

Introducción

1.1 Motores de inducción

El motor de inducción es la máquina más extendida en la industria debido a su robustez, precio y reducido mantenimiento. Más de la mitad de la energía eléctrica consumida en el mundo se debe a este tipo de máquina. La combinación de la electrónica de potencia y las máquinas de inducción ha conseguido que estas últimas encuentren muchas más aplicaciones ya que permite un gran control sobre su funcionamiento. Para el control de las máquinas de inducción es necesario un buen conocimiento de los parámetros que modelan el sistema.



Figura 1.1: Aspecto típico de un motor de inducción

Los motores de inducción tradicionalmente han sido alimentados directamente de la red lo que facilitaba su uso pero permitía poco margen de control sobre su funcionamiento, limitándose éste al arranque estrella-triángulo o a la inserción de resistencias rotóricas en el caso de que los devanados del rotor fuesen accesibles. La incorporación de la electrónica de potencia y técnicas como el control vectorial, hacen que los motores de inducción compitan en muchos aspectos con

los motores de corriente continua. Se prevé que en la próxima década más del 50% de los motores eléctricos se alimentarán a través de convertidores de potencia y que del 60% al 70% de ellos serán motores de inducción [1]. En la Figura 1.1 se muestra el aspecto exterior de un motor de inducción moderno de mediana potencia.

Gracias a los variadores de velocidad es posible una reducción importante de pérdidas lo que significa mayor productividad y menor consumo de recursos así como un menor impacto ambiental incluyendo una reducción de ruido. Los variadores electrónicos abren las puertas a nuevas aplicaciones en un futuro próximo como son los vehículos eléctricos en los que se necesita un preciso control de la velocidad desde cero y una máquina reversible capaz de funcionar tanto como motor como generador aprovechando la inercia del vehículo para reutilizar la energía. Para lograr estos niveles de control y poder realizar simulaciones realistas de las máquinas es necesario tener un modelo lo más exacto posible del sistema para poder predecir su comportamiento. Los parámetros que modelan este sistema son difíciles de obtener, especialmente en las máquinas de inducción ya que varían con las condiciones de funcionamiento. El calentamiento y los efectos superficiales (*skin*) incrementan las resistencias y los flujos elevados tienden a saturar las inductancias.

Generalmente los parámetros del modelo de circuito de las máquinas de inducción se calculan en la fase de diseño por el fabricante y, posteriormente, se confirman en una prueba (física) en la plataforma de ensayos. Sin embargo la información del fabricante no suele estar disponible, especialmente cuando se trata de identificar los parámetros de un grupo de motores que ya lleva un cierto tiempo instalados y funcionando en planta. Tradicionalmente los parámetros del modelo se determinan mediante ensayos, ya sean en banco de prueba o in situ. Los ensayos habituales para la determinación de los parámetros del modelo de circuito de los motores de inducción son los de funcionamiento en vacío y con el rotor bloqueado, (Anexo 1).

Entre los inconvenientes de un ensayo en un banco de pruebas cabe citar que la máquina no se prueba en las condiciones reales de funcionamiento. Cuando se realiza en su emplazamiento, las condiciones de la prueba son las reales de servicio, conectada a su carga y alimentada a través de su convertidor de potencia, en muchos casos. La determinación de los parámetros en este último caso es más ajustada a la realidad. Sin embargo, este tipo de pruebas requiere bastante tiempo, son relativamente costosas y no siempre es posible desconectar el motor de su carga. Sólo se logra establecer el comportamiento de la máquina en régimen permanente y no son de gran utilidad cuando se pretende calcular los parámetros de las máquinas de inducción de doble jaula o de ranuras profundas. Además, se requiere personal cualificado y una fuente de tensión y frecuencia variables. Por tanto, la determinación de los parámetros de los motores de inducción que están funcionando continuamente en industrias normalmente no es posible mediante los métodos tradicionales.

Otros métodos para la identificación de parámetros son:

- Métodos de los elementos finitos (*FEM*)
- Utilización de algoritmos de identificación
- Método de respuesta transitoria
- Datos de catálogo

Los dos primeros métodos requieren de un conocimiento de las características constructivas físicas de la máquina, su dimensionamiento, composición y de un software especializado. Se requiere tener amplio conocimiento de este tipo de análisis para interpretar correctamente los resultados. En el caso del método de respuesta transitoria se requieren equipos especiales para la generación de la prueba y por ello es poco utilizado [2].

También puede darse el caso de tener que elegir una máquina durante la fase de diseño de una instalación y puede ser necesario conocer de antemano el comportamiento del motor para ciertos rangos de funcionamiento. Normalmente en estos casos sólo se dispone de la información que proporcionan los catálogos de los fabricantes de motores. En casos como estos resulta de utilidad disponer de un método que, a partir de la información contenida en los datos de catálogo del fabricante, permita la estimación de los parámetros que permitan predecir el comportamiento de la máquina de forma previa a su adquisición. Normalmente estos procedimientos requieren la solución de un sistema de ecuaciones no lineales bastante complejo por lo que se resuelve habitualmente de forma numérica, basándose en el método de mínimos cuadrados.

El método de los mínimos cuadrados se basa en la minimización de la suma de los cuadrados de las desviaciones de la variable respecto a la estimación de algunos de los componentes. Los métodos más usados son el de Newton-Gauss y el de Levenberg-Marquardt. Estos métodos de resolución tienen el inconveniente de que pueden caer en un mínimo local, si no se acota correctamente el espacio de búsqueda. Además, sufren de problemas de convergencia por el mismo motivo.

En los años sesenta surge una nueva técnica que utiliza los principios que la genética natural en la búsqueda de los parámetros óptimos de sistemas llamada Algoritmos Genéticos. Utilizan las herramientas de las que la naturaleza se ha servido en su perfeccionamiento, que básicamente son la mutación y el cruce, como se explicará detalladamente más adelante.

1.2 Objetivos

El objetivo central de este trabajo consiste en el desarrollo de una herramienta informática, basada en los algoritmos genéticos, que permita realizar una estimación de los parámetros del modelo de circuito de una máquina de inducción, partiendo de la información que ofrecen los fabricantes en sus catálogos.

Mediante esta técnica se intentan evitar los problemas de los métodos basados en mínimos cuadrados en los que, en ciertas circunstancias, no conducen a una estimación óptima de los parámetros.

Se compararán los resultados obtenidos con otros métodos considerando el mismo modelo de circuito para poder evaluar la bondad de los algoritmos genéticos para la identificación de los parámetros del modelo de circuito de las máquinas de inducción. Las ecuaciones a resolver pueden ser bastante complejas por lo que se optará por un modelo de circuito aproximado intentando perder la menor exactitud posible.

Se valorarán otros factores referentes al algoritmo utilizado como puede ser la velocidad de ejecución o la precisión frente al tiempo de cálculo ya que a veces puede ser más interesante una estimación rápida que una estimación mejor pero que necesite un largo tiempo de cálculo.

Los datos de los motores utilizados serán obtenidos de los catálogos comerciales de los mayores fabricantes que están disponibles en sus respectivas páginas web [3], [4].