

**INDIRECT FIELD ORIENTED VECTOR CONTROL SIMULATION OF AN
INDUCTION MOTOR****SIMULACIÓN DE SISTEMAS DE CONTROL INDIRECTO POR CAMPO
ORIENTADO DEL MOTOR DE INDUCCIÓN****Msc. Jorge Luis Díaz Rodríguez., Dr. Aldo Pardo García***Universidad de Pamplona.**Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia.**Tel: 57-7-5685303, Fax: 57-7-5685303 Ext. 156**E-mail: {jdiazcu, apardo13}@unipamplona.edu.co*

Abstract: This paper deals with the simulation of the behavior several schemes of Field Oriented Vector Control of an Induction Motor for different conditions and control. The simulation was made with the use of an IBM PC Pentium II using Matlab[®] and Simulink[®] as simulation language.

Resumen: En este trabajo se muestra la simulación del comportamiento varios esquemas de control vectorial por campo orientado para diferentes condiciones y tipos de control. La simulación se hizo con ayuda de una microcomputadora IBM PC Pentium II empleando el Matlab[®] y el Simulink[®] como lenguaje de simulación.

Keywords: Induction Motor, Vector Control, Field Oriented Control, Simulation..

1. INTRODUCCIÓN

Las técnicas de control vectorial de motores de alterna surgieron como respuesta a un problema industrial claro: sustituir los motores de CD en aplicaciones a velocidad variable por motores de alterna y entre éstos, preferentemente, por motores de inducción.

La motivación era evidente; el motor de inducción supera al de CD en robustez, relación peso - potencia y velocidad máximas. El problema radicaba en su compleja dinámica frente a la sencillez del motor de CD.

Además, una tendencia actual en la investigación y estudio de estos sistemas de accionamiento eléctrico, dado el desarrollo alcanzado en los métodos computacionales, es la simulación. La simulación es de gran importancia teórica, para analizar cuestiones concernientes a aspectos prácticos de implementación de este tipo de control.

Se centró en el estudio del control por campo orientado indirecto, ya que es el de más fácil implementación práctica, barato y con él, se obtiene un comportamiento muy satisfactorio de los indicadores finales del sistema de control. A lo largo de este trabajo se considera la referencia de flujo en la operación a flujo constante, cuestión esta

que simplifica aún más el esquema de control.

2. SIMULACIÓN DEL MOTOR DE INDUCCIÓN

Para la elaboración de los programas primeramente se simuló que el modelo motor, el cual puede expresarse como se trata en la literatura al respecto(Bose, B. K. 1986, Díaz Rodríguez, J. L. UCLV, 2000, Leonhard, W. 1985, y k Vas, P. 1990). El modelo utilizado fue en coordenadas de estator que tiene como principal ventaja sobre los otros sistemas de coordenadas de referencia de que no hay que utilizar la transformaciones de coordenadas directa e inversa, razón por la cual seleccionamos para la simulación el modelo en este sistema de coordenada.

Se modeló el motor para cuando es alimentado por voltaje y corriente. Ya que analizó los casos de imposición ideal de corriente, donde las entradas al modelo del motor deben de ser las corrientes e imposición real de corriente donde, en este último caso, las entradas al modelo del motor deben de ser los voltajes.

3. IMPOSICIÓN IDEAL DE CORRIENTE EN SINTONÍA

Como es conocido en el control por campo orientado indirecto, la orientación del flujo del rotor se asegura por el cálculo de deslizamiento a partir de las componentes del par y flujo de la corriente del estator. Este cálculo involucra los parámetros de inductancia y resistencia del rotor que varían en función, principalmente, de la saturación del medio magnético y de la temperatura del rotor, respectivamente. En esta sección se considera como premisa que la constante de tiempo del rotor permanece constante, o sea que el control va a operar en la condición de sintonía.

Además, como se planteó anteriormente se considera la imposición ideal de corrientes, de modo, que las corrientes reales del motor coincidan exactamente con sus respectivas referencias, obtenidas por el control, o lo que es lo mismo, no se toman en cuenta los efectos no lineales del convertidor.

3.1 Operación en lazo abierto

En el programa de simulación elaborado para este caso no presenta ningún lazo de regulación, y es como se muestra:

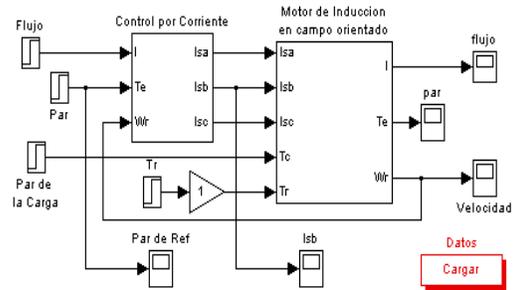
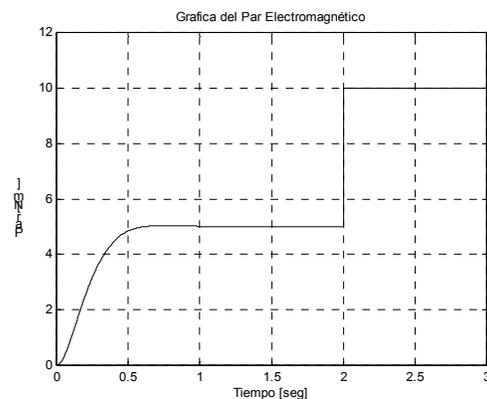


Fig. 1. Control por corriente en lazo abierto

Donde los bloques del *control por corriente* y el *motor de inducción* son en *campo orientado* en corriente, se implementan a partir de las relaciones establecidas en el motor en campo orientado(Bose, B. K. 1986, Briz, F. 1995 , Díaz Rodríguez, J. L. UCLV, 2000, Ho, E. Y.; Sen P. C. May 1988, Leonhard, W. 1985, Leonhard, W. 1985 y Vas, P. 1990).

Y Simulando el esquema, teniendo en cuenta que para mostrar la variación del par independiente del flujo, se introduce una variación paso unitario al par de la carga de 5 a 10 Nm en 2 seg.,

Esto último con el objetivo de validar el desacople existente en el control vectorial por campo orientado entre el flujo y el par, ya que este último al variar no influye en nada en la respuesta del flujo, como se puede observar en las siguientes figuras.



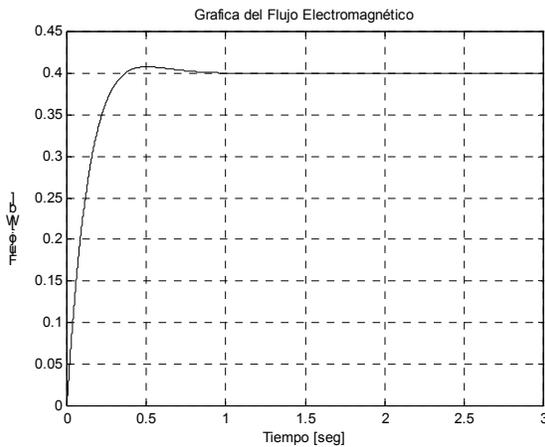


Fig. 2. Simulación con control de corriente en lazo abierto

Donde se nota claramente el desacoplo entre el flujo y el par electromagnético, pues una variación en el par no afecta en lo absoluto el valor de flujo, que permanece constante.

3.2 Operación en lazo cerrado

El programa elaborado es muy similar al anterior, sólo que la referencia del par estará dada en este caso por la salida del regulador de velocidad, o sea con operación a lazo cerrado de velocidad. El regulador de velocidad es un regulador convencional tipo proporcional – integral (PI), y esta ubicado como se muestra en la figura.

Para mostrar la regulación se le introduce una variación paso unitario al par de la carga de 5 a 10 Nm en 15 seg, con el objetivo de observar la regulación de la velocidad por parte del regulador, o sea, en otras palabras observar el rechazo al disturbio del sistema a lazo cerrado. Manteniéndose, por supuesto el desacoplo entre el flujo y el par. Como referencia se tomó 300 rad/seg.

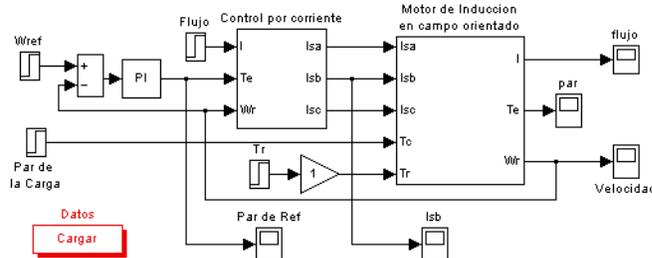


Fig. 3: Control por corriente en lazo cerrado

El bloque del motor de inducción en campo orientado se mantiene y el de control por campo orientado sufre una ligera modificación, que consiste en agregar un bloque de primer orden con ganancia unitaria y constante de tiempo igual a la

constante de tiempo del rotor, que multiplica al flujo antes de calcularse el deslizamiento.

Con este bloque se logra que la respuesta de flujo no sea oscilatoria al principio (flujo compensado), sino muy parecida al comportamiento en lazo abierto como se puede observar en los resultados de la simulación.

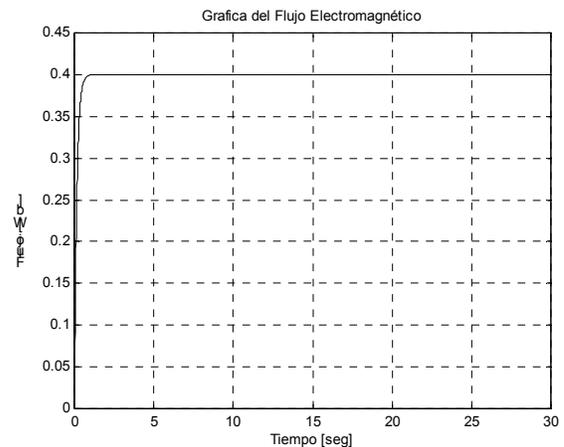
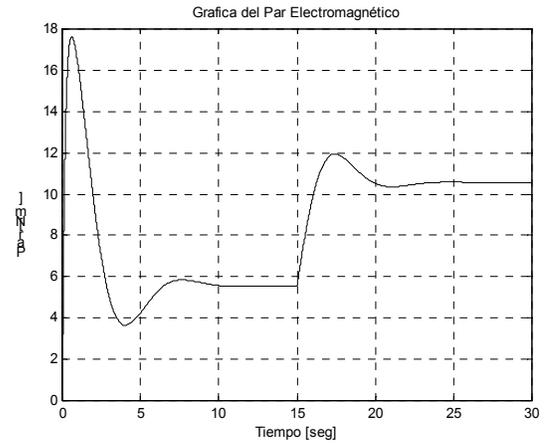


Fig. 4. Simulación de la simulación en corriente a lazo cerrado

Donde se nota, al igual que en la operación en lazo abierto, el desacoplo entre el flujo y el par.

4. IMPOSICIÓN REAL DE CORRIENTE EN SINTONÍA

En este caso se simuló el sistema de control vectorial por campo orientado teniendo en cuenta el convertidor (comportamiento real). Los esquemas escogidos son convertidores con modulación PWM regulados por corriente (CRPWM), que aunque el convertidor PWM es un convertidor de voltaje,

cuando trabaja con regulador de corriente, su comportamiento es semejante al convertidor de corriente, si se garantiza reguladores de corriente con un ancho de banda grande, aprovechando así la ventajas de los esquemas de control por corriente en campo orientado.

4.1 Esquema CRPWM con regulador histerésico

Este primer caso responde al primer tipo de regulador de corriente CRPWM, el cual además es el de más fácil implementación y por tanto ampliamente difundido, pues consiste en la conocida técnica de reguladores bang-bang, cuya salida es una comparación con una banda de histéresis prefijada, que mientras menor sea, mejor va hacer la oscilaciones del par electromagnético.

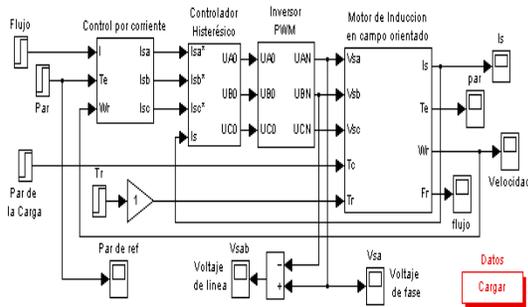


Fig. 5. Control con convertidor CRPWM histerésico

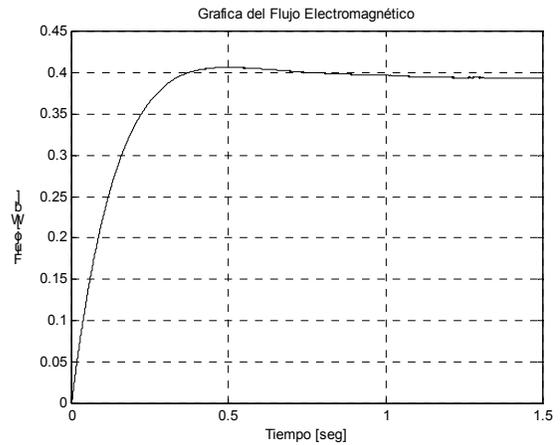
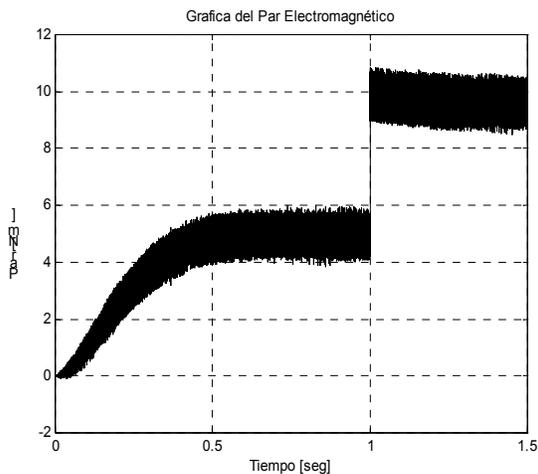


Fig. 6. Simulación con convertidor CRPWM histerésico

Como se puede observar de los resultados de la simulación, la respuestas de par tiene componentes de alta frecuencia debido a la conmutación en los dispositivos de potencia que son conmutados cuando llegan al limite superior o inferior de la banda de histéresis.

4.2 Esquema CRPWM con regulador estacionario (suboscilatorio)

Este es un segundo caso, el cual además es también de fácil implementación, y consiste en pasar la salida del error de corriente a través de un regulador PI. Y finalmente comparar esta con una onda triangular (portadora) de más alta frecuencia, cuya salida va a los dispositivos de potencia del convertidor.

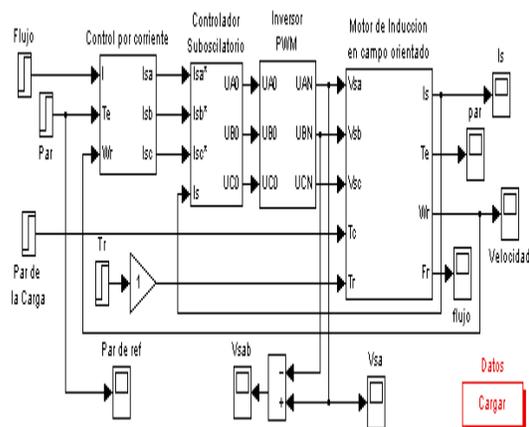


Fig. 7. Control con convertidor CRPWM suboscilatorio

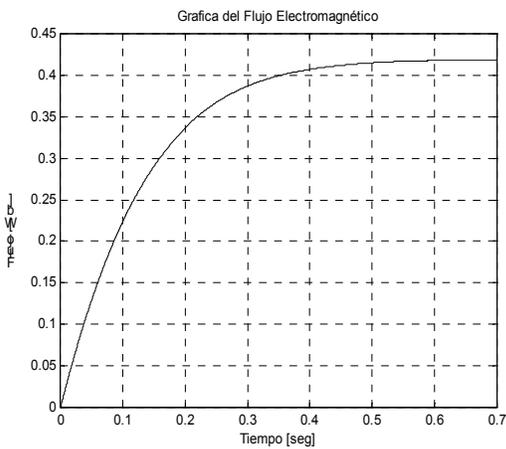
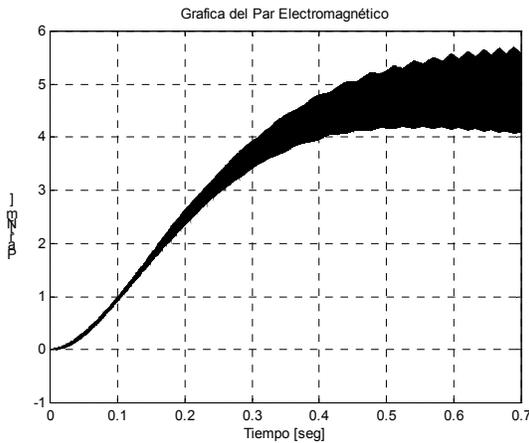


Fig. 8. Simulación con convertidor CRPWM suboscilatorio

4.3 Esquema CRPWM con regulador sincrónico

Este último caso es el de mayor complejidad de implementación práctica de los tres, pero como se puede observar es el de mejor respuesta dinámica. A continuación se muestra el programa utilizado en la simulación.

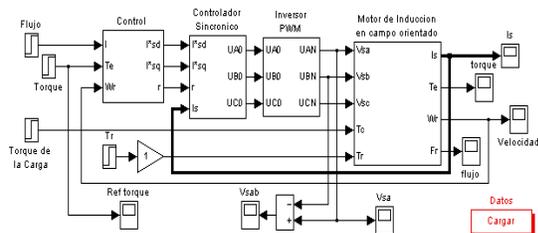


Fig. 9. Control con convertidor CRPWM sincrónico

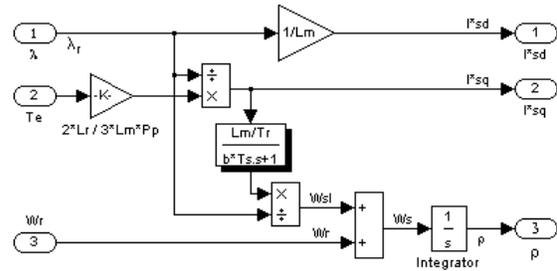


Fig. 10. Bloque "Control"

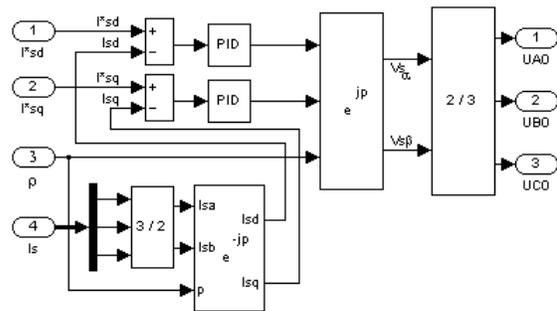


Fig. 11. Bloque "Controlador Sincrónico"

Como se puede observar, el regulador de corriente va a estar compuesto por los dos reguladores PI convencionales, de las corrientes del estator de los ejes directos y en cuadratura, los cuales tienen como entrada la diferencia entre la señal de referencia de corriente del control y la corriente real medida en el motor, convertidas en coordenadas del campo para poder restarlas a las de referencia.

A diferencia del regulador suboscilatorio, la regulación en este regulador de corriente se hace en coordenadas del campo y no en las coordenadas estacionarias, por lo que las señales de entrada a los reguladores PI, en este caso, son valores constantes y no sinusoides, como en el caso del regulador suboscilatorio, eliminando con esto el posible error en estado estable.

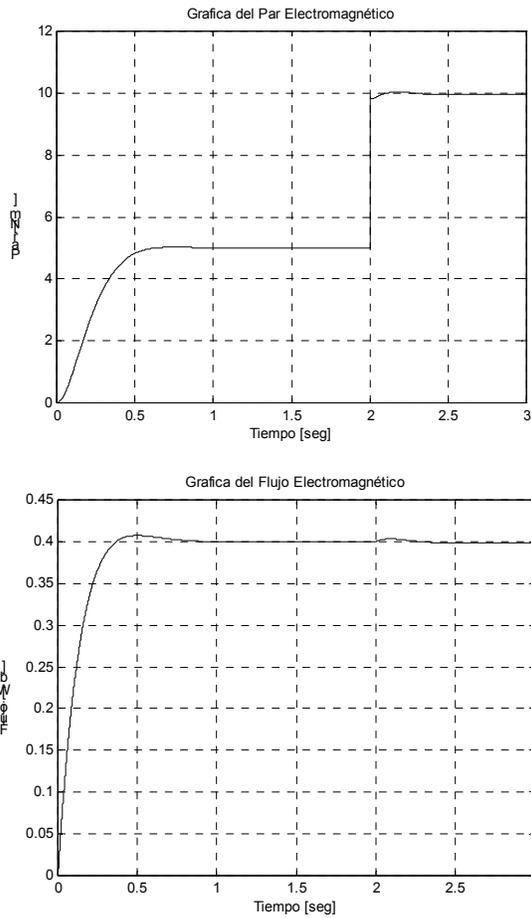


Fig. 12. Simulación con convertidor CRPWM sincrónico

5. CONCLUSIONES

1. En este trabajo se han expuesto los resultados de la simulación a varios esquemas de control vectorial por campo orientado centrandolo el estudio al esquema indirecto.
2. Este trabajo sirve para una mejor comprensión de los aspectos relacionados con el comportamiento del motor en campo orientado. Con la simulación se demostró que con el control vectorial por campo orientado se logra un verdadero desacople.
3. Se simularon los esquemas de control con los convertidores más utilizados,

obteniéndose los resultados de la simulación, los cuales nos ayudan a establecer una comparación entre ellos.

4. Finalmente, los resultados de la simulación pueden emplearse además del diseño y análisis de la operación de los sistemas de accionamientos eléctricos con campo orientado, como una herramienta más para la enseñanza de estas temáticas.

REFERENCIAS

- Bose, B. K. 1986, *Power Electronics and AC drives*, Prentice-Hall, NJ.
- Briz, F. 1995, *Control Vectorial del Motor de Inducción con Identificación y Adaptación a los Parámetros de la carga*. Tesis doctoral, Universidad de Oviedo.
- Díaz Rodríguez, J. L. UCLV, 2000 *Control por campo orientado del motor de inducción con adaptación de parámetros por modelo de referencia*. Tesis de Maestría.
- Ho, E. Y. Y.; Sen P. C. May 1988, "Decoupling Control of Induction Motor Drive", *IEEE Trans. Ind. Elect.*, Vol. IE-35, No. 2, pp. 253-262.
- Leonhard, W. 1985, *Control of Electrical Drives*, Springer-Verlag, Heidelberg.
- Leonhard, W. 1985. *Control Vectorial del Motor de Inducción por Campo Orientado*. Trabajo de Diploma, Camagüey: Universidad de Camagüey.
- Vas, P. 1990. *Vector Control of AC Machines*, Oxford Science Publications, New York..