



APLICACIÓN DE LA COMPUTACIÓN

Análisis del comportamiento dinámico del motor de inducción trifásico usando modelos en simulink del matlab

Three-phase induction motor dynamic behavior analysis using the simulink of matlab models

Héctor Brito - Socarrás
Pedro Arafet - Padilla

Recibido: Abril del 2011
Aprobado: Junio del 2011

Resumen/ Abstract

La máquina de inducción se ha colocado como pilar del desarrollo de la industria moderna por su sencillez constructiva, bajo mantenimiento, larga vida útil, versatilidad y bajo costo. Sin embargo, la regulación de la velocidad y el par de dicha máquina ha presentado dificultades, por lo que no ha sido frecuente su control hasta la década de los años ochenta del siglo XX, debido al desarrollo de los convertidores basados en dispositivos electrónicos de potencia. En el presente trabajo se hace la propuesta de algunos arreglos hechos al modelo del motor de inducción trifásico en los ejes α - β empleando el Simulink de Matlab para la simulación del su comportamiento durante algunos regímenes de trabajo muy frecuentes en su explotación, como son el arranque estrella-delta, arranque introduciendo resistencia en el circuito de rotor de un motor de inducción de rotor bobinado y el frenado por contracorriente, empleando un determinado tipo de carga.

Palabras clave : Máquina asincrónica. Modelo Matemático

The induction machine has been placed as pillar of the development of the modern industry due to its constructive simplicity, low maintenance, long useful life, versatility and low cost. However, the regulation of the speed and the couple has presented difficulties and has not been frequent until the decade of the eighties of the XX century, due to the development of the converters based on power electronic devices. In this present work a proposal is made of some arrangements done of an induction three phase motor model on the α - β axes using the Simulink of Matlab for the simulation of the behaviour of three-phase induction motor working regimens in its exploitation, like they the outbreak star-delta, outbreak introducing resistance in the circuit of the rotor of a motor induction of rotor winding and a braked by counter-current using a certain type of change.

Key Works.: Asincronic Machine. Mathematical model.

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se realiza un breve análisis del modelo matemático del motor de inducción trifásico empleando sus ecuaciones diferenciales en las coordenadas de transformación α - β y a su vez utilizando algunos bloques operacionales que brinda el Simulink del Matlab, permiten representar el comportamiento de dicha máquina en algunos regímenes característicos de operación, como son el arranque mediante la conexión estrella-delta, la puesta en marcha introduciendo resistencias en el circuito del rotor, el frenado de contramarcha, etc.

DESARROLLO

El establecimiento de las ecuaciones del modelo matemático del motor asincrónico en las coordenadas $\alpha, \beta, 0$, expresadas a través de las corrientes y los flujos de los circuitos del estator y del rotor según [1- 3] se muestran en las ecuaciones 1.

$$\begin{aligned}
 \frac{d\psi_{\alpha}}{d\tau} &= u_{\alpha} - R_s i_{\alpha} \\
 \frac{d\psi_{\beta}}{d\tau} &= u_{\beta} - R_s i_{\beta} \\
 \frac{d\psi_{\alpha r}}{d\tau} &= -R_r i_r - \omega_r \psi_{\beta r} \\
 \frac{d\psi_{\beta r}}{d\tau} &= -R_r i_{\beta r} + \omega_r \psi_{\alpha r} \\
 i_{\alpha} &= \frac{1}{\sigma x_s} \psi_{\alpha} - \frac{x_m}{\sigma x_s x_r} \psi_{\alpha r} \\
 i_{\beta} &= \frac{1}{\sigma x_s} \psi_{\beta} - \frac{x_m}{\sigma x_s x_r} \psi_{\beta r} \\
 i_{\alpha r} &= \frac{1}{\sigma x_r} \psi_{\alpha r} - \frac{x_m}{\sigma x_s x_r} \psi_{\alpha} \\
 i_{\beta r} &= \frac{1}{\sigma x_r} \psi_{\beta r} - \frac{x_m}{\sigma x_s x_r} \psi_{\beta} \\
 M_{em} - M_{mec} &= \Im \frac{d\omega_r}{dt} \\
 M_{em} &= \frac{3}{2} x_m (i_{\alpha r} i_{\beta} - i_{\alpha} i_{\beta r})
 \end{aligned} \tag{1}$$

Las ecuaciones (1) encuentran el más amplio empleo, debido a que son las más generales, ya que permiten determinar el carácter de variación, tanto de las corrientes, como de los flujos del motor asincrónico.

Después de confeccionado el diagrama de bloques del modelo dinámico del motor asincrónico trifásico en Simulink, se le pueden realizar algunas modificaciones, para con ello, representar algunos regímenes característicos de operación.

PUESTA EN MARCHA DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO INTRODUCIENDO RESISTENCIA EN EL CIRCUITO DEL ROTOR

En el caso que se desee analizar el comportamiento de un motor de inducción trifásico de rotor bobinado durante el arranque empleando resistencias intercaladas en el circuito del rotor, solamente es necesario realizar una pequeña modificación en el diagrama de bloques y para ello se empleará el bloque "Switch", (fig. 1), que se encuentra entre los "Nolinear" del Simulink [4-5], lo que hay que introducir en cada una de las fases del modelo como se muestra en la figura 2.

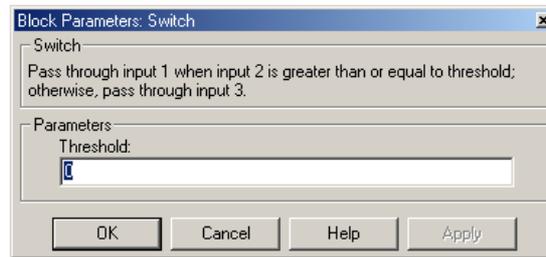


Fig. 1. Características del bloque “Switch”

Dicho bloque se puede operar bajo una condición determinada, que puede ser, bien en tiempo o en una magnitud dada, como puede ser el valor alcanzado por la corriente, la que se introduce en su entrada central. En este caso se han empleado dos pasos de resistencia, que se obtienen al multiplicar la resistencia propia del rotor, en el primer instante del arranque, por dos ganancias de cinco, lo que da un incremento de veinticinco, y que se muestra en la figura 2, en el primer instante. El primer “switch”, se programa en tiempo, para que opere retirando la ganancia al transcurrir 0,1 segundo, lo que reporta que la resistencia conectada en el circuito del rotor se ha reducido sólo a cinco veces el valor de la resistencia propia del rotor. El segundo “switch” opera al transcurrir 0,3 segundo, retirando la otra ganancia.

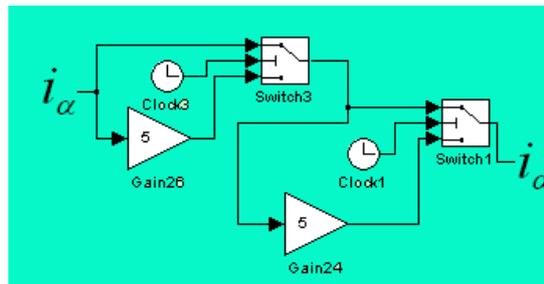


Fig. 2.- Empleo del bloque “switch” para la simulación de un arranque introduciendo resistencia en el circuito del rotor de un motor de inducción de rotor bobinado.

El comportamiento de la corriente, el momento y la velocidad se muestran en las figuras 3, 4 y 5.

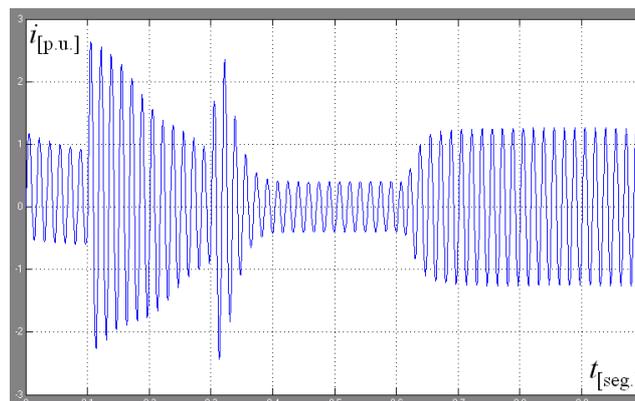


Fig. 3. Comportamiento de la corriente de fase de un motor de inducción de rotor bobinado intercalando resistencia en el circuito del rotor y carga tipo escalón.

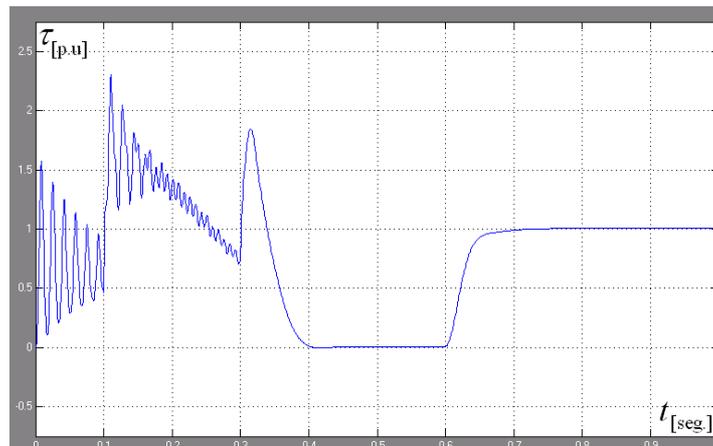


Fig. 4. Comportamiento del momento de un motor de inducción de rotor bobinado intercalando resistencia en el circuito del rotor y carga tipo escalón.

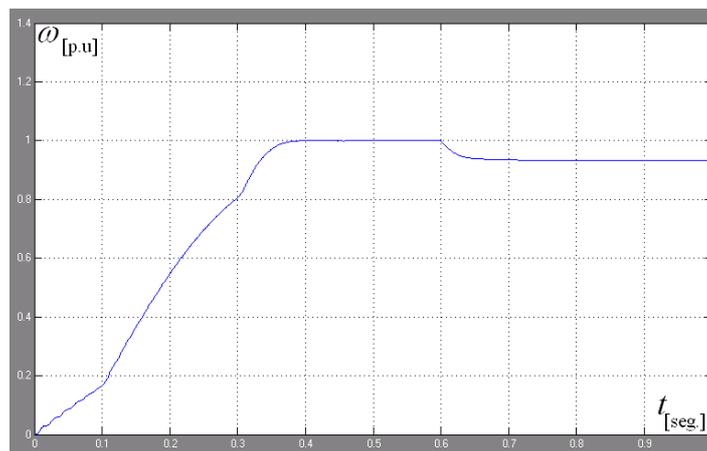


Fig. 5. Comportamiento de la velocidad de un motor de inducción de rotor bobinado intercalando resistencia en el circuito del rotor y carga tipo escalón.

En este caso, el motor es arrancado en vacío y pasado 0,6 segundos se le aplica una carga tipo escalón unitaria.

PUESTA EN MARCHA DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO POR MEDIO DEL ARRANQUE ESTRELLA-DELTA

Empleando el mismo bloque se puede simular el arranque estrella-delta de un motor de inducción trifásico. En este caso lo que se hace es reducir en $\sqrt{3}$ la amplitud de la tensión aplicado durante un tiempo determinado o hasta que la corriente de línea alcance un valor determinado, que sería la condición que se le impondría al bloque "switch". En esta ocasión la programación del bloque "switch" es en función del tiempo, produciéndose la conmutación al haber transcurrido 0,3 segundo de la conexión del motor a la red. La modificación al modelo se muestra en la figura 6, en dicha figura también se puede observar la introducción del tiempo en que debe operar el "switch".

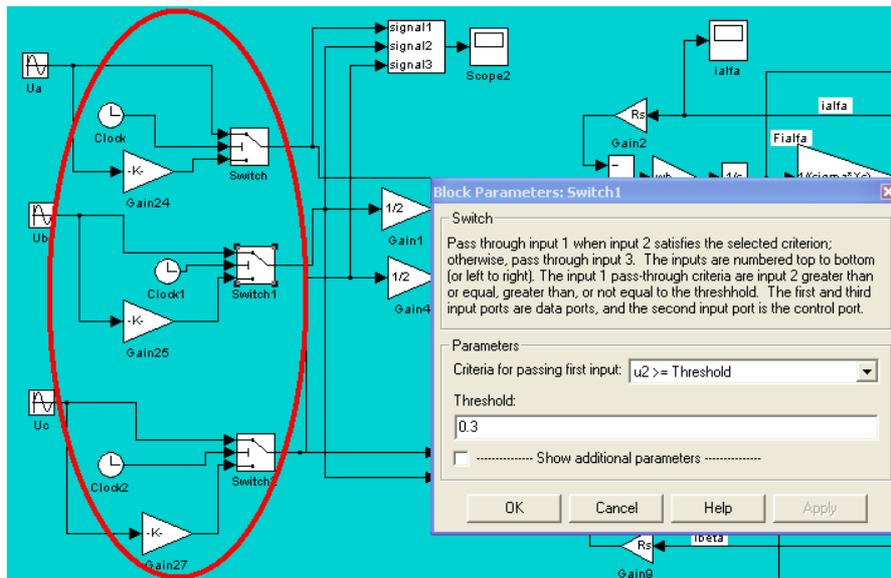


Fig. 6.- Modificación para la simulación del cambio de la tensión de alimentación en el arranque estrella-delta.

El comportamiento de la corriente, el momento y la velocidad se muestran en las figuras 7, 8 y 9, para la puesta en marcha del motor en vacío y al transcurrir un tiempo de 0,6 segundo se le aplica una carga unitaria tipo escalón.

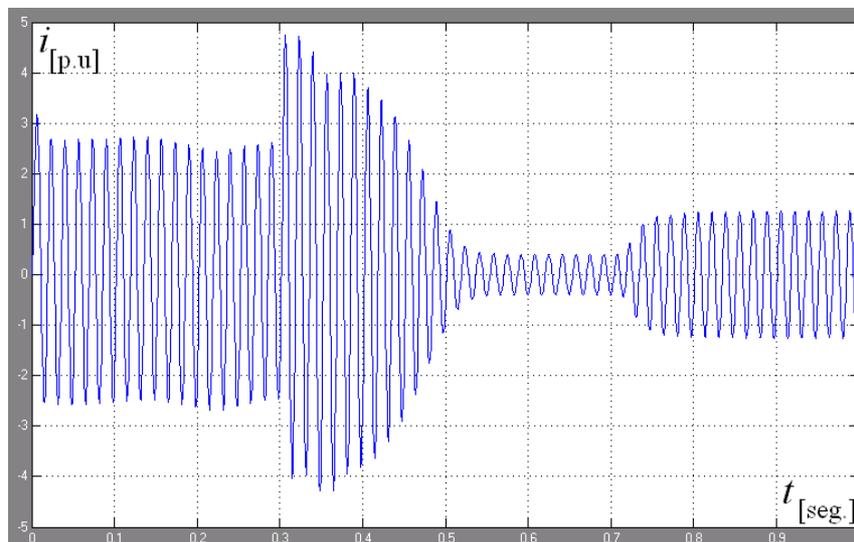


Fig. 7. Comportamiento de la corriente de fase de un motor de inducción mediante el método de arranque de conexión estrella-delta y carga tipo escalón.

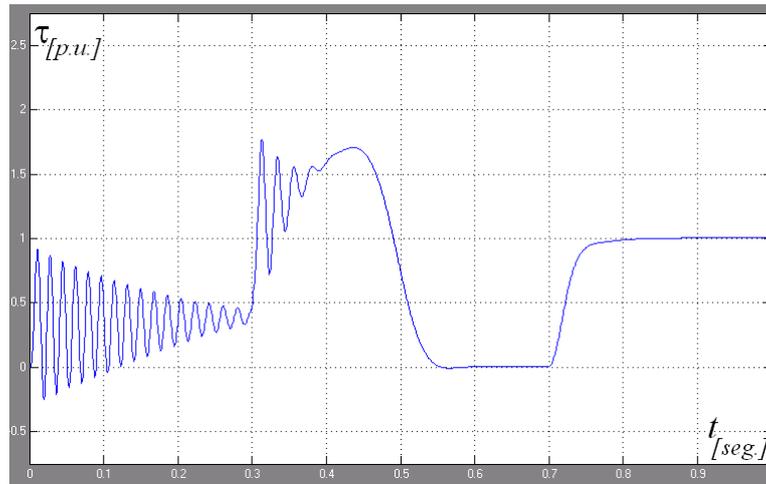


Fig. 8. Comportamiento del momento de un motor de inducción mediante el método de arranque conexión estrella-delta y carga tipo escalón.

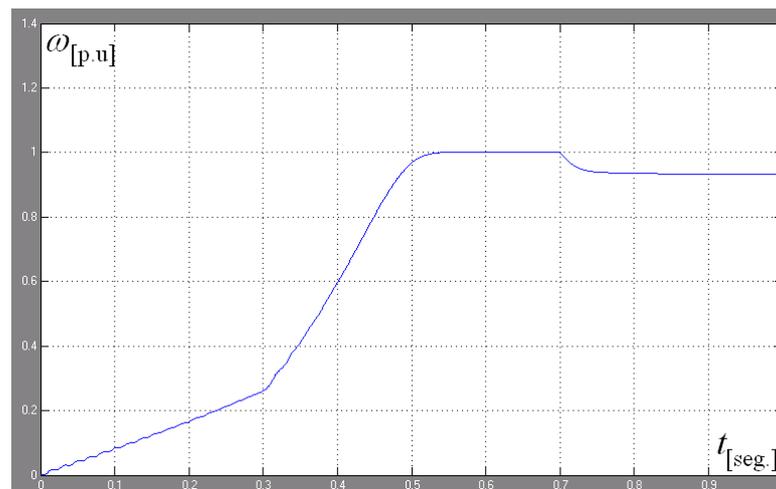


Fig. 9. Comportamiento de la velocidad de un motor de inducción mediante el método de arranque conexión estrella-delta y carga tipo escalón.

Por último también se puede simular el frenado por el contrario-corriente de un motor de inducción. Las modificaciones al diagrama de bloques del modelo se muestran en la figura 10. En este caso también se ha empleado el bloque “switch”. Los dos “switch” de la izquierda en la figura 10, condicionados en tiempo para producir el frenado en un momento dado y los tres de la derecha con la condición de que cuando la velocidad de rotación del motor se haga igual a cero, sea desconectada la alimentación del motor, porque de lo contrario el mismo comenzará a girar en sentido contrario.

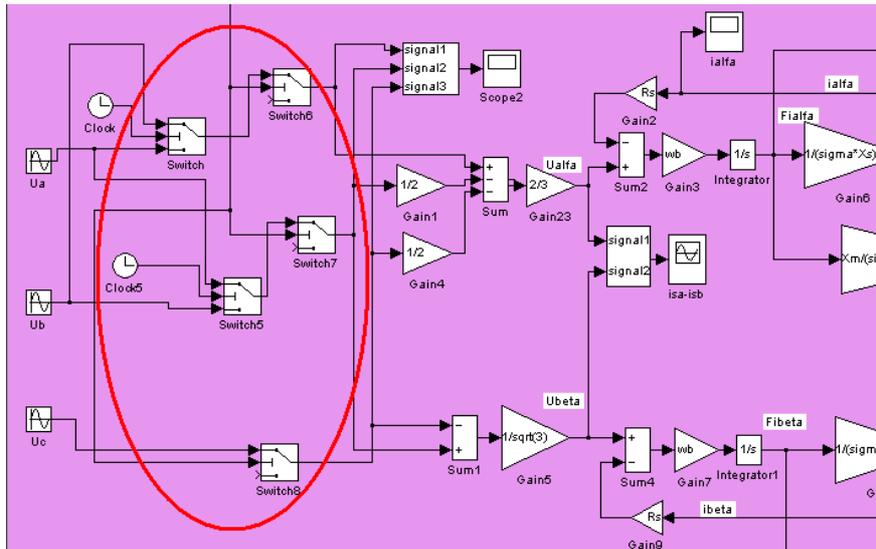


Figura 10.- Modificación para la simulación del cambio de secuencia de la tensión de alimentación en el frenado por contracorriente.

En la figura 11 se muestra el comportamiento de la corriente de un motor asíncrono que arranca en vacío intercalando resistencia en el circuito de armadura, y transcurrido 0,6 seg. se le aplica un momento unitario, y al cabo de un segundo se frena por contracorriente. En las figuras 12 y 13 se muestran el comportamiento del momento y la velocidad de dicho motor.

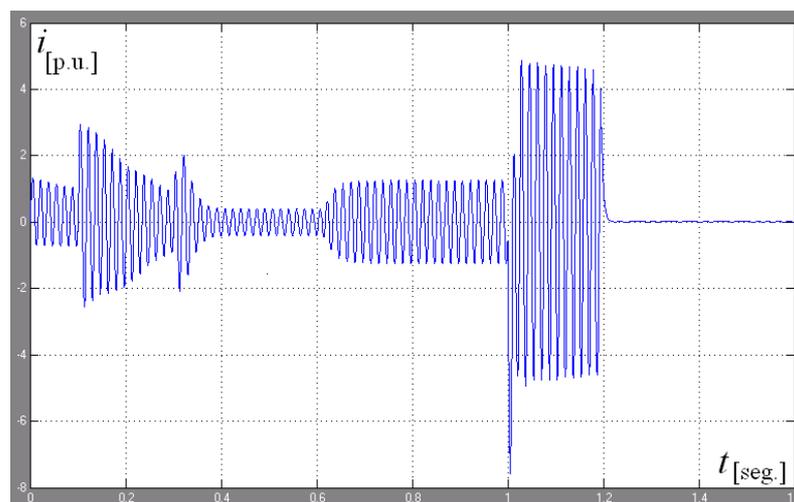


Fig. 11. Comportamiento de la corriente de fase de un motor de inducción mediante el método de arranque insertando resistencia en el circuito del rotor y frenado por contracorriente.

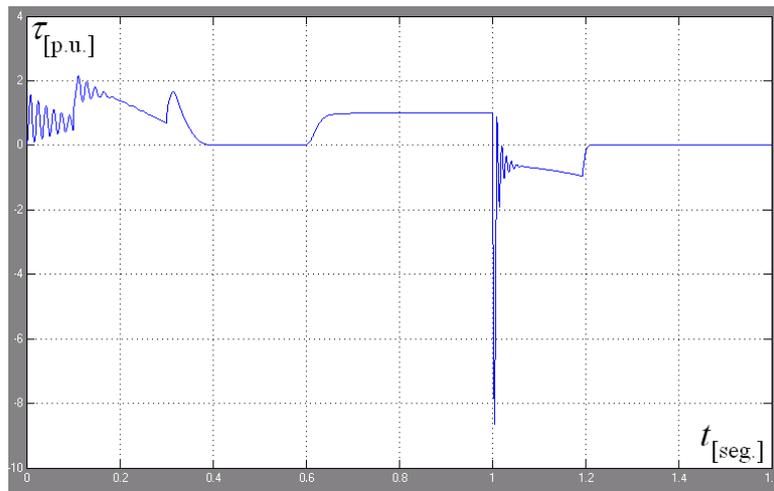


Fig. 12. Comportamiento del momento de un motor de inducción mediante el método de arranque introduciendo resistencia en el circuito del rotor y carga tipo escalón y frenado por contra corriente.

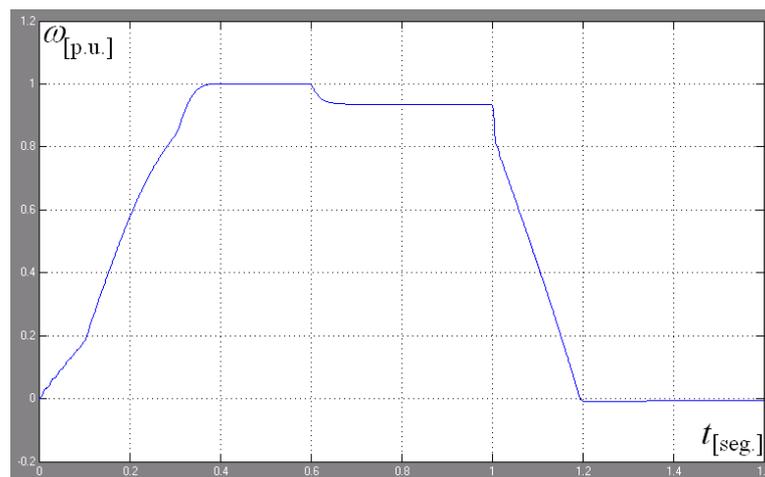


Fig. 13. Comportamiento de la velocidad de un motor de inducción mediante el método de arranque introduciendo resistencia en el rotor y carga tipo escalón y frenado por contracorriente.

CONCLUSIONES

Con el presente trabajo queda demostrado, que con el empleo de las ecuaciones diferenciales del motor asincrónico trifásico, se puede, con cierta facilidad empleando el Simulink de MatLab, obtener el diagrama de bloque que permita analizar el comportamiento de dicho motor. Además se ha demostrado que mediante el empleo de algunos bloques que brinda el Simulink, con bastante facilidad se pueden modelar el comportamiento dinámico del motor asincrónico trifásico en diferentes regímenes de operación que con frecuencia se encuentran en la explotación de dicha máquina, lo que permitiría conocer previamente el comportamiento de dicha máquina, en estos regímenes de explotación.

REFERENCIAS

- [1] SIPAILOV G. A., L. A. V. *Modelación matemática de las máquinas Eléctricas*. vols. УДК 681.332+621.313. Escuela Superior ed. Moscú: 2007. p 150 p.
- [2] CHEE-MUN Ong. *Dynamic Simulation of Electric Machinery using Matlab/Simulink*, Prentice-Hall Inc. 1998 , 325 p. ISBN 0-13-723785-5.
- [3] KOVASH K. P., R. I. *Procesos Transitorios en Máquinas de Corriente Alterna Energética* ed. 1963. 735 p. ISBN 99-5-4 УДК 621.13.3 K56.
- [4] ARAFET PADILLA, Pedro. y. otros. *Introducción al MatLab*. Universidad de Oriente: 2007, 120 p.
- [5] STEVEN T. KARRIS. *Introcution to simulink with Engineering Application*. Editado por: Publication, O. 2006. 572 p. ISBN 9778-0-9744239-B-2.

AUTORES

Héctor Brito Socarrás.

Profesor Titular. Ingeniero Electricista, Master en Ingeniería Eléctrica, trabaja en el Dpto. de Electroenergética de la Facultad de Ing. Eléctrica de la Universidad de Oriente. Cuba.

email: brito@fie.uo.edu.cu

Pedro Arafet Padilla.

Profesor Titular. Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnica, trabaja en el Dpto. de Informática de la Facultad de Ing. Eléctrica de la Universidad de Oriente. Cuba.

email: parafet@fie.uo.edu.cu.