

# Circuito Integrado ASIC para el Control Vectorial-Borroso de un Motor de Inducción Destinado a Accionamiento de Tráfico Vertical

J. L. Mora, F. Colodro., F. Barrero, A. Torralba, E. Galván y L. G. Franquelo (1), M. Barranco (2)

(1) Dpto de Ingeniería Electrónica, Univ. de Sevilla,

(2) Dpto I + D Mecanismos y Accesorios, S.A.

Avda Reina Mercedes s/n, 41012-Sevilla (SPAIN)

phone: +34-5-4556873 ; fax: +34-5-4556849 ; e-mail: galvan@gtx02.us.es

**Abstract**— Con este trabajo se describe el diseño de un circuito integrado ASIC para el Control Vectorial-Borroso de un Motor de Inducción Destinado a Accionamiento de Tráfico Vertical. Se presentan, además, algunos resultados de simulación para la optimización del diseño desde el punto de vista del número de puertas. Estas simulaciones se han realizado mediante lenguaje de alto nivel utilizándose un modelo real del motor de inducción junto con el inversor trifásico encargado de su accionamiento y se ha simulado el comportamiento del diseño ASIC con todas sus discretizaciones y retardos. Esta realización se enmarca dentro de la acción GAME (acción especial del programa ESPRIT) y ha sido desarrollado en colaboración con la empresa Mecanismos y Accesorios MAC S.A. Para ello se ha hecho uso de las herramientas de diseño VHDL SINOPSYS y programa de placement y routing CADENCE.

## I. INTRODUCTION

La máquina de inducción es un sistema robusto de poco o nulo mantenimiento y bajo precio. Existen características que la hacen ideal para su uso en diferentes tipos de accionamientos incluyendo los sistemas de tráfico vertical.

Sin embargo, en su visión más amplia, esta máquina es un sistema no lineal con múltiples entradas y salidas, por lo que su control resulta complejo cuando se compara con la máquina de corriente continua.

Diferentes estrategias de control han sido propuestas y, en suma, se han obtenido soluciones

de compromiso entre la complejidad del controlador y las prestaciones del sistema.

La estrategia que más popularidad ha alcanzado es el control denominado "Tensión-Frecuencia". En este método, la tensión y la frecuencia son variables de control básicas del motor de inducción. No obstante, el par y el flujo, son función de dichas variables. Esta dependencia entre las variables de control es la responsable de la pobre respuesta dinámica del motor de inducción.

Los métodos de control vectorial tratan de eliminar esta limitación mediante un control electrónico de las componentes de corriente responsables del par y del flujo. De esta manera, el control externo de la máquina de inducción se asemeja al control de la máquina de continua en la que el par y el flujo están desacoplados de forma natural.

La dependencia del control vectorial con los parámetros de la máquina provocan la necesidad de emplear controladores robustos. Distintos métodos de control han sido propuestos, tales como:

- Controladores adaptativos.
- Controladores basados en métodos deslizantes.
- Controladores borrosos.

Los primeros requieren el empleo de estimadores de los parámetros de control del motor y, en general, de un software complejo de estimación y de adaptación.

Los controladores basados en métodos deslizantes son conceptualmente simples, pero requieren un control todo-nada en torno al modo deslizante que dan lugar al conocido fenómeno de "chattering" (variación brusca del par en torno a su valor medio).

Los controladores borrosos son sencillos de implementar y programar. Poseen un comportamiento similar al razonamiento humano que les hace inherentemente robustos frente a variaciones de los parámetros de la planta (del motor).

Por ello los controladores borrosos están siendo empleados en casi todos los campos del control industrial incluyendo el control del posicionamiento para accionamientos en sistemas de tracción (metro de Tokio) y el control de ascensores.

Uno de los principales problemas que presentan los sistemas de control vectorial y borroso es su realización física. En general, requieren la utilización de sistemas de gran potencia de cálculo como es el caso de DSP's. Estos procesadores están diseñados para el tratamiento digital de señal utilizando un elevado número de bits. Esta ocupación de área de silicio generalmente es mucho mayor de la necesaria para unas prestaciones concretas. Con el circuito ASIC propuesto, al ser diseñado expresamente para esta aplicación, pretende reducir los costos de implementación reduciendo el nivel de ocupación al máximo.

Otra ventaja de este diseño es que se ha podido incorporar algunos elementos adicionales de medida de variables del sistema (corrientes y velocidad del motor) y protecciones.

## II. DESCRIPCIÓN DE CIRCUITO INTEGRADO

El circuito ASIC se encarga de realizar las siguientes tareas de manera independiente o conjunta según se programen sus distintos modos de funcionamiento según se muestra en la figura 1:

1. Adquisición de las intensidades trifásicas.
2. Adquisición de la velocidad y de la posición relativa.
3. Protección de las intensidades trifásicas.
4. Control Borroso de velocidad.
5. Control Vectorial Indirecto.
6. Control de las intensidades trifásicas.
7. Generación trifásica de señales PWM.
8. Interface con el microprocesador.

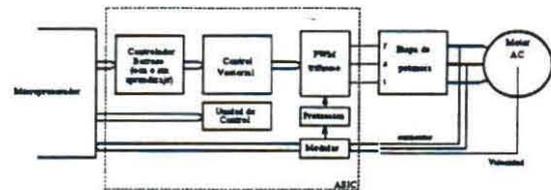


Figure 1: Esquema General del Circuito

Las distintas posibilidades de interconexión que permite la utilización de este a distintos niveles tal como se muestra en la figura 2.

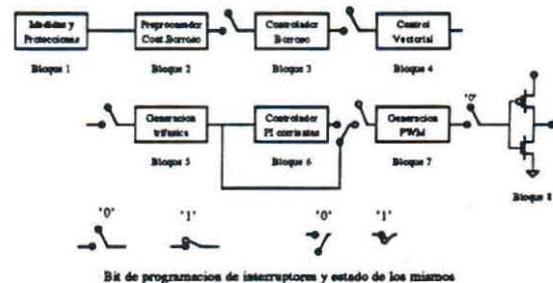


Figure 2: Partes del ASIC con funcionamiento independiente

El bloque de control vectorial realiza la funcionalidad de generación del vector unitario (senos y cosenos) mediante acceso a tabla. El cambio de coordenadas y el control de corriente se ha resuelto mediante la utilización de una estructura de "datapath". Esta está constituido por un multiplicador de de 13 por 11 bits y un sumador de 18 más 18.

La salida del control vectorial son las corrientes de consigna  $i_d^*$  e  $i_q^*$  y la frecuencia eléctrica.

El cambio de coordenadas que nos proporciona el valor deseado de las corrientes de fase  $i_a^*$ ,  $i_b^*$  e  $i_c^*$  se realiza en el módulo de generación senoidal de las corrientes de fase, quien las obtiene a partir de las siguientes expresiones:

$$I_a^* = i_q^* \text{sen}(\theta + \pi/2) + i_d^* \text{sen}\theta \quad (1)$$

$$I_b^* = i_q^* \text{sen}(\theta - \pi/6) + i_d^* \text{sen}(\theta - 2\pi/3) \quad (2)$$

$$I_c^* = -(I_a^* + I_b^*) \quad (3)$$

El ángulo  $\theta$  se obtiene internamente mediante la integración de la frecuencia. El módulo de generación trifásica mantiene un conjunto de cuatro contadores con los ángulos  $\theta$ ,  $\theta + \pi/2$ ,  $\theta - \pi/6$  y  $\theta - 2\pi/3$ , que van barriendo una ROM interna de 7 bits con el contenido del seno. Para ahorrar memoria, la ROM del seno tan sólo contiene la onda entre 0 y  $\pi$  en 225 posiciones de memoria.

El controlador borroso es capaz de procesar un total de 64 reglas para tres antecedentes y un consecuente. Las reglas son de tipo triangular con centroide y base programables. El controlador está dotado, además, de autoaprendizaje.

### III. RESULTADOS DE SIMULACIÓN

Las simulaciones se han realizado mediante lenguaje de alto nivel. Se ha utilizado un modelo real del motor de inducción junto con el inversor trifásico encargado de su accionamiento y se ha simulado el comportamiento del diseño ASIC con todas sus discretizaciones y retardos. En la gráfica 3 puede observarse la respuesta en velocidad del motor de inducción controlado mediante el circuito descrito anteriormente. La figura 4 muestra una ampliación de la respuesta a velocidades bajas. En esta ampliación, puede observarse la magnitud de error de discretización del encoder incremental y como este pasa a medir cero por debajo de su velocidad mínima medible.

La figura 5 representa la corriente de fase y la componente de corriente de par. También puede observarse la forma triangular del par motor correspondiente a una respuesta de velocidad parabólica.

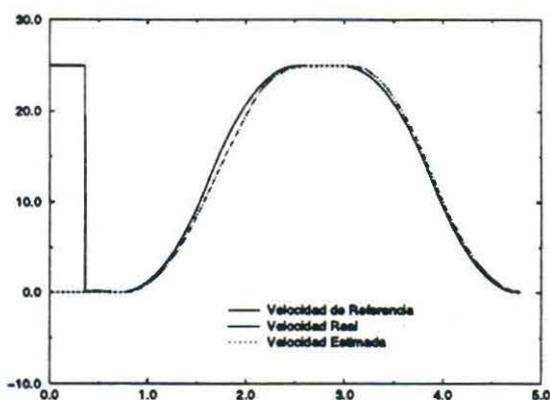


Figure 3: Velocidad Angular del Motor.

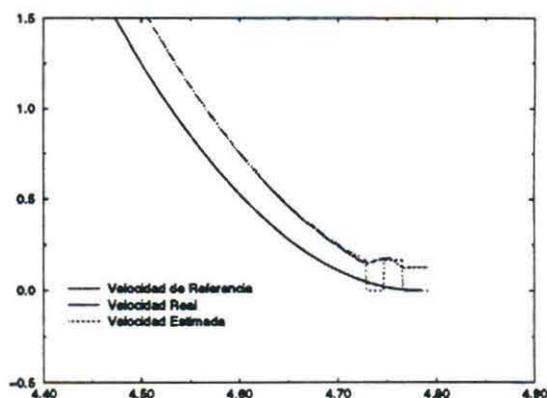


Figure 4: Velocidad Angular del Motor cerca de la Parada.

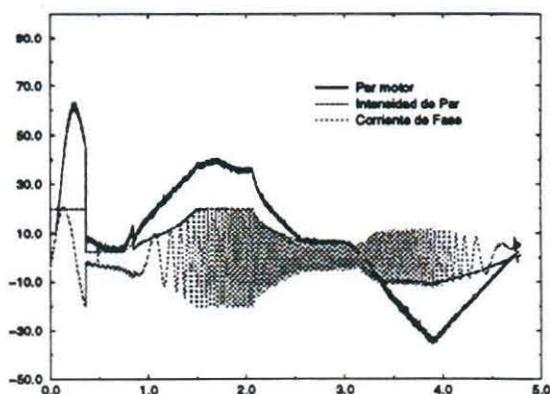


Figure 5: Componentes de Corriente y Par Motor.

## REFERENCES

- [1] B. K. Bose, *Power Electronic and AC Drives*, Prentice-Hall Englewood Cliffs, N. J., 1987.
- [2] E. Galván, F. Barrero, M. A. Aguirre, A. Torralba, L. G. Franquelo, "A Robust Speed Control of AC Motor Drives based on Fuzzy Reasoning", *IAS-93 Annual Meeting*, pp 2055-2058, Toronto 1993.
- [3] Toshiaki Kudor, Kazufumi Ishihara, Haruo Naitoh, "Self-Commissioning for Vector Controlled Induction Motors", *IAS-93 Annual Meeting*, pp 528-535, Toronto 1993
- [4] Sayeed A. Mir, Donald S. Zinger, Malik E. Elbuluk, "Fuzzy Implementation of Self Control of Induction Machines" *IAS-93 Annual Meeting*, pp 710-717, Toronto 1993
- [5] Ichiro Miki, Tatsuo Kumano, Tetsuo Yamada, "Auto-Tuning Method Based on Fuzzy Reasoning for Speed Controller in Vector-Controlled Induction Motor Drives", *IAS-93 Annual Meeting*, pp 718-727, Toronto 1993
- [6] Amin Suyitno, J. Fujikawa, H. Kobayashi, Yasuhiko Dote, "Variable-Structured Robust Controller by Fuzzy Logic for Servomotors", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 40, No. 1, Feb 1993.
- [7] Ching-Chang Wong and Shyuan-Ming Feng, "A Switching Type of Fuzzy Controller", *FUZZ-IEEE-94 Annual Meeting*, pp 30-33.
- [8] Zhuo Li, Shi-Zhong He and Shaoua Tan, "A Refined On-Line Rule/Parameter Adaptive Fuzzy Controller", *FUZZ-IEEE-94 Annual Meeting*, pp 1472-1477.
- [9] F. Barrero, E. Galván, A. Torralba, L. G. Franquelo, "Fuzzy Selftuning System for Induction Motor controllers", *Accepted for presentation in IEEE European Power Electronics*, to celebrate in Seville, Spain, September 1995.