

EMULADOR DE CIRCUITOS DIGITALES

L. J. ÁLVAREZ

Dpto. Tecnología Electrónica. Universidad de Vigo. Lagoas (Marcosende).36280.

Vigo. E-mail: jalvarez@uvigo.es

El sistema emulador que aquí se presenta constituye un sistema completo de aprendizaje de Electrónica Digital práctica.

En una primera etapa, el alumno puede comprobar el funcionamiento de una gran variedad de circuitos digitales básicos, combinacionales, aritméticos y secuenciales.

En una segunda fase, los alumnos que deban aprender a diseñar circuitos digitales con técnicas de diseño asistido por computador, pueden utilizar la placa como base para comprobar el funcionamiento de sus diseños, previamente introducidos mediante el software "Foundation" de Xilinx^R.

1. Introducción.

El sistema emulador que aquí se presenta está orientado a constituir un sistema completo de aprendizaje de Electrónica Digital práctica.

En una primera etapa de aprendizaje del alumno, el emulador le permite comprobar el funcionamiento de una gran variedad de circuitos digitales básicos, combinacionales, aritméticos y secuenciales [1]. El interés principal en esta etapa de formación es familiarizar al alumno que estudia Electrónica Digital básica con el funcionamiento de los circuitos digitales, de una forma fácil, rápida y cómoda, que evita tener que montar y cablear cada uno de los circuitos para comprobar su funcionamiento.

En una segunda etapa de aprendizaje, los alumnos que por su formación deban aprender a diseñar circuitos digitales con técnicas actuales de diseño asistido por computador, pueden utilizar la placa como base para comprobar el funcionamiento de sus diseños.

Para ello, el sistema emulador dispone de un circuito programable del tipo FPGA ["Field Programmable Gate Array" (conjunto configurable de puertas)]. La FPGA escogida es una XC4005E de Xilinx^R [3], que contiene en su interior bloques lógicos [CLBs "Configurable Logic Blocks"] constituidos por memorias RAM, que permiten la realización de circuitos combinacionales, y por biestables, que permiten la realización de circuitos secuenciales. De esta forma, en su interior se puede realizar cualquier circuito combinacional o secuencial, siempre que la capacidad lógica de la FPGA sea suficiente.

En la primera etapa del aprendizaje, la FPGA se programa de forma automática para que contenga simultáneamente en su interior todos los circuitos básicos que permite comprobar.

La tecnología de programación de esta FPGA es de memoria activa (SRAM), por lo que pierde su programación y, por tanto, su función, al desconectarse la tensión de alimentación. Por ello, el sistema emulador dispone de una memoria PROM serie, externa a la FPGA, que permite a ésta programarse automáticamente cada vez que se conecta la alimentación.

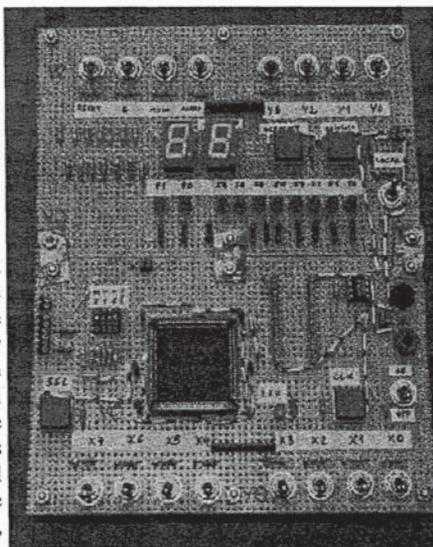
En la segunda fase de aprendizaje, el alumno debe disponer de las herramientas de CAD "Foundation" o "XACT" y del cable de programación "Xchecker" de Xilinx^R [2], con las que puede diseñar cualquier sistema digital con una complejidad de hasta unas 5.000 puertas equivalentes, incluyendo pequeñas memorias de acceso aleatorio.

Una vez compilado el diseño mediante las herramientas de CAD, el fichero de programación puede volcarse a la placa para su comprobación mediante los interruptores, LEDs y visualizadores de la placa. Además, la placa dispone de 2 conectores, uno de entrada y otro de salida, con 8 señales cada uno, que permiten conectar la FPGA a otros circuitos externos a la placa, incluyendo un computador.

2. Manejo como emulador.

El emulador de circuitos digitales está pensado para funcionar de forma autónoma, utilizando únicamente una fuente de alimentación continua de +5 V. o un alimentador estándar de 9 V. en continua.

El manejo es muy sencillo. Una vez conectada la alimentación, la FPGA se programa automáticamente. Se dispone de unos interruptores (X5, X4, X3, X2, X1 y X0), que permiten seleccionar el circuito que se desea comprobar. La selección se graba al accionar el pulsador SEL. El circuito que se ha seleccionado se muestra en los visualizadores de 7 segmentos. En el apartado siguiente se muestran algunos de los circuitos que se pueden seleccionar, aunque el emulador incluye muchos más.



Una vez seleccionado el circuito, ya **Figura 1: Prototipo del sistema emulador.** se puede inmediatamente comprobar su funcionamiento, utilizando para ello los interruptores, pulsadores, LEDs y visualizadores que se encuentran en la propia placa del sistema emulador.

Los interruptores X5 y X4 permiten seleccionar el tipo de circuito según su estado

lógico: 00 (Combinacional), 01 (Aritmético), 10 (Secuencial), 11 (No utilizada).

Los interruptores X3, X2, X1 y X0 permiten seleccionar hasta 16 circuitos diferentes de cada tipo. En la tabla 1 se muestran algunos de los circuitos que se pueden seleccionar.

Es de destacar la posibilidad de implementar sistemas secuenciales basados en registro o contador y memoria de acceso aleatorio activa (RAM) [1]. El alumno debe programar el contenido de dicha memoria, que se encuentra en el interior de la FPGA, para que el sistema secuencial evolucione según el grafo de estados que se desee.

El emulador incorpora además la posibilidad de conectarse a un computador personal (PC) a través del puerto paralelo para permitir la selección y prueba del circuito seleccionado desde el PC. Por ello, se están desarrollando actualmente los programas adecuados para ello.

Por último, podemos destacar que las salidas conectadas a 8 de los LEDs, están también presentes, debidamente amplificadas y aisladas, en un conector de salida que permite utilizarlas para controlar algún sistema externo.

3. Ejemplos de circuitos implementados en el emulador.

En la tabla 1 se muestran algunos de los circuitos de cada tipo que el sistema permite emular.

| CIRCUITOS COMBINACIONALES | Equivalente |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Puertas NAND y AND de 3 entradas . | 7410 y 11 |
| Decodificador 1 entre 8 con 3 señales de inhibición y salidas negadas. | 74138 |
| Codificador de 8 bits con prioridad, señal de inhibición y salidas de propagación. | 74148 |
| Multiplexor de 8 canales con señal de inhibición y salidas normal y negada. | 74151 |
| | |
| CIRCUITOS ARITMÉTICOS | Equivalente |
| Comparador binario con entradas de propagación. | 7485 |
| Detector/Generador de paridad de 9 bits. | 74280 |
| Sumador/Restador de 4 bits con acarreo de entrada y salida y señal de rebasamiento. | No existe |
| | |
| CIRCUITOS SECUENCIALES | Equivalente |
| Biestables síncronos activados por flancos de tipos RS, JK, D y T, con puesta a cero asíncrona. | No todos tienen equivalente |
| Registro de 8 bits, con señal de inhibición y puesta a cero asíncrona. | 74377 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Contador síncrono binario de 4 bits reversible, con carga en paralelo síncrona, y señal de inhibición. | 74169 |
| Registro de desplazamiento síncrono reversible de 4 bits, con carga en paralelo síncrona, inhibición global y puesta a cero asíncrona. | 74194 |
| Memoria RAM de 16 posiciones x 4 bits con señales de inhibición y de habilitación de escritura. | 74189 |
| Sistema Secuencial Síncrono basado en registro + RAM. | No existe |

Tabla 1: Lista de algunos de los circuitos emulados y su equivalente en circuitos estándar.

4. Manejo como sistema de desarrollo.

Una vez el alumno conoce bien el funcionamiento de los circuitos digitales básicos, debe aprender a diseñar sus propios sistemas digitales, utilizando las tecnologías y las herramientas de CAD actuales, como son las de Xilinx^R orientadas al diseño con FPGAs.

Por ello, si el alumno dispone del "software Foundation" (o el más antiguo XACT) de Xilinx^R y del cable "Xchecker" de programación para FPGAs [2], puede utilizar el sistema emulador para probar sus diseños, simplemente programando la FPGA a través del computador personal.

Para probar los diseños, dispone de todos los interruptores, LEDs y visualizadores utilizados anteriormente para emular los circuitos digitales, así como de dos conectores, con 8 señales de usuario cada uno, que permiten conectarlo a otros circuitos, incluido un computador (a través del puerto paralelo).

5. Conclusiones.

Como conclusión, podemos asegurar que este emulador de circuitos digitales constituye un sistema completo de aprendizaje de Electrónica Digital práctica, que incluye desde la posibilidad de probar los circuitos digitales básicos más usuales [1], hasta la posibilidad de probar diseños de complejidad media realizados con herramientas de CAD para FPGAs.

Referencias

- [1] E. Mandado., *Sistemas Electrónicos Digitales 8ª edición*, Marcombo, Barcelona, 1998.
- [2] Xilinx, "*Hardware and Peripherals Guide*", San Jose (California), 1994.
- [3] Xilinx, "*The Programmable Gate Array Data Book*", San Jose (California), 1994.

Agradecimientos

El autor desea agradecer a la Xunta de Galicia su financiación a través del proyecto XUGA 32103B96.