecuación algebraica que se obtiene al aplicar la transformación lineal mencionada. Físicamente, son aquellos valores que hacen partir a las señales, que genera el motor de corriente directa a caracterizar, de un valor diferente de cero en el momento que se energiza. Consideremos que estos valores siempre son cero.

Justificación

El desarrollo que conlleva el método propuesto, “Caracterización de un motor de corriente directa”, permite el alcance de los objetivos propuestos con anterioridad, tomando en cuenta las limitaciones y otras consideraciones expuestas anteriormente.

Un punto esencial que hace a este método de simple realización, consiste en hacer prescindible el uso de diversos aparatos de instrumentación de alto costo. En muchos lugares de trabajo no se cuenta con el presupuesto necesario para costearlos, y de contar con dicho presupuesto, muchas veces su adquisición es tardada.

La práctica de este método no requiere de la manufactura de piezas que acoplen a nuestro sistema a caracterizar, con instrumentos que tomarán lecturas del mismo. Dichas piezas pueden ser costosas y de difícil acceso.

Otro punto esencial es sobre el ingenio matemático que ofrece el mismo método. Muestra, paso a paso, demostraciones matemáticas sobre señales que modelan el comportamiento del sistema; a estos se les aplican ciertos criterios, que como resultado, ofrecen directamente el valor del parámetro en cuestión.

Si se requiere, este método puede obtener el nuevo comportamiento que pueden presentar los parámetros, que conforman a un motor de corriente directa, debido al uso excesivo y/o constante, o por el desuso prolongado, de dichos dispositivos. Tómense en cuenta las limitaciones y otras consideraciones expuestas anteriormente.

El método nunca ofrecerá como alternativa la mutilación y/o desarmado del motor a caracterizar para alcanzar sus objetivos. Algunos de los parámetros serían fácilmente obtenidos de poder realizar esta acción, sin embargo, se evita debido a las complicaciones que conlleva su rearmado; no siempre se cuenta con maquinaria para poder ensamblar el motor una vez que fue desarmado.

Para dar veracidad al método; se ofrece, para algunos casos, más de una alternativa para la obtención de los parámetros de nuestro motor a caracterizar.

Introducción¹

Aspectos generales sobre un motor de corriente directa

En magnetismo se conoce la existencia de dos polos, que son las regiones donde se concentran las líneas de fuerza de un imán. Un motor para funcionar se vale de las fuerzas de atracción y repulsión que existen entre los polos. De acuerdo con esto, todo motor eléctrico tiene que estar formado con polos alternados entre el estator y el rotor, ya que los polos magnéticos iguales se repelen, y polos magnéticos diferentes se atraen, produciendo así el movimiento de rotación.

Un motor eléctrico opera primordialmente con base en dos principios, uno de ellos es el de inducción, descubierto por Michael Faraday en 1831, este señala que, si un conductor se mueve a través de un campo magnético o está situado en las proximidades de otro conductor por el que circula una corriente de intensidad variable, se induce una corriente eléctrica en el primer conductor. Y el principio que André Ampère estudió en 1820, en el que establece que, si una corriente pasa a través de un conductor situado en el interior de un campo magnético, éste ejerce una fuerza, llamada fuerza electromotriz, sobre el conductor.

Los motores de corriente directa, o continua, se utilizan en casos en los que es importante el poder regular continuamente la velocidad del motor, además, se utilizan en aquellos casos en los que es imprescindible utilizar corriente directa, como es el caso de motores accionados por pilas o baterías. Este tipo de motores debe de tener en el rotor y el estator el mismo número de polos y el mismo número de carbones.

Los motores eléctricos de corriente directa se hallan formados por diversos elementos, sin embargo, las partes principales que los conforman se describen a continuación:

III.I Estator

El estator es el elemento que opera como base, permitiendo que desde ese punto se lleve a cabo la rotación del motor. El estator no se mueve mecánicamente, pero genera un campo magnético que producirá el movimiento del rotor con respecto a su eje simétrico. Existen dos tipos de estatores:

III.I.I Estator de polos salientes

III.I.II Estator ranurado

¹ Fragmento tomado de "Manual de motores eléctricos", véase Bibliografía

Aspectos generales sobre un motor de corriente directa

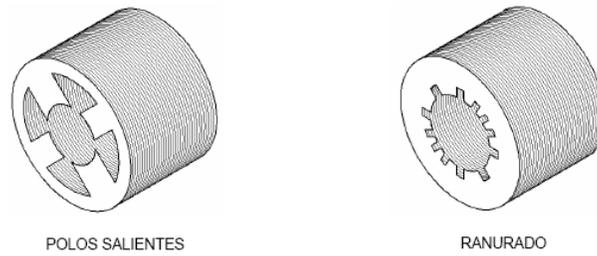


Imagen III.I. Tipos de estatores

El estator, muchas veces, está constituido principalmente de un conjunto de láminas que se les llama “paquete”, estas tienen la habilidad de permitir que pase a través de ellas el flujo magnético con facilidad; la parte metálica del estator y los devanados proveen los polos magnéticos. Los polos de un motor siempre son pares (pueden ser 2, 4, 6, 8, 10, etc.), por ello, el mínimo de polos que puede tener un motor para funcionar es dos.

III.II Rotor

El rotor es el elemento de transferencia mecánica, ya que de él depende la conversión de energía eléctrica a mecánica. Los rotores, son un conjunto de láminas que forman un paquete, y pueden ser básicamente de dos tipos:

III.II.I Rotor ranurado

III.II.II Rotor de polos salientes

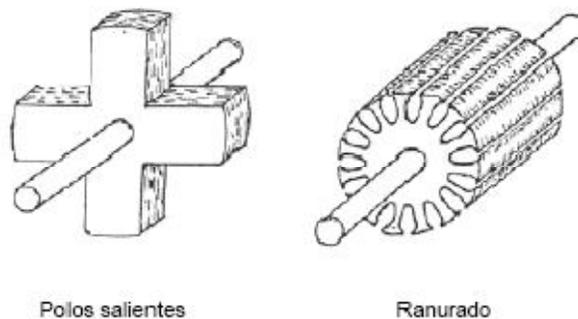


Imagen III.II. Tipos de rotores

III.III Carcasa

La carcasa es la parte que protege y cubre al estator y al rotor, el material empleado para su fabricación depende del tipo de motor, de su diseño y su aplicación. Así pues, la carcasa puede ser:

- III.III.I Totalmente cerrada
- III.III.II Abierta
- III.III.IV A prueba de explosiones
- III.III.V De tipo sumergible

III.IV Caja de conexiones

Por lo general, en la mayoría de los casos los motores eléctricos cuentan con caja de conexiones. Es un elemento que protege a los conductores que alimentan al motor, resguardándolos de la operación mecánica que pudiera dañarlos.

III.V Cojinetes

También conocidos como rodamientos, contribuyen a la óptima operación de las partes giratorias del motor. Se utilizan para sostener y fijar ejes mecánicos, y para reducir la fricción, lo que contribuye a lograr que se consuma menos potencia. Los cojinetes pueden dividirse en dos clases generales:

- III.V.I Cojinetes de deslizamiento. Operan en base al principio de la película de aceite, esto es, que existe una delgada capa de lubricante entre la barra del eje y la superficie de apoyo.



Imagen III.III. Cojinete de deslizamiento

Aspectos generales sobre un motor de corriente directa

III.V.II Cojinetes de rodamiento. Se utilizan con preferencia en vez de los cojinetes de deslizamiento por varias razones:

- III.V.II.I Tienen un menor coeficiente de fricción
- III.V.II.II Son compactos en su diseño
- III.V.II.III Tienen una alta precisión de operación
- III.V.II.IV No se desgastan tanto como los cojinetes de tipo deslizante
- III.V.II.V Se remplazan fácilmente debido a sus tamaños estándares



Imagen III.IV. Cojinete de rodamiento

No obstante, un motor de corriente directa puede funcionar sólo con el estator y el rotor.