



Control de velocidad de un motor de inducción utilizando un controlador Fuzzy

Madelín Lima
Lázaro Ariel González

Agosto del 2001

Resumen / Abstract

Se realiza la simulación del sistema de control de velocidad del motor de inducción. Se parte del enfoque vectorial y de un sistema de coordenadas adecuado a su futura utilización, utilizando para esto el lenguaje de simulación de sistemas dinámicos Simulink. En cuanto a la simulación del método de control vectorial por campo orientado se ha empleado el denominado método de control vectorial indirecto. El control de la velocidad del motor se simuló utilizando un controlador Fuzzy, comparándose posteriormente estos resultados con los obtenidos mediante la utilización de un controlador PI digital.

Palabras clave: lógica difusa, control de velocidad, motor de inducción

This work carries out the simulation of speed control of induction motor. It is based on the field orientation theory and on a system of coordinates adapted to its future use. The language that has been used for the simulation of dynamics systems is Simulink. The indirect method of the field orientation control theory was used in the mathematical analysis of the induction motor. The speed control of the induction motor was simulated using a Fuzzy controller and these results were compared with those obtained by means of the use of a PI digital controller.

Key words: fuzzy logic, speed control, induction motor

INTRODUCCIÓN

El desarrollo alcanzado por las técnicas de inteligencia artificial y dentro de ellas las técnicas de control Fuzzy ha permitido solucionar los problemas presentes en los controladores convencionales de los accionamientos eléctricos, su incapacidad de capturar las características desconocidas de una carga alrededor de un amplio rango del punto de operación, lo cual dificulta la selección y ajuste del controlador a emplear.

En este trabajo se propone el uso de un controlador Fuzzy para llevar a cabo el control de la velocidad de un motor de inducción. Para la simulación de este sistema fueron utilizados los Toolboxes Simulink y Fuzzy del paquete de programación MATLAB.

DISEÑO DEL SISTEMA MOTOR-VARIADOR

El diagrama en bloques del sistema motor-variador puede apreciarse en la figura 1. Como se observa, este sistema se encuentra constituido por los bloques Motor de Inducción, el cual realiza la simulación del motor de inducción; los bloques Controlador Histerésico, Transformación de Coordenadas y Selector de Flujo, los que representan al variador de velocidad y el bloque Carga, que permite simular diferentes tipos de cargas para el motor.¹

DISEÑO DEL CONTROLADOR FUZZY

Este procedimiento se basa en la forma que un operador toma decisiones² para controlar el sistema variador-motor-carga, lo que depende de la heurística empleada por él dada su experiencia.

Primeramente se hace una definición del sistema de control, donde se decide qué cantidad de variables de entrada y de salida conforman el mismo y dentro de qué intervalos van a variar estas.³⁻⁵

Entre las múltiples posibles variables de entrada al controlador (error de velocidad, EVEL; cambio del error de velocidad, CEVEL; corriente, I; velocidad, VEL; etc.) fueron escogidas el error de velocidad y el cambio del error de velocidad.

El EVEL varía en un universo enmarcado entre [-150, 1 024]. Esta variable está representada por siete funciones de pertenencia como se observa en la figura 2.

La otra variable de entrada escogida fue el CEVEL. Para hallar el universo de variación fue diseñado un controlador con una sola variable de entrada, el error de velocidad. A esta variable le fue conectado un

bloque derivativo y muestreada su salida. De aquí se obtuvo que la variable cambio del error de velocidad queda enmarcada en un universo entre [-15, 15], como se observa en la figura 3.

La variable CEVEL está constituida por tres funciones de pertenencia de tipo triangular ya que solo es necesario representar con esta variable los cambios bruscos en la variable de salida del sistema de control de velocidad.

Como variable de salida del controlador se seleccionó a la señal que gobierna al variador, CONTROL. Esta variable se encuentra enmarcada en un universo de variación entre [-50, 200], y la misma está representada por seis funciones de pertenencia de tipo Solitario, para garantizar un fácil cálculo a la hora de obtener el resultado determinístico de la variable de salida del controlador, además de disminuir el tiempo computacional empleado para obtener el resultado anteriormente mencionado (figura 4).

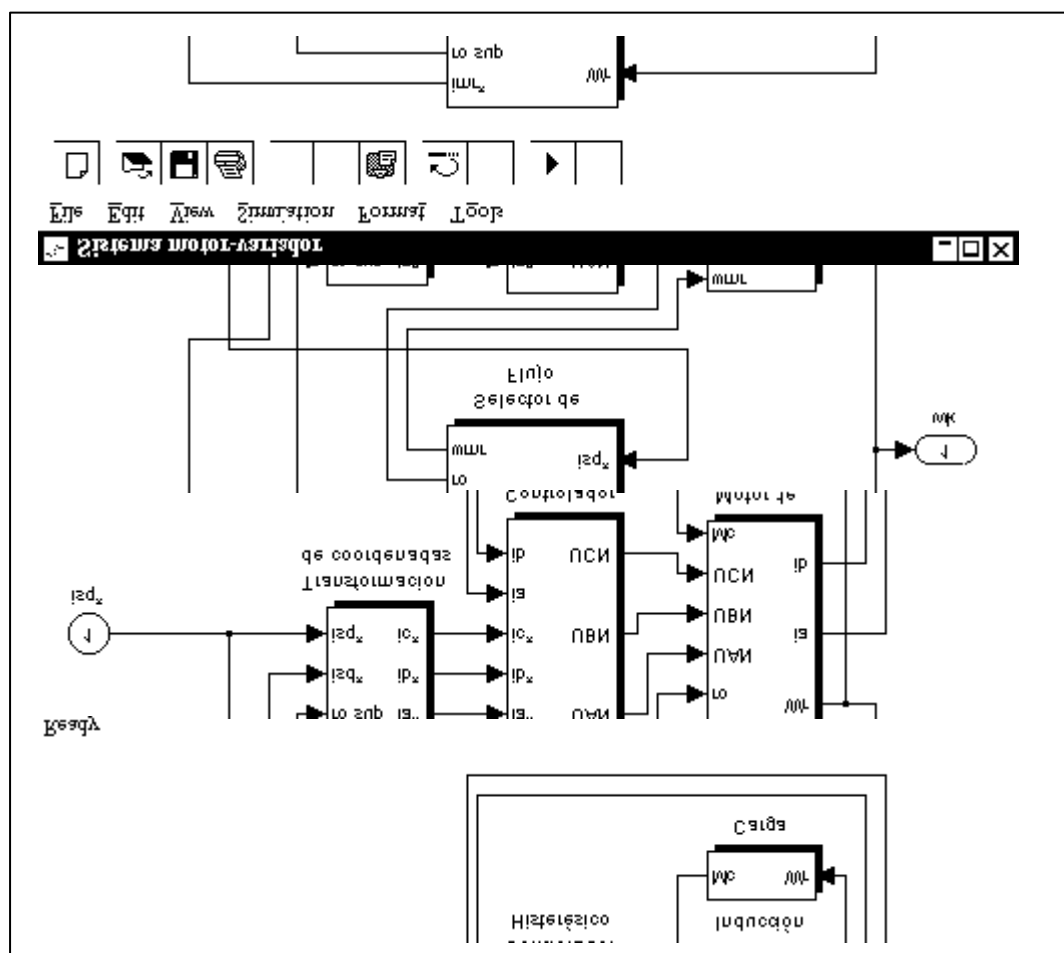
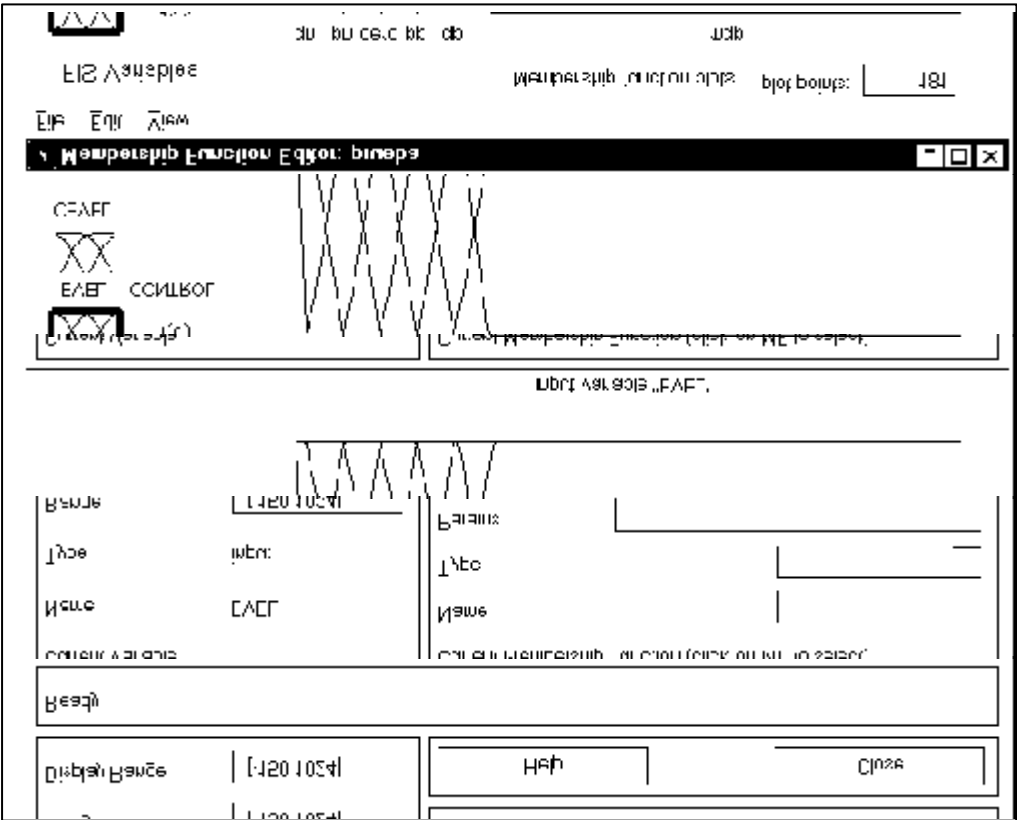
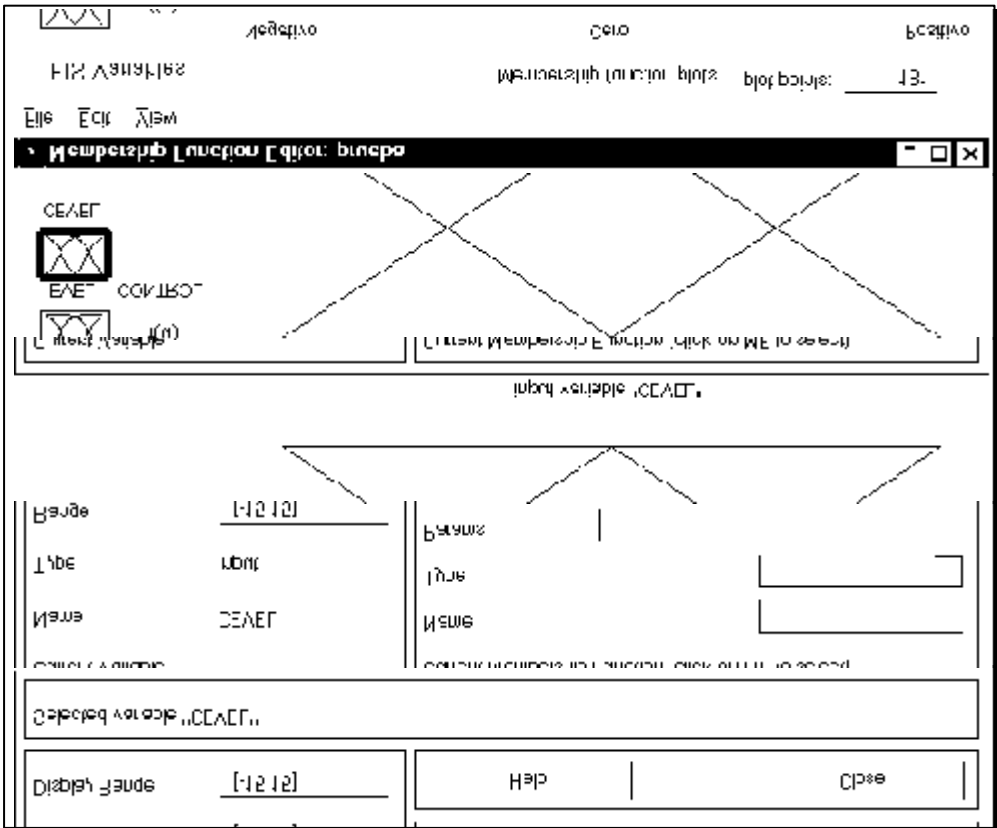


Diagrama en bloques del motor de inducción y del variador de velocidad.



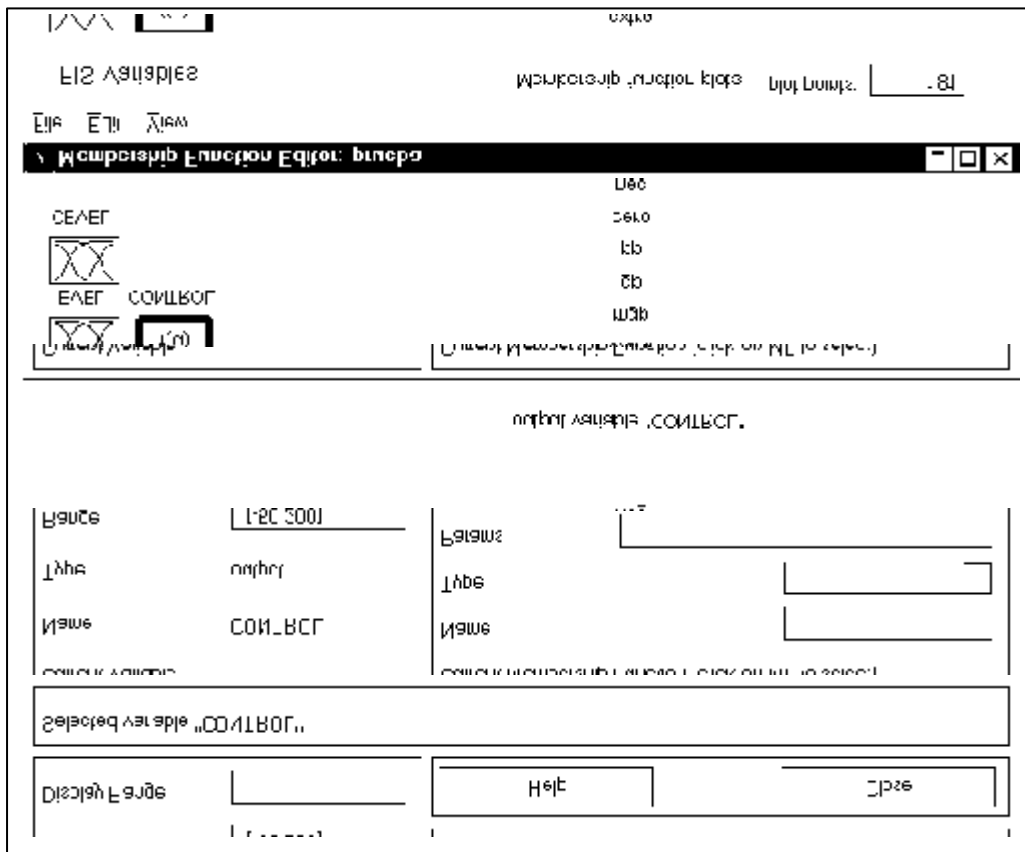
Representación de las funciones de pertenencia de la variable de entrada EVEL.

2



Representación de las funciones de pertenencia de la variable de entrada CEVEL.

3



Representación de las funciones de pertenencia de la variable de salida CONTROL.

4

En el diseño de este controlador fueron utilizadas diez reglas de inferencia para describir la heurística del mismo, dichas reglas se enuncian a continuación:

1. If ENIVEL is gn then CONTROL is neg.
2. If ENIVEL is pn and CNIVEL is negativo then CONTROL is pp.
3. If ENIVEL is pn and CNIVEL is cero then CONTROL is cero.
4. If ENIVEL is pn and CNIVEL is positivo then CONTROL is neg.
5. If ENIVEL is cero then CONTROL is pp.
6. If ENIVEL is pp and CNIVEL is negativo then CONTROL is pp.
7. If ENIVEL is pp and CNIVEL is cero then CONTROL is gp.
8. If ENIVEL is pp and CNIVEL is positivo then CONTROL is mpp.
9. If ENIVEL is gp then CONTROL is mpp.
10. If ENIVEL is mpp then CONTROL is extra.

Por último, se selecciona el método de defuzzificación a utilizar, que en este caso fue el método de ponderación del promedio.

Con estas operaciones, queda terminado el diseño del controlador Fuzzy requerido para regular la velocidad de un motor de inducción con carga variable.

SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD

El sistema de control simulado debe ser capaz de variar la velocidad del motor de inducción desde cero hasta la nominal, garantizando una elevada rapidez de respuesta y poca oscilatoriedad, además de un buen funcionamiento en estado estacionario, por lo cual se diseñó un sistema de control a lazo cerrado con realimentación de velocidad.

Con el objetivo de comprobar la respuesta del sistema y comparar su comportamiento ante dos controladores diferentes se diseñó un controlador PI digital. Dicho controlador se simuló a partir del algoritmo de control en forma de ecuaciones en diferencias finitas.

El sistema de control formado por el controlador Fuzzy-variador-motor de inducción-carga puede observarse en la figura 5.

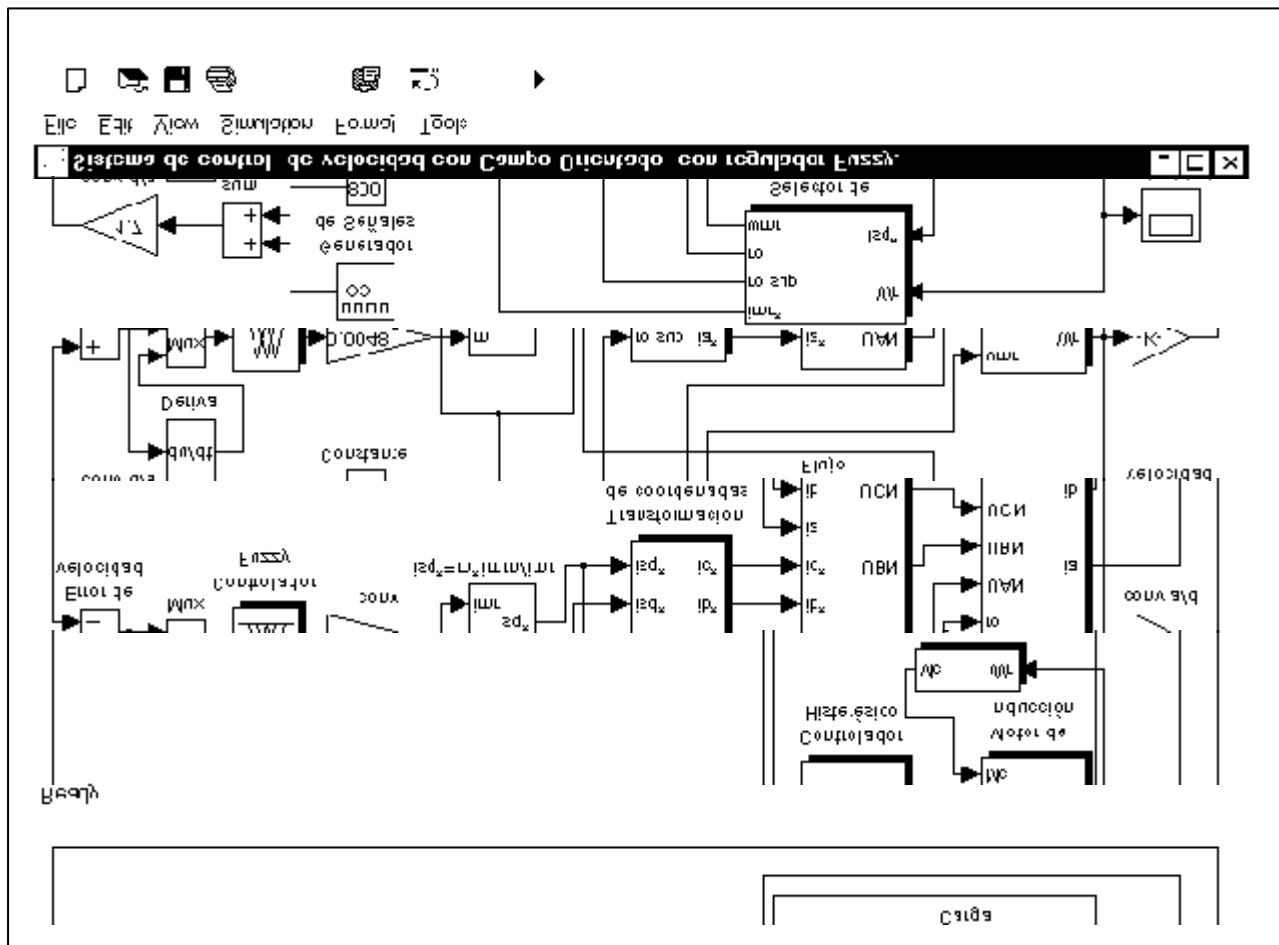


Diagrama en bloques del sistema de control de velocidad del motor de inducción, utilizando un controlador .

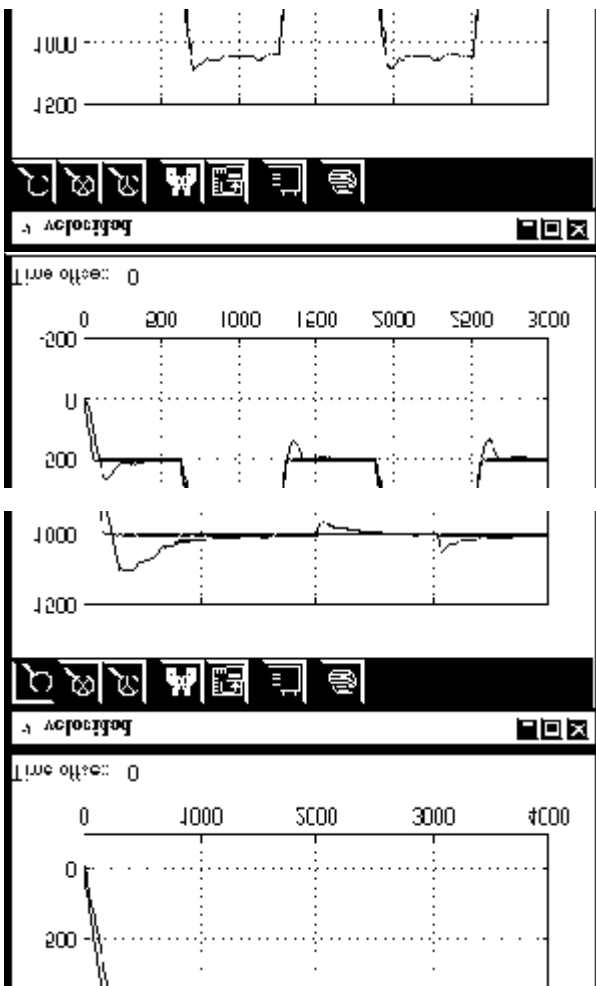
El comportamiento de la variable velocidad, VEL se puede apreciar en la figura 6. Esta respuesta del sistema está dada ante una referencia variable, simulada mediante una señal de onda cuadrada a una frecuencia de 0,005 rad/s.

Para realizar la simulación del sistema utilizando un controlador PI digital, solo es necesario cambiar el bloque que representa al controlador Fuzzy por uno que represente al controlador PI digital. La simulación del comportamiento de la variable de salida del sistema ante variaciones de la señal de referencia antes mencionada también se puede observar en la figura 6.

En ambos casos se ha utilizado una carga lineal. Como puede observarse en la figura anterior, la respuesta de velocidad del sistema cuando se utiliza el controlador Fuzzy es mucho más rápida, presentando un porcentaje de sobreimpulso

prácticamente nulo y un tiempo de establecimiento de 100 unidades, lo que equivale a 0,083 s. En el caso que se utilice el controlador PI digital el porcentaje de sobreimpulso es de 21,2 % y el tiempo de establecimiento de 500 unidades (0,27 s). Es necesario aclarar que el tiempo de corrida de la simulación se encuentra en por unidad debido a que era necesario trabajar el sistema completo con una misma base de tiempo para eliminar la demora en la corrida de la simulación.

En la figura 7 se muestra la respuesta provocada por ambos controladores ante perturbaciones en la carga de 86 N-m y 36 N-m en las 2000 y 3000 unidades de tiempo respectivamente, siendo el momento de carga nominal igual a 45 N-m. En ambos casos puede apreciarse que en el sistema en el cual se utiliza el control Fuzzy la respuesta de velocidad sigue de forma casi exacta a la referencia.



--- Señal de referencia

— Velocidad del motor regulada con controlador PI digital

— Velocidad del motor regulada con controlador Fuzzy

Simulación de la velocidad del motor de inducción ante variaciones de la referencia.

6

--- Señal de referencia

— Velocidad del motor regulada con controlador PI digital

— Velocidad del motor regulada con controlador Fuzzy

Simulación de la velocidad del motor de inducción ante variaciones de la carga.

7

CONCLUSIONES

En este trabajo se modeló y simuló el comportamiento de un motor de inducción de 5,5 kW y 1160 r/min y de un variador de velocidad utilizándose para esto el método de control vectorial del cual se obtuvieron muy buenos resultados.

Fue diseñado un controlador Fuzzy mediante diez reglas de inferencia y con la selección de dos variables de entrada y una de salida, configuración esta que permite resultados satisfactorios como los observados en las figuras 6 y 7.

El comportamiento del sistema de control de velocidad mejora ostensiblemente con el uso de un controlador Fuzzy. Ante variaciones en el tipo de carga y de la magnitud de esta se puede apreciar que el controlador Fuzzy no sufre desperfectos en su estructura de control, mientras que el controlador PI digital no funciona correctamente ante determinadas condiciones.

REFERENCIAS

1. Lima Álvarez, Madelín; Ángel Costa Montiel y Miriam Vilaragut Llanes: "Simulación del motor de inducción controlado por campo orientado

utilizando Simulink", *Ingeniería Energética*, Vol. XX, No. 2, Ciudad de La Habana, 1999.

2. Zadeh Lofti, A.: "Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes", *IEEE Transactions Systems, Man and Cybernetics*, No. 1, pp. 28 - 44, January, 1973.
3. *Fuzzy Logic: Education Program 2.0*, Center for Emerging Computer Technologies, Motorola, Inc.; 1996.
4. Li-Xin, Wang: *A Course in Fuzzy Systems and Control* (fotocopia), 1997.
5. Roger Jang, J. and Ned S. Gulley: *Matlab; Fuzzy Logic Toolbox; User's Guide. Version 1*; 1997.

AUTORES

Madelín Lima Álvarez, Ingeniera Electricista, Máster en Ingeniería Eléctrica, Instructora, Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (ISPJAE), Ciudad de La Habana
e-mail: made@cipel.ispjae.edu.cu

Lázaro Ariel González Hernández, Ingeniero en Control Automático, Máster en Automática, Agencia Empleadora, CORALAC SA, Ciudad de La Habana