

Conclusiones

IV.I Sobre los parámetros eléctricos “ R ” y “ L ”

Si bien, los resultados fueron extremadamente cercanos a los que ofrece el fabricante en su hoja de datos; el error que se produce al obtener estos parámetros, en parte, es provocado por la incertidumbre que tienen los instrumentos de medición empleados; en otro plano, el mismo fabricante no ofrece un valor exacto de estos parámetros, es decir, sólo nos ofrece un decimal en los valores que conforman la hoja de datos de su producto.

Es de notar también, que la teoría que construye y acompaña los criterios para obtener “ R ” y “ L ” son fehacientes, reconocidos, y constituyen la formación de un ingeniero eléctrico-electrónico. Son bases sólidas y demostrables.

Dadas las lecturas de los instrumentos que nos ofrecen directamente el valor de estos parámetros, considero que es preferible usar los métodos alternativos e indirectos para el cálculo de estos parámetros. Dichos métodos ofrecieron valores cercanos a los de la hoja de datos de nuestro sistema a caracterizar.

IV.II Sobre los parámetros mecánicos “ B ” y “ T_i ”

Esta parte del método es la que presentó una considerable variación de los resultados, respecto a los datos que ofrece el fabricante; tomemos en cuenta la cantidad de usos múltiples que ha tenido nuestro motor a caracterizar. Si lo pensamos detenidamente, la parte que lubrica las conexiones entre el rotor y el estator se somete a un uso constante, es decir, el desgaste de los rodamientos es común en este tipo de dispositivos.

Seguramente con el uso constante de este dispositivo, sus rodamientos seguirán desgastándose de un modo considerable; en otras palabras, una segunda caracterización al mismo motor, después de un tiempo considerable, arrojará distintos valores a los obtenidos recientemente.

No sólo la fricción juega un papel importante en el deterioro de los elementos mecánicos del motor. A pesar de que es un dispositivo sellado, es susceptible a la contaminación por polvo y por agentes químicos, mismos que reaccionan directamente en los rodamientos de esta máquina electromecánica. Recordemos que son estas partes mecánicas del motor, los rodamientos, las que dictan directamente el comportamiento de estos parámetros.

Cambiando de tema, el análisis de los resultados obtenidos, en concreto del par de fricción, sugiere que el valor $\frac{T_i}{K_T}$ es el umbral de corriente eléctrica del movimiento del rotor de un motor de corriente directa. En otras palabras, el motor se comporta como un sistema eléctrico puro “R – L”, es decir:

$$V_{i(t) \rightarrow T_i K_T} = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} + \Phi \Bigg| t \geq 0 \quad (\text{IV.I})$$

Donde “ Φ ” representa vibraciones mecánicas en el motor de corriente directa. Si despreciamos el valor de “ Φ ”, la ecuación anterior se aproxima al modelo matemático siguiente:

$$V_{i(t) \rightarrow \frac{T_i}{K_T}} \approx R \frac{T_i}{K_T} + L \frac{d \frac{T_i}{K_T}}{dt} \Bigg| t \geq 0$$

$$V_{i(t) \rightarrow \frac{T_i}{K_T}} \approx R \frac{T_i}{K_T} \Bigg| t \geq 0 \quad (\text{IV.II})$$

En otras palabras, el valor mínimo de tensión eléctrica de alimentación, para un motor de corriente directa y flujo magnético constante, se aproxima al producto “ $R \frac{T_i}{K_T}$ ”.

IV.III Sobre los parámetros de vinculación “ K_E ” y “ K_T ”

Es fácil encontrar errores en las lecturas haciendo uso instrumentos de medición, las razones están explicadas en los párrafos anteriores. Así mismo, el fabricante tampoco ofrece exactitud en su hoja de datos para estos parámetros.

Las vibraciones, que eran perceptibles, por el acoplamiento de los rotores de dos motores, también producen errores en las lecturas tomadas en esa parte del método.

Recordemos que estos valores son una función directa de los parámetros mecánicos y eléctricos que conforman al sistema; otro error se produce por el desgaste de dichos elementos, mismos que se reflejan, directamente, en la obtención de estos parámetros.

A pesar de los errores ya mencionados, para el caso concreto de “ K_E ”, se obtiene un valor muy cercano al ofrecido por el fabricante. Mientras que para el caso de “ K_T ”, aproximar su valor al de “ K_E ”, tomando en cuenta las consideraciones mencionadas en el método, es una forma certera para su obtención.

IV.IV Sobre el momento de inercia del rotor “ J ”, parámetro cuasi-inmutable

Si bien, el momento de inercia del rotor es una función directa de su masa, de sus dimensiones, y de la forma del mismo. Es un parámetro que difícilmente puede variar en un motor, por lo menos, de corriente directa; el polvo que se puede adherir a su capa externa representa una cantidad de masa mínima, por tal motivo, es un parámetro cuasi-inmutable.

Su cálculo, para el método propuesto, fue con base en el planteamiento de una función de los parámetros restantes, de valores concretos de corriente, de tensión eléctrica de alimentación, y de tiempo; cualquier error de los valores mencionados se refleja en la obtención de este parámetro.

A pesar de dichos errores, se puede apreciar que nuestro valor obtenido es realmente cercano al que ofrece el fabricante. Idealmente no debería existir ninguna variación entre el valor del fabricante y el obtenido, pero de todos los parámetros, es aquel que presenta menor error de aproximación.

Como dato curioso, los valores de tiempo de las lecturas obtenidas, representan un valor cercano al tiempo donde la señal alcanza su máxima amplitud. Si observamos con detenimiento, estos valores de tiempo, a diferentes amplitudes de tensión eléctrica de alimentación, son los mismos.

Haré una última demostración de lo señalado en el párrafo anterior. Derivando la ecuación de corriente eléctrica instantánea, debida a un escalón de amplitud variable, será la forma de obtener el tiempo de amplitud máxima de dicha función. La obtención de la derivada, de dicha señal, es parte del “Capítulo 3” de esta publicación; haré uso directo de dicha expresión matemática:

$$\frac{di(t)}{dt} = 0 = \frac{V}{JL} \left[\left(\frac{B' - Jp_1}{(p_2 - p_1)} \right) e^{-p_1 t_{max}} + \left(\frac{B' - Jp_2}{(p_1 - p_2)} \right) e^{-p_2 t_{max}} \right]$$

$$\left(\frac{B' - Jp_1}{(p_1 - p_2)} \right) e^{-p_1 t_{max}} = \left(\frac{B' - Jp_2}{(p_1 - p_2)} \right) e^{-p_2 t_{max}}$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{B' - Jp_1}{B' - Jp_2} \right) &= \frac{e^{-p_2 t_{max}}}{e^{-p_1 t_{max}}} = e^{(p_1 - p_2) t_{max}} \\ \text{Ln} \left(\frac{B' - Jp_1}{B' - Jp_2} \right) &= (p_1 - p_2) t_{max} \\ \text{Ln} \left(\frac{\left(B - \frac{K_E T_i}{V} \right) - Jp_1}{\left(B - \frac{K_E T_i}{V} \right) - Jp_2} \right) &= (p_1 - p_2) t_{max} \end{aligned} \quad (\text{IV.III})$$

Al aplicar un límite, tal que “ $V \rightarrow \infty$ ”, estamos recreando un aumento de tensión eléctrica de alimentación, de tal forma que se obtiene que:

$$\begin{aligned} \lim_{V \rightarrow \infty} \left\{ \text{Ln} \left(\frac{\left(B - \frac{K_E T_i}{V} \right) - Jp_1}{\left(B - \frac{K_E T_i}{V} \right) - Jp_2} \right) \right\} &= \lim_{V \rightarrow \infty} \{ (p_1 - p_2) t_{max} \} \\ \frac{1}{(p_1 - p_2)} \text{Ln} \left(\frac{B - Jp_1}{B - Jp_2} \right) &= t_{max} \end{aligned} \quad (\text{IV.IV})$$

Si bien, el análisis matemático demuestra que no para cualquier amplitud “ V ”, el valor de tiempo que corresponde a la amplitud máxima de la señal es el mismo, bien se demuestra que, a medida que aumentamos el valor de “ V ”, existe una tendencia a un valor concreto de “ t_{max} ”.

En resumen, los objetivos planteados pudieron ser resueltos bajo las condiciones y restricciones que se mencionaron a lo largo del método. Considero, que el método en conjunción, es una forma loable de obtener los parámetros de un motor de corriente directa con flujo magnético constante.