



Aplicación de las técnicas de hardware reconfigurable en un sistema digital de control dinámico. Fundamento teórico-práctico. Parte I

Dennis Arce
Sergio J. Fernández
Omar Fuentes

Recibido: Enero del 2008
Aprobado: Marzo del 2008

Resumen / Abstract

El presente trabajo está dividido en dos partes; en la primera se presenta el fundamento teórico de nuevas técnicas de diseño electrónico para el desarrollo de un sistema de control dinámico de un servomotor, lo cual es una novedad técnica en el campo de la rama energética. Aquí se expone el estudio del importamiento de este sistema de control y la utilidad de las técnicas de hardware programable como herramienta en el diseño y desarrollo del mismo.

Palabras clave: FPGA, control, hardware programable, sistema de control dinámico

This paper is divided in two parts, the first one presents the theoretical foundation of new electronic design techniques for the development of dynamic control system for servomotor, that which is a technical novelty on the field of energetic branch. Also describes the behavior of this control system and utility of the techniques of programmable hardware as tool in the design and development of the same one.

Key words: FPGA, control, programmable hardware, dynamic control system

INTRODUCCIÓN

El uso y desarrollo de esta nueva tecnología aplicada en el diseño de un sistema digital de control para un servomotor, significa un avance en el crecimiento de la cultura tecnológica nacional al introducir nuevos elementos de hardware en el campo de aplicaciones de la rama energética, lo cual permite el desarrollo de grupos de investigación a lo largo de todo el país en este campo de la ciencia, impulsando la exploración y explotación de esta tecnología con beneficios tanto sociales como económicos.

Durante los últimos treinta años ha surgido la idea de la aplicación múltiple del hardware a partir del desarrollo

de un circuito digital, que fuera capaz de ser programado a partir de softwares específicos permitiendo una reconfiguración total. Los mismos han tenido un rápido desarrollo en los últimos años dando lugar a la aparición de circuitos de desarrollo a partir de técnicas implementadas por compañías como Xilinx y Altera, productoras de FPGAs (Field Programmable Gate Array), los cuales representan un vuelco parcial o total en el diseño y construcción del hardware hasta ahora implementado.¹

La utilidad de estos dispositivos está fuertemente relacionada con los sistemas de monitoreo de medición y control de las máquinas eléctricas, herramientas y

dispositivos automáticos y semiautomáticos del presente, en busca de un mejor funcionamiento, durabilidad y fiabilidad. Por lo tanto, en cada diseño digital involucrado en esta rama puede incluirse uno de estos hardwares programables, compactando en gran medida el dispositivo en cuestión.

En el presente, las aplicaciones industriales requieren la habilidad de comunicarse con ciertos hardwares comunes y softwares de manejo de información. Las nuevas tecnologías demandan altas capacidades de procesamiento digital de señales y conectividad, para las aplicaciones industriales de hoy. El control y seguimiento de dispositivos en la actualidad requiere un monitoreo en tiempo real tanto en la esfera industrial, militar, turística, etc., lo cual hace que este tipo de tecnología sea ideal.

En este trabajo se tratarán los elementos básicos que permiten el diseño de un sistema de control dinámico de servomotores a partir de la utilización de una FPGA.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología de diseño utilizando hardware programable es similar a la de cualquier sistema digital, salvo que al final se obtiene un fichero ejecutable que se puede enviar a la FPGA para que se reconfigure, implementando así el diseño.

En cualquier tipo de diseño debe existir una etapa inicial en la cual hay que tener en cuenta la descripción del circuito que se va a realizar, luego se pasa a su simulación y finalmente a su desarrollo práctico. Este proceso, con los métodos convencionales puede llevar varios ciclos con la demora de fabricación y costo de componentes. Sin embargo, en el caso del diseño con las FPGAs, estos últimos pasos pueden ser abreviados a partir de la utilización de un lenguaje de descripción de hardware como VHDL a partir del cual se pueden realizar simulaciones para comprobar que lo diseñado es correcto, a partir de lo cual se instrumenta directamente el circuito.²

A partir de las especificaciones y utilizando un software compilador, se obtiene un fichero llamado bitstream que contiene toda la información necesaria para configurar la FPGA. Hecho esto, estará listo el hardware situado en el interior de un chip. No es necesario soldar, ni comprar componentes, ni emplear tiempo haciendo un prototipo. El proceso de diseño se realiza directamente en un hardware ya ubicado, agilizando el proceso y disminuyendo además el costo del mismo. De esta forma los cambios en el diseño se pueden hacer tan rápidos como en el caso de un software diseñado.

Durante el diseño se deben pasar por varias etapas de simulación. Inicialmente la descripción RTL o en HDL, es realizada mediante la creación de bancos de prueba para simular el sistema y observar los resultados. Entonces, después de la síntesis, se mapea el diseño a una lista-red (netlist), luego esta es traducida a un nivel descrito por compuertas lógicas, donde la simulación se repite para confirmar que el proceso de síntesis no tenga errores. Finalmente, el diseño es introducido en la FPGA y se vuelve a simular la corrida. Todo este proceso es prácticamente automático y controlado por el software especializado.³

UTILIDAD DE LAS FPGAS EN EL CAMPO DE LA ENERGÉTICA

Su utilidad está fuertemente relacionada con los sistemas de monitoreo de medición y control de las máquinas eléctricas, herramientas y dispositivos automáticos y semiautomáticos del presente, en busca de un mejor funcionamiento, durabilidad y fiabilidad. Por lo tanto, en cada diseño digital involucrado en esta rama puede incluirse uno de estos hardwares programables, compactando en gran medida el dispositivo tratado.

En el presente, las aplicaciones industriales requieren la habilidad de comunicarse con ciertos hardwares comunes y softwares de manejo de información. Las nuevas tecnologías requieren de altas capacidades de procesamiento digital de señales y conectividad, para las aplicaciones industriales de hoy. El control y seguimiento de dispositivos en la actualidad demanda un monitoreo en tiempo real tanto en la esfera industrial, militar, turística, etc., lo cual hace que este tipo de tecnología sea ideal.

UTILIDAD DE LAS FPGAS EN OTRAS APLICACIONES

Las FPGAs son usadas en muchas aplicaciones como una alternativa de los DSPs y procesadores de alta configuración. En el presente se desarrollan también dispositivos híbridos basados en FPGAs y procesadores ubicados en la misma placa para optimizar costos y configuración.

Este sistema se puede aplicar en diversas áreas como la docencia, en el campo de la electrónica, permitiendo que los alumnos hagan sus propios diseños, simulen y realicen el montaje en una tarjeta entrenadora provista de una FPGA, pudiendo comprobar físicamente por sí mismos el correcto funcionamiento.

Pueden ser utilizadas en el desarrollo de periféricos para microcontroladores, controladores de sensores, coprocesadores para hacer las operaciones más rápidamente, etc. Además de esto, por su facilidad de

programación, pueden desarrollarse sistemas de hardware reconfigurables en pleno funcionamiento. También en la robótica puede ser muy útil diseñando CPUs específicas para algunas aplicaciones, para temporizadores, etcétera.

En la electrónica automovilística tienen un amplio y creciente rango de aplicación e incluye aplicaciones como los sistemas de navegación, de entretenimiento, grupos instrumentales, sistemas avanzados de manejo de información y dispositivos de comunicaciones.

En el mundo, actualmente, se están usando en telefonía, procesamiento de señales de video, creación de videojuegos, sistemas de procesamiento de datos para satélites, sistemas de redes, entre otros. Cuba no se queda atrás, ya hace más de un año se está trabajando con este tipo de tecnología, aunque no es muy difundida todavía.

Características de los servomotores y servocontroles

Un servomotor es un dispositivo similar a un motor de corriente directa, que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y mantenerse estable en dicha posición. Los servos se utilizan frecuentemente en sistemas de radiocontrol y en robótica, pero su uso no está limitado a estos.

El servocontrol es un control con lazo cerrado de posición y velocidad. La palabra servo se deriva de la misma raíz que la palabra sirviente. La salida del lazo de control es una señal de torque (o equivalentemente, corriente), el cual es entregado al circuito del motor. El lazo del servocontrol calcula el torque necesario a través de los datos de posición y/o velocidad.

Características de un sistema analógico de control para un servomotor específico

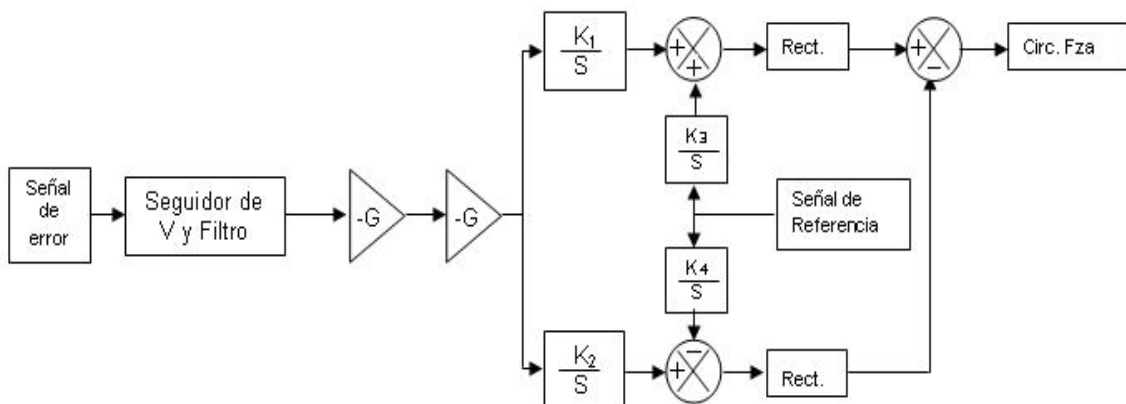
El controlador analógico que se describe en este trabajo consta de cuatro partes fundamentales. La primera es la etapa de filtrado, y se encarga de desechar cualquier componente de la señal que no corresponda con la frecuencia fundamental del sistema. Ver figura 1.

La segunda es la etapa de ganancias, donde la señal filtrada es amplificada en dos pasos, cada uno de ellos compuestos por amplificadores inversores, de ahí la necesidad de utilizar un segundo inversor para conservar la forma de onda de la señal original.

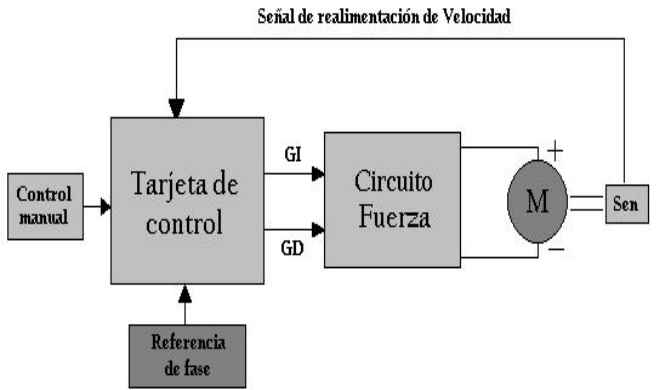
La tercera está formada por dos secciones de suma y rectificación, utilizando para esto un rectificador de precisión diseñado con amplificadores operacionales. La función principal de esta etapa es la detección de desfase entre la señal de error y una señal de referencia, indicando el sentido de giro que debe tomar el servomotor.

La cuarta es la de potencia, además de sumarse los voltajes provenientes de cada sección de la tercera parte. El signo del resultado indica el sentido de giro del servomotor. La señal resultante de esta etapa pasa a otro sistema donde se procesa junto a una señal de realimentación para ejecutar el control.

El sistema en conjunto, a partir de tres señales (aunque se incluyan solo dos en el esquema descrito por bloques) efectúa el control de un servomotor relacionando la velocidad con el valor efectivo de la señal de error y el sentido del giro con la fase de la señal. El sistema general se representa en la figura 2.



Estructura en bloques del circuito de control analógico.



Esquema del circuito de control, fuerza y motor.

2

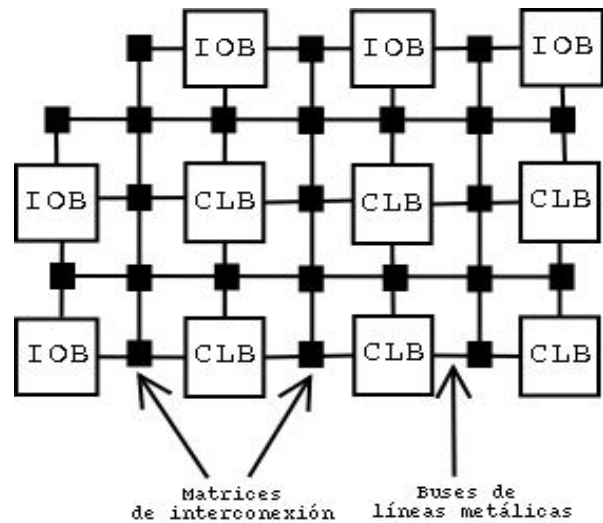
Estructura de las FPGAs

Internamente una FPGA es una serie de pequeños dispositivos lógicos, que algunos fabricantes llaman CLB (Configurable Logic Block), organizados por filas y columnas. Entre los CLB hay un gran número de elementos de interconexión, líneas que pueden unir unos CLB con otros y con otras partes de la FPGA, pueden haber líneas de distintas velocidades. También hay pequeños elementos en cada una de los pines del chip para definir la forma en que esta trabajará (entrada, salida, o ambos), se suelen llamar IOB (Input/Output Block).

Los CLB se unen dinámicamente según cómo se especifique en la memoria de configuración. De esta forma, cambiando el contenido de la esta memoria, se establecen unas uniones diferentes entre los CLBs, obteniéndose un dispositivo u otro. La característica fundamental de las FPGAs es que son dispositivos universales. Se pueden convertir en cualquier diseño digital, según el bitstream que se cargue en su memoria de configuración.²

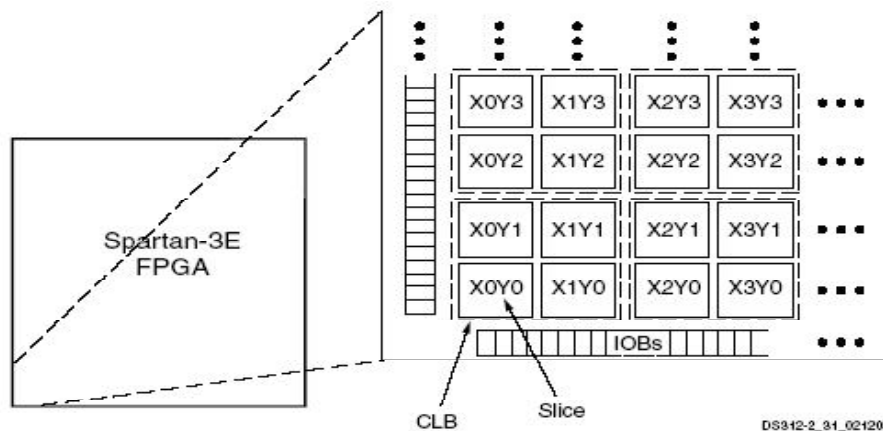
En la figura 3 se muestra la estructura de la FPGA. Los rectángulos negros representan las matrices de interconexión, a las que llegan buses de líneas metálicas. En el interior de estas cajas se configuran las conexiones de las diferentes líneas. Los bloques exteriores son los IOBs y lo interiores los CLBs.

El CLB constituye el principal recurso lógico para implementaciones sincrónicas tales como los circuitos combinados. Cada CLB en un mismo chip es idéntico y contiene cuatro slices, y cada slice contiene dos LUTs (Look-Up Table) para implementar lógica y, dos elementos almacenados que pueden ser usados como flip-flops o latches. Las LUTs pueden ser usadas como memorias de 16x1 (RAM16) o como registros de 16-bits (SRL 16). La mayoría de la lógica de propósito general en un diseño, es automáticamente mapeada en los slices de los CLBs.⁴ Ver figura 4.



Estructura interna de una FPGA.

3



Localizaciones de los CLBs en una FPGA de la familia Spartan-3E producida por la compañía Xilinx.

4

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se analizaron las características más importantes de las técnicas de hardware programable, así como su funcionalidad y posibilidad de introducción en el control y desarrollo de equipos, dispositivos y sistemas en el campo de la energética y en otras ramas.

A partir de las especificaciones técnicas y mediante la metodología de diseño planteada se procede al diseño, desarrollo e implementación de un sistema digital de control que cumpla con los requerimientos funcionales del circuito analógico, utilizando las técnicas de hardware programable y aprovechando las múltiples ventajas de bajos costos de diseño e implementación sin necesidad de sustitución de componentes, facilidades de reprogramación y rapidez del rediseño; lo cual se expone en la segunda parte de este artículo.

REFERENCIAS

1. **Parnell, K. and N. Metha:** "Programmable Logic Design Quick Start Handbook', ed. PN 0402230 Rev. 4, 2004: Xilinx, Inc.
2. **González, Juan:** Convirtiendo el hardware en software: FPGA's, <http://x-ezine.todolinux.com/x2/2x011-fpga.html>, 2006.

3. **González, Juan:** TARJETA JPS-XPC84: Entrenadora para FPGA, 2004. <http://www.learobotics.com/personal/juan/doctorado/jps-xpc84/jps-xpc84.html>.

4. Spartan-3E Family, Complete Data Sheet, Xilinx: May 19, 2006.

AUTORES

Dennis Arce López

Ingeniero Electricista, Instructor, Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Ciudad de La Habana, Cuba
e-mail:dennis.al@electrica.cujae.edu.cu
dennisal2004@yahoo.es

Sergio J. Fernández García

Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas, Asistente, CIPEL, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Ciudad de La Habana, Cuba
e-mail:sfg@electrica.cujae.edu.cu
sergiojfernandez@yahoo.com

Omar Fuentes Lorenzo

Ingeniero en Automática, Asistente, Universidad de Pinar del Río Hermanos Saiz Montes de Oca, Pinar del Río, Cuba
e-mail:omarf@tele.upr.edu.cu

La Dirección de Publicaciones Periódicas del Instituto Cubano del Libro, en el marco de la XVI Feria Internacional del Libro, otorgó a la Revista Ingeniería Energética un diploma por el XXX Aniversario de su fundación, así como por su destacada labor en las investigaciones, trabajos de desarrollos y soluciones directas a la producción y la industria, vinculados a la energía y su empleo.

