

**ARTIFICIAL INTELLIGENCE CONTROL USING FUZZY LOGIC APPLY TO AN FIELD
ORIENTED CONTROLLED INDUCTION MOTOR****CONTROL INTELIGENTE UTILIZANDO LOGICA FUZZY DE UN MOTOR DE
INDUCCIÓN CONTROLADO POR CAMPO ORIENTADO**

MSc. Jorge Luis Díaz Rodríguez, PhD. Aldo Pardo García
MSc. Tania Acevedo Gauta

Universidad de Pamplona

Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia.
Tel.: 57-7-5685303, Fax: 57-7-5685303, Ext. 156
E-mail: {jdiazcu, apardo13, tlacevedo}@unipamplona.edu.co

Abstract: This paper deals with the design, analysis and simulation of an induction motor speed control system using a Fuzzy Logic Controller (FLC). This starts from the simulation of the induction motor with the field oriented control (Vector Control) with the adequate coordinate transformation (rotor flux). The direct field oriented control method was the selected scheme for the simulation. The fuzzy speed controller design was shown and the resulting system was simulated in closed loop. Finally, the simulation results of the speed control system with the fuzzy logic controller was compared and analyzed with the simulation results of the same system with a classical digital PI controller.

Resumen: Este trabajo se basa en el diseño, análisis y simulación de un sistema de control de velocidad del motor de inducción utilizando un Controlador por Lógica Fuzzy (FLC). Se empieza desde la simulación del motor de la inducción en campo orientado (Control Vectorial) en lazo abierto escogiendo la transformación de la coordenada adecuada (flujo del rotor). El método de control por campo orientado seleccionado fue el método directo. Se ilustra la metodología de diseño del controlador Fuzzy, y se simula el sistema resultante en lazo cerrado. Finalmente, se compara los resultados de la simulación obtenida con la del mismo sistema pero con controlador PI discreto clásico.

Keywords: Induction motor, field oriented control, fuzzy logic controller (FLC), PID control.

1. INTRODUCCIÓN

La utilización de los métodos de Control Vectorial por Campo Orientado ha permitido sustituir los motores de CD, los que son, grandes, caros y de mantenimiento periódico, por los motores de inducción jaula de ardilla, siendo estos más baratos y robustos.

También, el avance experimentado dentro del campo de la electrónica de potencia, los microprocesadores y de la electrónica digital, el uso de este tipo de control comienza a incrementarse, permitiendo obtener buenas prestaciones en cuanto a su respuesta dinámica.

No obstante, en la actualidad estas técnicas continúan siendo ineficientes cuando existen

incertidumbres en los parámetros del sistema o la carga, ya que una de las principales deficiencias de los controladores convencionales, presentes en los accionamientos eléctricos, es la incapacidad de capturar las características desconocidas de una carga alrededor de un amplio rango del punto de operación. Esto dificulta la selección y ajuste del controlador a emplear. El desarrollo alcanzado por las técnicas de Inteligencia Artificial y dentro de ellas las técnicas de control fuzzy ha permitido solucionar estos problemas.

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 fue utilizado el software Simulink® y para el diseño del controlador fuzzy la *Fuzzy Logic Toolbox*, ambas herramientas del software profesional Matlab®.

2. SISTEMA MOTOR - CONVERTIDOR

El diagrama en bloques del sistema motor-convertidor de velocidad puede apreciarse en la Fig. 1. Como se observa este sistema se encuentra constituido por los bloques “Motor de Inducción”, los bloques “Controlador Histerésico”, “Transformación de Coordenadas” y “Selector de Flujo” los que representan al convertidor de velocidad y el bloque “Carga”, que permite simular diferentes tipos de cargas del motor.

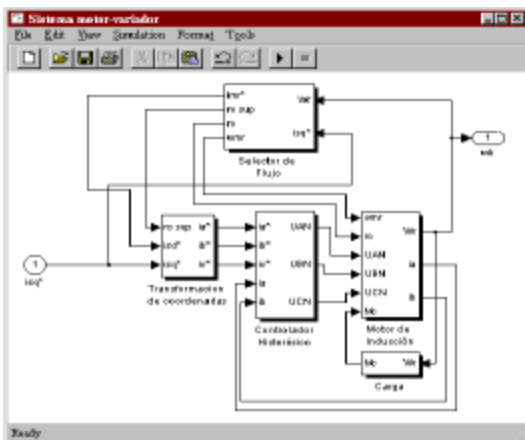


Fig. 1. Diagrama en bloques del motor de inducción y del convertidor de velocidad

Para realizar la simulación del motor de inducción se partió de las ecuaciones eléctricas y mecánicas que definen su comportamiento.

En el planteamiento matemático de dichas ecuaciones se utilizó un sistema de coordenadas que gira a velocidad sincrónica. Se escogió este sistema de referencia ya que con él el control del flujo se realiza únicamente a través de la corriente del estator en el eje d (i_{sd}), disponiendo de la corriente del estator en el eje q (i_{sq}) para controlar el par. En este bloque se incluyó la simulación de la transformación de coordenadas necesaria entre las variables trifásicas reales del motor y las variables utilizadas en el modelo bifásico.

El bloque “Controlador Histerésico” está compuesto por el regulador histerésico y el inversor. Se utilizó un inversor como fuente de corriente ya que de esta forma las ecuaciones de tensión del estator en Campo Orientado no son necesarias, lo cual simplifica notablemente el control y se elimina el acople que aparece en el caso de los esquemas alimentados en tensión.

El bloque “Selector de Flujo” tiene como función determinar la corriente magnetizante del rotor (i_{MR}) y obtener el ángulo de desacople. Además de incluir en este bloque la programación para compensar el efecto de defasaje, que existe entre las corrientes reales y de referencia.

Debido a que las corrientes de referencia para controlar el flujo o el par se encuentran en coordenadas de campo orientado y para que estas corrientes puedan servir de referencia al controlador histerésico, es necesario realizar la transformación de coordenadas de los ejes d y q a coordenadas del estator, ya que físicamente el controlador es realizado con dispositivos analógicos por los que las corrientes de entrada deben encontrarse en el sistema trifásico. Para ello se utiliza el bloque denominado “Transformación de coordenadas” y en su programación se utilizaron las ecuaciones de transformación de sistemas bifásicos a trifásicos.

2. DISEÑO DEL CONTROLADOR FUZZY

Este procedimiento se basa en la forma que un operador toma decisiones para controlar el sistema convertidor-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 que cantidad de variables de entrada y de salida conforman el mismo y dentro de que intervalos van a variar estas [4, 5, 6].

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 escogidos el error de velocidad y el cambio del error de velocidad.

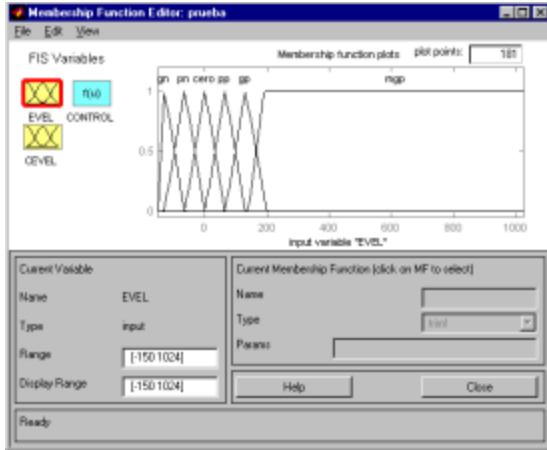


Fig. 2. Representación de las funciones de pertenencia de la variable de entrada EVEL

El EVEL varía en un universo enmarcado entre [-150, 1024]. Esta variable está representada por siete funciones de pertenencia como se observa en la Fig. 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], Fig. 3.

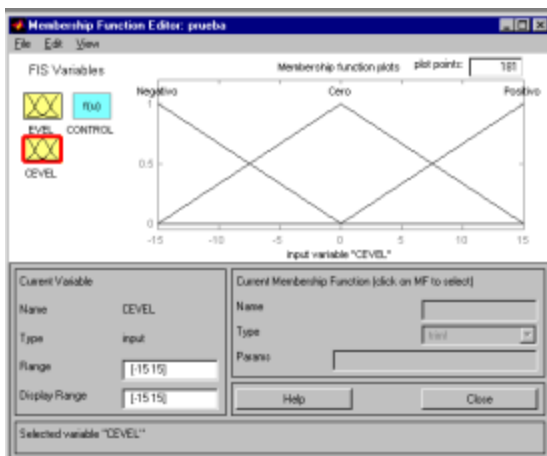


Fig. 3. Representación de las funciones de pertenencia de la variable de entrada CEVEL

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 convertidor, 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, Fig. 4.



Fig. 4. Representación de las funciones de pertenencia de la variable de salida CONTROL

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 mgp.
9. If ENIVEL is gp then CONTROL is mgp.
10. If ENIVEL is mgp 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.

Dando por terminado, con estas operaciones, el diseño del controlador fuzzy requerido para regular la velocidad de un motor de inducción con carga variable.

3. 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 - convertidor - motor de inducción - carga puede observarse en la Fig. 5.

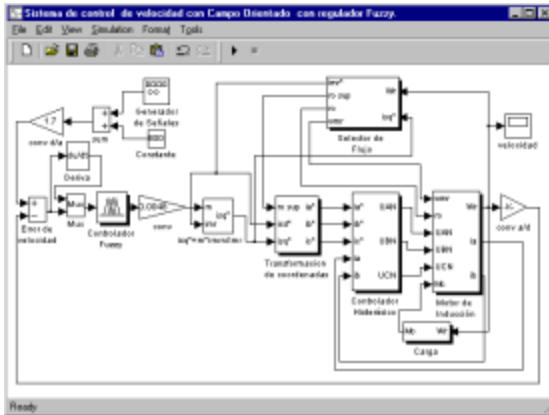


Fig. 5. Diagrama en bloques del sistema de control de velocidad del motor de inducción, utilizando un controlador Fuzzy

El comportamiento de la variable velocidad, VEL se puede apreciar en la Fig. 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/seg.

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 Fig. 6. En ambos casos se ha utilizado una carga lineal.

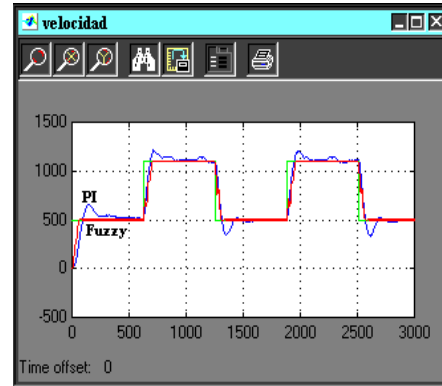


Fig. 6. Simulación de la velocidad del motor de inducción ante variaciones de la referencia

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 seg. 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 seg). 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 Fig. 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 la carga la 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.

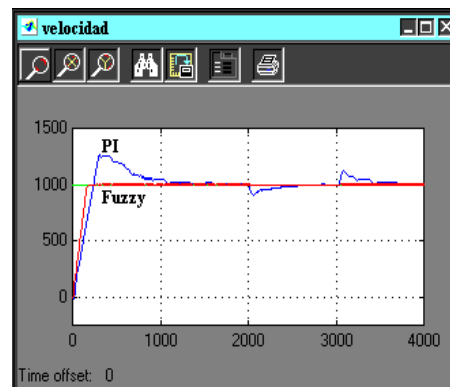


Fig. 7. Simulación de la velocidad del motor de inducción ante variaciones de la carga

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se modeló y simuló el comportamiento de un motor de inducción de 5.5 kW y 1160 rpm y de un convertidor 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 Fig. 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 determinados parámetros.

REFERENCIAS

- Briz del Blanco, F. *Control vectorial de un motor de inducción con identificación y adaptación a los parámetros de la carga*. Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo (España), 1995.
- Fuzzy Logic. Education Program 2.0. Center for Emerging Computer Technologies, Motorola Inc.; 1996.
- Holtz, J. "Pulsewidth Modulation for electronic Power Conversion"; IEEE Trans. on Electronics; Vol.82; August, 1994.
- Li-Xin Wang, *A Course in Fuzzy Systems and Control*, 1997.
- Pardo, A; Díaz, J. L. *Fundamentos en Sistemas de Control Automático*. Universidad de Pamplona. 2004.
- Roger Jang, J. S., Gulley Ned. *Matlab: Fuzzy Logic Toolbox*. User's Guide. Version 1; 1997.
- Zadeh Lofti A., "Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes"; IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics; No. 1; p. 28-44; Jan 1973.