

APLICACION DOCENTE DEL MAX+PLUS II

Aranguren G., Martín J. L., Olabe X.

Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea
E. T. S. de Ing. Industriales y de Ing. de Telecomunicación
Departamento de Automática, Electrónica y Telecomunicaciones
Alda. Urquijo s/n, 48013 Bilbao

Tfno: (94) 4278055
Fax: (94) 4414041
e-mail: jtpararg@bi.ehu.es

RESUMEN

En esta comunicación se describe la experiencia de la utilización del paquete de diseño de dispositivos lógicos programables MAX+PLUS II, realizada durante este curso en tres asignaturas de las titulaciones de Ingeniero Industrial (Electrónica General) y de Ingeniero de Telecomunicación (Electrónica Digital y Sistemas Digitales). La aplicación se expone a tres niveles: utilización como simulador lógico, aplicación de la lógica programable y soporte para la enseñanza de los microprocesadores.

1. INTRODUCCIÓN

Después de siete años de experiencia en desarrollos basados en los paquetes de diseño APLUS, MAX+PLUS I y MAX+PLUS II, hemos considerado la posibilidad de aplicar a la docencia el paquete MAX+PLUS II, debido a su facilidad de utilización, su aportación de conocimientos y su disponibilidad.

La experiencia la hemos realizado en tres asignaturas diferentes y con objetivos distintos en cada caso. Este ha sido el primer año de utilización y en algunos cursos hemos limitado el número de alumnos que han realizado la experiencia por disponer de pocos puestos de trabajo. Gracias a las posibilidades otorgadas por EUROCHIP para la adquisición de este paquete, esperamos extender en el próximo curso su utilización a todos los alumnos que cursan estas asignaturas.

Aunque este paquete es muy conocido, en el siguiente apartado se describen brevemente sus características. En los siguientes apartados se relatan las experiencias realizadas en las tres

asignaturas en que se ha utilizado.

2. CARACTERÍSTICAS DEL MAX+PLUS II

El paquete MAX+PLUS II de Altera [1] está orientado al diseño de dispositivos lógicos programables de Altera, pero dadas sus características también se puede emplear como paquete de diseño y simulación de electrónica digital con otros fines y en cualquier nivel universitario.

Funciona en compatibles 386 ó 486 de altas prestaciones, utilizando el entorno Windows, lo que hace muy agradable su funcionamiento. La entrada del diseño se puede hacer de modo gráfico o mediante un lenguaje de descripción de hardware (AHDL), que permite la utilización de ecuaciones booleanas, tablas de verdad, definición de máquinas de estados, etc.

Realiza la simulación de circuitos de gran tamaño presentando las gráficas de simulación, la estimación de tiempos de retardo, la partición en circuitos integrados para su programación, etc.

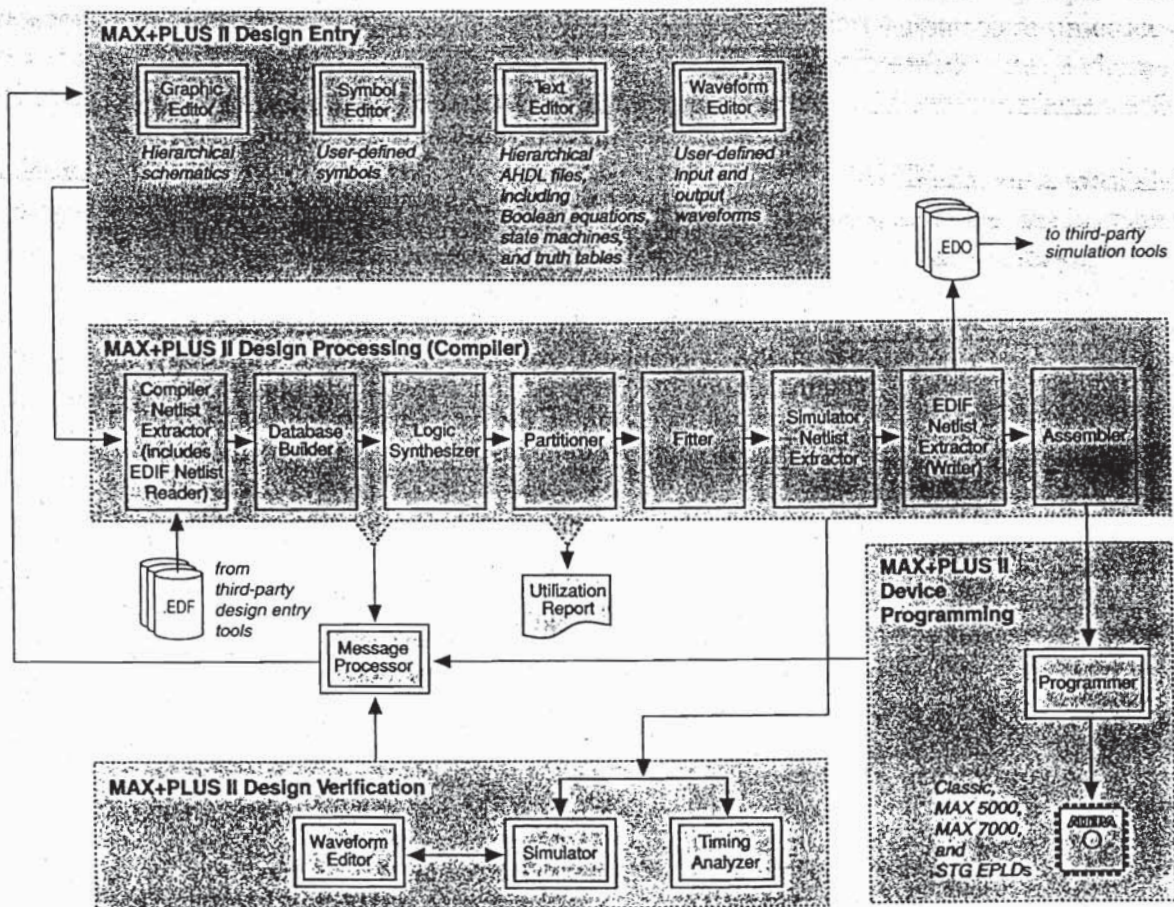


Figura 1. Diagrama de bloques del programa MAX+PLUS II

Un hardware adicional del mismo fabricante permite la programación de los circuitos integrados tipo EPLD.

3. APLICACIÓN EN ELECTRÓNICA GENERAL

La asignatura Electrónica General tiene una gran tradición en la titulación actual de Ingeniero Industrial. La amplitud cada vez mayor de la electrónica choca con los límites horarios impuestos por los planes de estudio, por lo que tendemos a obtener un mayor rendimiento de las horas docentes.

Este problema era patente en las horas asignadas a laboratorio de electrónica digital donde el montaje y comprobación de los circuitos reduce mucho el tiempo dedicado a diseño, ensayo y comprensión de los circuitos. Por otra parte la limitación de la instrumentación presenta un obstáculo para la observación de distintos fenómenos.

Para paliar estos problemas hemos introducido este año de modo experimental, la utilización del paquete MAX+PLUS II para las prácticas de circuitos secuenciales complejos, donde más claramente se muestran las desventajas enunciadas.

Los aspectos en que hemos centrado la utilización del MAX+PLUS II han sido dos:

- Introducir a los alumnos a la simulación digital (este primer objetivo no había podido ser cubierto hasta el momento por carecer de los equipos adecuados).
- Mostrar las ventajas del empleo de dispositivos lógicos programables.

La explicación del funcionamiento del programa se dividió en tres sesiones generales de hora y media, con utilización de un proyector de pantalla de ordenador, y tres sesiones de dos horas de utilización del programa en el laboratorio. Las sesiones generales tuvieron objetivos distintos:

- Explicación de la captura de esquemas y compilación con el objetivo evidente de servir de apoyo a las otras dos sesiones.
- Simulación. Se presentó el paquete MAX+PLUS II como un simulador genérico de electrónica digital con la finalidad de mostrar el funcionamiento lógico de distintos circuitos combinatoriales y secuenciales.
- Características específicas de los dispositivos lógicos programables mostradas a través del programa.

El principal objetivo cubierto con el empleo de este paquete ha sido limitar los problemas de "manualidades" que presenta el montaje de una práctica compleja de circuitos secuenciales. Evidentemente somos partidarios de mantener las prácticas de montaje de circuitos, pero limitándolas a los circuitos sencillos: circuitos combinatoriales y circuitos secuenciales básicos. En cuanto los circuitos secuenciales se hacen más complejos no compensa la dificultad de su montaje con el conocimiento que se adquiere.

En cuanto al primer aspecto perseguido, introducir a la simulación digital, los resultados que esperamos haber conseguido son los siguientes:

- Introducir en el empleo del CAD electrónico.

- Comprobación de distintos aspectos lógicos de los circuitos combinacionales y secuenciales.
- Diferenciar las características de los circuitos de Moore y de Mealy.
- Comparar el funcionamiento de los circuitos síncronos y asíncronos.

En cuanto al segundo aspecto, empleo de dispositivos lógicos programables, los resultados son los siguientes:

- Ventajas de su utilización (se suponen conocidas) [2]. Actualmente la realización de circuitos lógicos complejos pasa necesariamente por el empleo de circuitos integrados de aplicación específica, predifundidos o no predifundidos.
- Medir y valorar los tiempos de retraso. Este objetivo se ha mostrado unido al empleo de las EPLDs por necesitar un dispositivo físico determinado, con un tiempo de retraso predecible para cada función. La utilización de distintos dispositivos programables para la resolución de un mismo circuito lógico, sirve para determinar la asociación entre dispositivo físico o tecnología de fabricación y tiempo de conmutación.

4. LABORATORIO DE ELECTRÓNICA DIGITAL

La asignatura Laboratorio de Electrónica Digital para los alumnos de 3º de Ingeniero de Telecomunicación está orientada a la puesta en funcionamiento de circuitos electrónicos digitales vistos en la asignatura teórica y de circuitos que resuelven problemas planteados por el profesor o por el propio alumno. Para ello deben diseñar, simular, construir y comprobar el circuito digital correspondiente.

Debido a la escasez de puestos en el laboratorio para la realización de la captura de esquemas y la simulación, estas tareas son realizadas fuera de las horas asignadas a la docencia en el laboratorio, utilizando otros medios disponibles en la Escuela o propios del alumno, presentándose al laboratorio con un diseño listo para ser construido y comprobado.

Las prácticas realizadas por los alumnos se clasifican en tres grandes grupos [3]:

- Prácticas regladas: el diseño del circuito es indicado por el profesor. Generalmente son prácticas que sirven para que el alumno aprenda a utilizar los equipos de instrumentación y algunos circuitos integrados digitales estándar estudiados en la asignatura teórica.
- Prácticas semirregladas: el profesor plantea un problema al alumno que debe tratar de resolverlo por los medios disponibles en el laboratorio.
- Prácticas libres: el alumno es el que plantea un problema que el mismo tiene que resolver mediante un circuito digital, utilizando para ello cualquier medio disponible a su alcance, con ciertas limitaciones indicadas por el profesor.

Habitualmente todas las prácticas se realizaban con componentes estándar, lo que implicaba un elevado tiempo de montaje y comprobación, limitando además las capacidades imaginativas de los alumnos a la hora de diseñar un circuito digital, sobre todo en lo que a prácticas semirregladas y libre se refiere.

La introducción de la lógica programable nos permite reducir estos inconvenientes,

disminuyendo el tiempo de montaje y comprobación y aumentando las posibilidades de diseño y rediseño sin necesidad de variar significativamente la realización del circuito.

El principal inconveniente es la necesidad de un software específico para el diseño de los circuitos lógicos programables y una estación de programación. Este inconveniente ha sido eliminado gracias a la obtención del paquete MAX+PLUS II de Altera a través de EUROCHIP.

Durante el curso 93/94 se ha iniciado la primera fase, utilizando cuatro licencias de MAX+PLUS II. Esto ha permitido experimentar con cuatro puestos de los doce que componen cada grupo de laboratorio, para ver las ventajas e inconvenientes que tenían frente al método tradicional usado por el resto de sus compañeros. Las prácticas desarrolladas han sido las semirregladas y la práctica final libre.

La diferencia fundamental de esta asignatura con respecto a la anteriormente expuesta se basa fundamentalmente en la profundidad con que se trata el diseño de circuitos digitales, debido al mayor número de horas docentes asignadas. Por lo demás, los objetivos perseguidos y la metodología utilizada han sido similares a la asignatura de Electrónica General.

Como ejemplo, una de las prácticas semirregladas consistía en diseñar un circuito que controlara un cruce de semáforos. Los alumnos que utilizaron circuitos estándar tardaron una media de 3 horas en montar y comprobar el funcionamiento del circuito, utilizando aproximadamente 8 circuitos integrados. Los alumnos que utilizaron el MAX+PLUS II lo hicieron prácticamente en la mitad de tiempo, lo que permitió, durante el tiempo restante, buscar otras posibilidades e incluso rediseñar el circuito utilizando algunas nociones de AHDL. Para la realización física fue necesario un único circuito integrado (una EPLD de 16 macroceldas).

Similares resultados se obtuvieron con la práctica final libre, donde los alumnos que utilizaron MAX+PLUS II se dedicaron más al diseño del circuito que al montaje, consiguiendo circuitos más complejos en diseño, pero reduciendo el número de horas dedicadas al montaje y el coste final del circuito.

5. UTILIZACIÓN EN LA ASIGNATURA SISTEMAS DIGITALES

Aun cuando las asignaturas de Electrónica Digital (3º curso, 1º cuatrimestre) y Sistemas Digitales I (3º curso, 2º cuatrimestre) son fundamentales y complementarias en el plan vigente de estudios del Ingeniero de Telecomunicación, la mayoría de los alumnos cursan dichas asignaturas considerándolas independientes e inconexas. En el presente curso, y con la intención de resolver este problema se les ha ofrecido a los alumnos la realización de un proyecto consistente en la construcción de un ordenador básico en un chip utilizando la herramienta software de diseño MAX+PLUS II.

El objetivo principal de esta experiencia es que el alumno desarrolle tanto la capacidad de integración de los conocimientos de ambas áreas con un adecuado grado de profundidad, como la capacidad de utilización de técnicas de diseño e implementación de sistemas digitales

de cierta complejidad.

N°	HEX	INSTR./ESTADO	T0	T1	T2	T3	T4
1	0	LDADIR	MA←PC	IR←M(MA) MA←M(MA) PC←PC+1	A←M(MA)		
2	1	ADDIR	"	"	B←M(MA)	A←A+B	
3	2	SUBDIR	"	"	"	A←A-B	
4	3	STADIR	"	"	MW←A	Escribir Memoria	
5	4	ADDIND	"	"	MA←M(MA)	B←M(MA)	A←A+B
6	5	SUBIND	"	"	"	"	A←A-B
7	6	CLA	"	"	A←0		
8	7	CMPIMM	"	"	MA←PC PC←PC+1	B←M(MA)	E←1 si A-B=0
9	8	JMP	"	"	MA←PC	PC←M(MA)	
10	9	BRA0	"	"	MA←PC PC←PC+1	si Z=1 PC←M(MA)	
11	A	BREQ	"	"	"	si E=1 PC←M(MA)	
12	B	INP	"	"	Ld-IN	A←IN	
13	C	OUT	"	"	OUT←A		
14	D	JSR	"	"	MA←PC	STR←PC	PC←M(MA)
15	E	RET	"	"	PC←STR	PC←PC+1	
16	F	STOP	"	"			

Tabla 1. Juego de instrucciones del ordenador básico

El enunciado del proyecto es el siguiente: dado un repertorio de instrucciones descritas en lenguaje de transferencia de registros como se indica en la tabla 1, diseñar un ordenador digital que presente la capacidad de cargar y almacenar programas (instrucciones y datos) y ejecute los programas almacenados en memoria. El diagrama de estados del ordenador se muestra en la figura 2.

Para afrontar este proyecto se explica en clase la arquitectura y los módulos básicos de un sistema digital basado en un microprocesador, así como las técnicas de diseño e implementación de sistemas jerárquicos [4 y 5]. El sistema definitivo está constituido por el subsistema unidad aritmética, subsistema unidad de control, subsistema de memoria, subsistema de entrada/salida, y un interface con un teclado hexadecimal exterior para introducir los programas (figura 3).

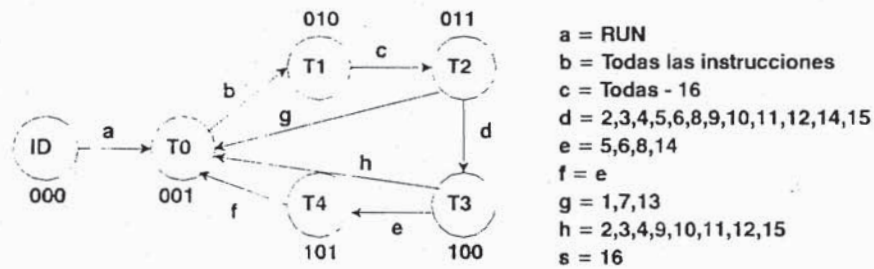


Figura 2. Diagrama de estados del ordenador básico

Antes de integrar los diferentes subsistemas para formar el sistema completo se realiza una serie de pruebas que garanticen el correcto funcionamiento de cada uno de ellos. El diseñador especifica los vectores de entrada y el simulador obtiene las señales de salida que generará dicho subsistema. El estudio individualizado de las salidas generadas permite la verificación del funcionamiento del subsistema. Cada subsistema será objeto de un proyecto independiente en la nomenclatura de MAX-PLUS II. La utilización de este tipo de herramientas además de mejorar la eficiencia en la realización de sistemas permite la fácil generación de nuevas versiones del sistema y el inmediato aprovechamiento de subsistemas anteriormente diseñados.

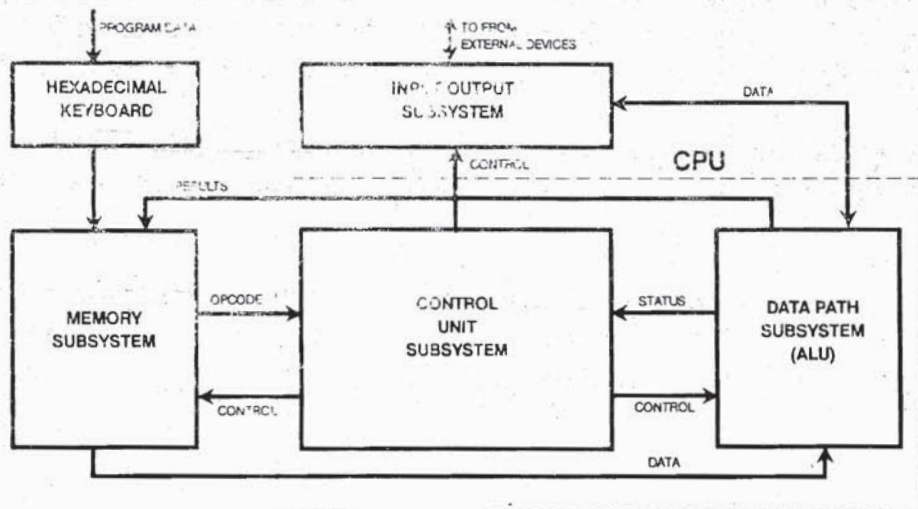


Figura 3. Diagrama de bloques del ordenador básico

Finalmente para evaluar el funcionamiento del sistema ordenador básico, se cargan varios programas cortos en la memoria a través del teclado y se examina la ejecución del programa analizando el contenido de los registros, posiciones de memoria, buses y señales de control.

Los resultados y conclusiones de la realización de este proyecto se pueden resumir en los siguientes puntos:

- El alumno tiene una mayor comprensión y conocimiento del funcionamiento de los microprocesadores y de la relación existente con los circuitos digitales.
- Aplicación de los principios de ingeniería de sistemas al diseño e implementación de

sistemas digitales.

- El alumno muestra inquietud por realizar nuevos diseños que contemplen mejoras, modificaciones e innovaciones.
- El alumno es capaz de completar todos los pasos en el diseño, implementación y evaluación de un circuito digital de cierta complejidad como un ordenador básico en un chip.

6. SELECCIÓN DE MAX+PLUS II

La elección del paquete MAX+PLUS II para su utilización en los distintos laboratorios de electrónica digital se debió a los siguientes motivos:

- Facilidad de uso. La utilización de un PC y su ejecución en entorno windows lo hace especialmente asequible a los estudiantes que los utilizan por primera vez.
- Coste nulo. Gracias al convenio entre EUROCHIP y Altera se pueden conseguir varias licencias software y un puesto de programación sin ningún coste para la Universidad miembro de EUROCHIP. Además se pueden adquirir los elementos de programación al 50% de su precio a través de este convenio.
- Paquete profesional. El programa MAX+PLUS II de Altera está ampliamente extendido en las empresas electrónicas del entorno, lo que supone un aspecto importante a tener en cuenta de cara a la incorporación de los alumnos al mercado laboral.
- Aportación de conocimientos. Muchos de los aspectos mostrados a través de este paquete son difíciles de mostrar en un laboratorio convencional. Además, muestra las ventajas específicas de la utilización de dispositivos lógicos programables.
- Experiencia del profesorado. Por último, pero no menos importante, la amplia experiencia del equipo de profesores que imparten las asignaturas de electrónica digital en el manejo de las diferentes versiones de este software de Altera fue uno de los factores a tener muy en cuenta a la hora de elegir este paquete.

7. DISPONIBILIDAD DE MAX+PLUS II

El paquete MAX+PLUS II ha sido incluido recientemente entre las ofertas de EUROCHIP a un coste nulo de las licencias del software con un puesto de programación (el precio original del equipo es de más de un millón) y 50% para los elementos de programación o de pruebas, lo que resulta muy beneficioso para la Universidad. A cambio desde EUROCHIP se exige presentar los trabajos realizados por los alumnos y demostrar la difusión que está teniendo.

Algunos de los trabajos realizados por los alumnos durante este curso han sido enviados a Altera a través de EUROCHIP para el paso a una segunda fase donde se solicita, para el curso 94/95, 12 licencias y un programador adicional que nos permitiría hacer extensiva esta experiencia al resto de los alumnos.

Los dispositivos existentes cubren una gran gama de tamaños, desde muy pocas puertas a varios miles. De todas formas, en cuanto a las EPLDs, la limitación suele aparecer por el número de básculas, por lo que nos parece más conveniente hablar de dispositivos de 16 a

1024 flip-flops. De cualquier forma el diseño y la simulación no se limitan a un solo dispositivo por lo que se puede superar ampliamente estas capacidades.

8. CONCLUSIONES

Nuestra experiencia didáctica con este paquete ha sido muy positiva, el programa resulta fácil de aprender (6-8 horas) y permite una profundización en la electrónica digital, tanto en los aspectos de lógica programable como en los aspectos de diseño de circuitos lógicos.

La introducción al uso de EPLDs y FPGAs, también es muy interesante en el entorno industrial del País Vasco donde el empleo de la microelectrónica está chocando con la estructura de pequeñas empresas que requieren series limitadas de producción.

Las extensiones de este paquete en el mercado es importante. Las facilidades proporcionadas por EUROCHIP no deben desestimarse.

9. BIBLIOGRAFÍA

[1] Altera. "MAX+PLUS II Manuals". Altera Corporation. 1994.

[2] R. S. Sandige. "Modern Digital Design". Ed. McGraw-Hill. Cap. 7-7. 1990.

[3] J. L. Martín, P. Ibáñez, J. Ezquerro. "Laboratorio de Electrónica Digital". Ed. Centro de Publicaciones E. T. S. I. I. y T. Bilbao. Septiembre, 1993.

[4] J. Y. Cheung, J. G. Bredeson. "Modern Digital Systems Design". Ed. West Publishing Company. 1990.

[5] T. R. McCalla. "Digital Logic and Computer Design". Ed. Macmillan Publishing Company. 1992.