



Recálculo de motores asincrónicos trifásicos controlando el par de arranque y la temperatura

Héctor Brito
Esther Bermello
José Sierra
Miguel A. Vega

Recibido: Julio del 2005

Aprobado: Septiembre del 2005

Resumen / Abstract

Los motores asincrónicos son los más empleados en la industria, debido a su robustez, sencillez y fácil mantenimiento. Ocasionalmente sufren averías, producto de lo cual al repararlos, se cambian los parámetros de diseño. Si se dispone de todos los datos originales es tarea sencilla su reparación, de lo contrario, sin seguir una metodología determinada con basamentos en el diseño de las máquinas eléctricas, se logra su reparación, pero sin conocer con exactitud los nuevos indicadores energéticos de dicha máquina. A partir de una metodología que permite realizar el recálculo del motor para diferentes niveles de conocimientos de los datos de estos, así como el recálculo de dicha máquina cuando se desee cambiar velocidad, voltaje y/o frecuencia de operación, cálculos engorrosos y que requieren de conocimientos de diseño de máquinas eléctricas, se elaboró un software de computación en Matlab, incorporándole a esta metodología el control de aumento de temperatura y momento de arranque del motor recalculado.

Palabras clave: máquinas asincrónicas, motor asincrónico trifásico

The asynchronous motors are those more employee in the industry, due to their robustness, simplicity and easy maintenance. Occasionally they suffer mishaps, product of that which you/they are changed when repairing them the design parameters. If we have all the original data it is simple task their repair, otherwise, without following a certain methodology with basements in the design of the electric machines, their repair is achieved, but without knowing with accuracy the new energy indicators of this machine. Basing us on a methodology that allows to carry out the re-design of the motor for different levels of knowledge of the data of these, as well as the re-design of this machine when it is wanted to change speed, voltage y(o) operation frequency, calculations that are annoying and they require of knowledge of design of electric machines, a calculation software was elaborated in Matlab, to this methodology he/she is incorporated the control of increase of temperature and moment of outburst of the re-design motor.

Key words: asynchronous machine, three phases asynchronous motor

INTRODUCCIÓN

Es sabido que el mundo moderno no se concibe sin el amplio empleo de la energía eléctrica. En Cuba, la Revolución desde sus inicios le prestó especial atención a la industrialización, lo que trajo consigo una rápida electrificación del territorio. Con la industrialización del país creció grandemente el parque

de máquinas eléctricas, siendo una de las más empleadas el motor asincrónico trifásico, muy difundido en los accionamientos eléctricos. Al aumentar tan rápidamente el empleo de los motores asincrónicos trifásicos, surgió la necesidad de la creciente reparación de los mismos en disímiles condiciones, en cuanto a la información disponible

para dicha reparación. Esta necesidad se vio incrementada con la desaparición del campo socialista y el surgimiento en la economía del Período Especial, ya que aumentó la necesidad de explotar mucho mejor los recursos de que se disponían hasta ese momento.

En muchas ocasiones los motores asincrónicos sufren daños, causa por la cual son enviados a talleres de reparación sin toda la información necesaria para lograr que se puedan solucionar los daños que presentan y volver a incorporarlos a la explotación; otras veces las averías son tales que imposibilitan obtener la información necesaria para ello. Además, en algunos casos los motores de que se disponen no reúnen las características apropiadas, bien sea por el nivel de voltaje y(o) la frecuencia de diseño, o es necesario cambiar la velocidad de rotación para la que fueron fabricados.

Es por ello que contando con una metodología¹ que permita realizar el recálculo del motor asincrónico trifásico, a partir de diferentes niveles de conocimiento de sus datos fundamentales de diseño, y que posibilite la realización del recálculo del motor para otro nivel de voltaje, cambio de la frecuencia de explotación, así como cambio de su velocidad de rotación, todas diferentes a las de diseño, y por lo difundido que está en la industria el empleo del motor asincrónico donde no siempre se cuenta con el personal con todos los conocimientos necesarios para esta labor, los autores se dieron a la tarea de elaborar un programa de computación en Matlab^{2,3}, que permita al personal de los talleres de reparación, sin la necesidad de tener una gran experiencia en el diseño de máquinas eléctricas, obtener los datos necesarios para la reparación de los mismos

El programa brinda la posibilidad de conocer el momento de arranque y la temperatura de trabajo de dicho motor.^{4,5} Pudiendo así reportar un gran ahorro para el país, tanto por el tiempo que es necesario emplear en los cálculos, como por el hecho de realizar los mismos basados en una metodología¹ asentada en los fundamentos del diseño de los motores asincrónicos,⁴ lo que permite realizar el trabajo de forma más precisa y poder predecir de manera bastante certera los resultados que se obtendrán antes de realizar la reparación, todo ello alejado del empirismo.

DESARROLLO

En el caso de la recuperación de los motores eléctricos por medio del rebobinado del devanado

averiado, la tarea por lo general se reduce a la conservación de los datos originales del devanado del estator, sin embargo, en una serie de casos los datos tomados del devanado averiado pueden ser erróneos, bien por errores cometidos al tomarlos, o por que los devanados hayan sufrido reparaciones anteriores donde los mismos hayan sido alterados. También surge la situación de la ausencia total del devanado original, así como en los casos que se desee enrollar la máquina para otro voltaje, otra frecuencia o velocidad de rotación, etcétera.¹

La realización del cálculo completo y con suficiente exactitud del motor de inducción, constituye un problema bastante complicado y requiere para su solución de un volumen grande de conocimiento especializado y de experiencias de diseño de máquinas eléctricas.

La metodología en que se han basado los autores,¹ contempla los siguientes casos:

- a) Recálculo en el caso de que sea conocida la inducción magnética en el entrehierro.
- b) Recálculo en el caso de que sea desconocida la inducción magnética en el entrehierro.
- c) Recálculo en el caso de que sean desconocidos todos los datos del motor.
- d) Recálculo del devanado del estator para otro nivel de voltaje.
- e) Recálculo del devanado del estator para otra frecuencia de alimentación.
- f) Recálculo del devanado del estator para otra velocidad de rotación.

El primero de los casos es para la comprobación de la certeza del diseño de un motor dado, ya que es necesario conocer la inducción magnética en el entrehierro, dato que no es frecuente obtener de un motor. El caso b), tiene mayor interés práctico, pues no es necesario conocer la inducción magnética en el entrehierro, pero por el contrario es necesario poseer una amplia información sobre datos e indicadores energéticos del motor. Sin dudas el caso c), es el más interesante desde el punto de vista práctico, ya que sin poseer datos de diseño del motor, solamente con la información que se puede obtener mediante la medición de las dimensiones geométricas del motor, la metodología utilizada desarrolla los cálculos a partir de establecer el número de polos que se desea que

tenga la máquina, conocidos los diámetros exterior e interior del inductor, así como otras dimensiones, y empleando una serie de tablas se puede determinar la característica del devanado y conocer la potencia posible a desarrollar por dicho motor. Son más evidentes los aspectos que se tocan en los casos d), e) y f).¹

Es conveniente indicar que sobre la base de la experiencia adquirida del diseño de motores de inducción, a la metodología referida se le hicieron modificaciones considerables en cuanto a los rangos de selección de algunos parámetros y coeficientes que sirven para el control del recálculo, también se introdujeron fórmulas del diseño para el cálculos de magnitudes como áreas de la ranura, etcétera.^{4,5}

EL PROGRAMA

El programa de computación propuesto para el recálculo de motores asincrónicos trifásicos fue realizado en Matlab 5.3,^{2,3} ya que brinda un ambiente agradable y permite el uso de una poderosa herramienta matemática de forma sencilla, mediante una serie de ventanas. La primera ventana explica las posibilidades del programa e informa de la ayuda que el mismo posibilita para su ejecución.

El programa permite la selección de una de las seis variantes relacionadas anteriormente, la que se puede seleccionar presionando uno de los botones que representa cada una de dichas variantes (figura. 1), pudiéndose conocer en qué consiste cada variante con el solo hecho de situar el cursor encima de la variante, ya que en ese momento aparece en la pantalla un breve letrero que informa en qué consiste la variante seleccionada.

Al seleccionar la variante deseada (figura 1), aparece un cuadro donde se deben introducir los datos necesarios para el cálculo (figura 2), en el caso de tener que introducir algún coeficiente, al ubicar el cursor sobre la ventana donde se debe escribir el valor de dicho coeficiente, aparece un cartel de ayuda que indica los límites dentro de los cuales varía dicho coeficiente. Al introducir un valor a alguna magnitud que sea ilógico, el programa no lo acepta, y aparece un cartel que le indica sobre el error cometido. Por último, después de haber introducido todos los datos, debe oprimirse el botón **aceptar**, que aparece al final de la ventana, con lo que se le da entrada de dichos valores a la memoria de la máquina.



Pantalla inicial para la selección de variante.

1

Resulta importante señalar que incluso después de validados los valores, estos pueden ser cambiados antes de ser ejecutado el programa. En el caso que todos los datos necesarios no quepan en una de las ventanas, al oprimir el botón **aceptar** (figura 2), aparecerá otra ventana (figura 3), donde será necesario introducir los datos que faltan, aún a esta altura de introducción de los datos se puede regresar a la ventana anterior si se desea rectificar o verificar alguna información ya introducida, para lo cual solo es necesario oprimir el botón **atrás** que aparece en la parte inferior de esta ventana, después de lo cual tan solo es necesario oprimir un tercer botón que aparece en la parte inferior de la ventana identificado como **calcular**, con lo cual se da paso a la ejecución del programa.

Después de ejecutado el programa, los resultados aparecen en una ventana (figura 4), donde también se reflejan valores de datos que se hayan introducido al inicio del programa, pero que por la necesidad del cálculo se le hayan asignado nuevos valores, para de esta forma permitir su comparación.

El programa tiene incorporada toda la información necesaria para el recálculo, lo cual se logra mediante más de 15 tablas, donde se recoge información como la variación de la inducción magnética en las diferentes zonas del circuito magnético al variar la intensidad del campo magnético, la dependencia de la eficiencia

y el factor de potencia, del tipo de protección de la máquina, número de polos y tipo de construcción del motor.

En el caso de la inducción magnética desconocida basándose en el tipo de protección, el valor del paso polar y el número de polos de la máquina, el programa elige un valor estimado de la inducción magnética en el entrehierro, la densidad de corriente y la carga lineal.

El programa también tiene tablas que permiten la selección de los coeficientes necesarios para el cálculo o para realizar los controles necesarios. Además, en el mismo se realiza el control de la magnitud del par del motor en el arranque, así como el cálculo del control del aumento de temperatura,⁴ que debe alcanzar el motor después de la reparación, al desarrollar la potencia nominal.

ENTRADA DE DATOS - VARIANTE 1

NÚMERO DE CAPAS DEL DEVANADO DEL ESTATOR	2
FRECUENCIA F(Hz)	60
VELOCIDAD SINCRÓNICA(r.p.m.)	3600
VOLTAJE NOMINAL (V)	440
NÚMERO DE CANALES DE VENTILACIÓN	
ANCHO DE LOS CANALES DE VENTILACIÓN	
COEFICIENTE K_e	
COEFICIENTE DEL DEVANADO DEL ESTATOR	
DIÁMETRO INTERNO DEL ESTATOR(m)	
LONGITUD DEL ACERO DEL ESTATOR L1(m)	
DIMENSION DEL ENTREHIERRO h_e (mm)	
COEFICIENTE K_1	

ACEPTAR DATOS ADICIONALES

Entrada de datos.

2

ENTRADA DE DATOS - VARIANTE 1

INDUCCIÓN MAGNÉTICA EN EL ESTATOR (T)	
# DE CONDUCTORES EFECTIVOS EN LA RANURA	
NÚMERO DE CONDUCTORES ELEMENTALES	
AREA DEL CONDUCTOR ELEMENTAL	
NÚMERO DE LA RANURA DEL ESTATOR	
ALTURA DE LA RANURA DEL ESTATOR	
ANCHO DE LOS DIENTES DEL ESTATOR	
NÚMERO DE LAS RAMAS PARALELAS	
VALOR DE b_1 (mm)	
VALOR DE b_2 (mm)	
VALOR DEL COEFICIENTE K_{cbo}	
ALTURA DEL EJE DE ROTACIÓN (mm)	

← ATRAS ACEPTAR CALCULAR

Pantalla de datos complementarios, donde b_1 y b_2 son anchos de las ranuras del estator y K_{cbo} es el coeficiente de llenado de cobre de las ranuras.

3

Resultados finales

RESULTADOS

Motorrecal 08-May-2002 02:54:19

NUMERO DE CONDUCTORES EN LA RANURAS	18
NUMERO DE ESPIRAS	100
SECCION DEL CONDUCTOR EFECTIVO	5.2087
AREA DEL CONDUCTOR ELEMENTAL	1.767
DIAMETRO DEL CONDUCTOR SIN AISLAMIENTO	1.5
DIAMETRO DEL CONDUCTOR CON AISLAMIENTO	1.585
COEFICIENTE DE LLENADO	0.63821

ACEPTAR

Pantalla de resultados.

4

CONCLUSIONES

Mediante el empleo de este software "Recálculo de motores asincrónicos trifásicos," se puede realizar el recálculo de un motor en que se tenga diferentes niveles de información para ello; pudiéndose destacar el caso cuando sea posible el recálculo incluso cuando se posean tan solo las dimensiones geométricas de la máquina, realizando estos complejos cálculos sin necesidad de que el personal tenga una calificación especializada. Se debe resaltar la introducción de

nuevos criterios en la selección de algunas magnitudes y coeficientes.

Resulta evidente que el empleo de este programa puede originar el ahorro de considerables recursos al país tanto humanos como de tiempo, y materiales, debiéndose señalar que la inclusión del control del par de arranque y el aumento de temperatura proporciona la seguridad de la calidad del comportamiento en el trabajo del motor recalculado.

Se recomienda seguir trabajando en esta dirección con el objetivo de poner a disposición de los distintos planes de superación de personal profesional esta herramienta, ya que con ello se facilitaría grandemente la tarea del recálculo, pudiendo redundar en un considerable ahorro a la economía del país.

REFERENCIAS

1. **Kotlietnits, Niklay F. y Héctor Brito Socarrás:** *Explotación y reparación de las máquinas eléctricas*, 2 t., Universidad de Oriente, Cuba, 1983.
2. **García de Jalón, Javier; José Ignacio Rodríguez y Alfonso Brazales:** *Aprenda Matlab 5.3*, Escuela Superior de Ingenieros Industriales, Universidad de Navarra, Agosto, 1999.
3. **Arafet Padilla, Pedro y otros:** *Una Introducción al Matlab*, Cuba, s/f.
4. **Kopilov, Igor P.:** *Diseño y cálculo de máquinas eléctricas*, Editorial Energía, Moscú. 1980 (en idioma ruso).
5. **Crespo, E.; A. Rodríguez, y V. Beliaev:** *Proyección de máquinas eléctricas*, Universidad de Camagüey, Cuba, 1984.

AUTORES

Héctor Brito Socarrás

Ingeniero Electricista, Profesor Titular, Departamento de Electroenergética, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba
e-mail:brito@ee.fie.uo.edu.cu

Esther Bermello Crespo

Ingeniera Electricista, Asistente, Departamento de Electroenergética, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba
e-mail:esther@ee.fie.uo.edu.cu

José Sierra Rodríguez

Ingeniero Electricista, Adiestrado, Departamento de Electroenergética, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba
e-mail:sierra@ee.fie.uo.edu.cu

Miguel A. Vega

Ingeniero Electricista, Santiago de Cuba, Cuba

REVISTAS CIENTÍFICAS DE LA CUJAE AHORA EN FORMATO ELECTRÓNICO ¡VISÍTENOS!



• <http://intranet/ediciones/>