

EXPERIENCIA EN LA DIDÁCTICA DE DISEÑO MICROELECTRÓNICO

E. Isern, M. Roca, J. Segura, y E. García
Grupo de Tecnología Electrónica. Departamento de Física.
Universidad de las Islas Baleares.
Ctra. Valldemossa km. 7.5
07071- Palma de Mallorca
Tfno: (971) 173207
Fax: (971) 173426
e-mail: dfseir4@ps.uib.es

RESUMEN.- En esta comunicación se ilustra la utilización de una herramienta CAD para ordenador personal (*L-Edit*, de Tanner Tools) en la enseñanza de diseño microelectrónico. La consecución de los objetivos docentes se plantea con una metodología basada en ejemplos de aplicación. La comunicación presenta a modo de ejemplo algunos de los trabajos realizados durante un curso cuatrimestral de diseño microelectrónico.

1.- INTRODUCCIÓN

La enseñanza de la microelectrónica en las Escuelas de Ingeniería o Facultades precisa, de una manera inexcusable, un enfoque de carácter primordialmente práctico para la consecución de los objetivos docentes. Ello requiere la disponibilidad de una infraestructura determinada, tanto a nivel de *hardware* (estaciones de trabajo), como a nivel de *software* (programas de diseño de circuitos integrados). La mayoría de herramientas de diseño de carácter profesional (SOLO2030, DFII, Tanner Research Tools, SOLO1400, Mentor Graphics,...) requieren una inversión económica no siempre justificable, ya sea por lo que respecta al soporte físico (estaciones de trabajo), como a las propias herramientas (licencias). Dicha problemática se ve acentuada cuando se pretende la utilización intensiva de dichos recursos por un número de alumnos elevado. En este marco es donde la posibilidad de utilizar herramientas de diseño que puedan ejecutarse sobre ordenador personal asume un papel preponderante debido al reducido coste de estos equipos. Su uso permite la enseñanza de la microelectrónica a nivel práctico sin la necesidad de una gran infraestructura y facilitando una posterior migración a herramientas profesionales.

2.- UN CURSO PRÁCTICO DE DISEÑO MICROELECTRÓNICO

El curso que se ha desarrollado en la EUP de la UIB está enfocado al diseño *full-custom* en tecnología CMOS con especial énfasis en el diseño de *layout*. Para este objetivo se dispone de dos herramientas de diseño de características similares: Microelectronics de Etienne Sicard [4] (recomendada por Eurochip) y la versión educativa de L-Edit [6], una herramienta de Tanner Tools.

Si bien el hecho de que ambas herramientas puedan ejecutarse sobre ordenadores personales las convierte en opciones igualmente interesantes, una primera evaluación de ambas herramientas nos decidió a la utilización de L-Edit. Las razones fueron, entre otras, la mayor similitud con los entornos de diseño profesionales así como la posibilidad de diseño jerárquico, permitiendo la realización de circuitos más complejos.

El curso se inicia con una introducción teórica a tecnologías y procesos de fabricación. L-Edit permite la presentación de cortes transversales en los diseños realizados, facilitando la comprensión de las diferentes etapas involucradas en el proceso de fabricación. Otro aspecto importante en el análisis y caracterización de circuitos microelectrónicos radica en la posibilidad de simular su funcionamiento a nivel eléctrico. L-Edit soporta la extracción de dispositivos y elementos parásitos a partir del *layout*, facilitando una *netlist* en formato adecuado para la posterior simulación con SPICE o similar. Cabe destacar la posibilidad existente de modificar el fichero de extracciones permitiendo así la ampliación o reducción del conjunto de elementos parásitos que el extractor considerará.

Como ya se ha apuntado anteriormente, en la edición de *layouts* se permite la definición de jerarquías, con lo que un diseño complicado puede realizarse partiendo de diseños más sencillos, definidos como celdas. Esta característica, además de facilitar el propio proceso de diseño, permite reducir la memoria ocupada por éste, posibilitando la creación de circuitos mayores y más complejos.

En resumen, todas estas características, junto a la ya mencionada semejanza del entorno de trabajo de L-Edit con otras herramientas de carácter profesional, hacen de este programa una opción muy atractiva para la enseñanza de la microelectrónica a nivel práctico.

No obstante la herramienta también adolece de ciertas limitaciones, principalmente motivadas por su carácter de *software* educativo de bajo coste. En particular sería de gran utilidad una documentación más extensa y detallada, un entorno de simulación integrado en el entorno de diseño, la posibilidad de obtener ficheros de salida en un formato razonablemente estándar que pudieran ser leídos por otras herramientas, y muy especialmente, el poder realizar diseños cuyo tamaño solamente estuviera limitado por la capacidad del propio ordenador sobre el que se ejecuta la herramienta.

3.- DISEÑO DE CIRCUITOS MICROELECTRÓNICOS CON L-EDIT

En este apartado se indican de forma muy resumida algunas de las características técnicas del programa L-Edit. Una descripción más detallada puede encontrarse en [6].

L-Edit es un *software* de diseño de circuitos integrados a nivel de *layout* originalmente desarrollado para su uso en ordenadores personales. La versión educativa del programa, a la cual hacemos referencia en esta comunicación, proporciona la mayor parte de las herramientas contempladas en la versión profesional, incluyéndose la extracción de circuitos, un verificador de las reglas de diseño (en inglés, *design rule checker*), y un visualizador de cortes transversales. Tales características hacen de la versión educativa de L-Edit una herramienta útil tanto para en docencia como en aplicaciones de investigación.

Para instalar y ejecutar la versión educativa de L-Edit se requiere un sistema con la siguiente configuración mínima:

- Un ordenador con MS-DOS, al menos 640K de memoria RAM y una disquetera de 3.5" de alta densidad.
- Un monitor color con resolución VGA (como mínimo) y una tarjeta de vídeo compatible con un mínimo de 250K de RAM.
- Un ratón, preferiblemente de 3 botones.

Otras mejoras, como la instalación del programa en disco duro, o incluso en una expansión de RAM configurada como disco RAM, incrementan la velocidad de ejecución del programa si bien no son estrictamente necesarias. Finalmente, indicar que L-Edit realiza todas las operaciones en aritmética entera, por lo que no requiere el uso de coprocesador.

La versión educativa de L-Edit presenta, frente a la versión profesional, las siguientes limitaciones:

- La memoria a utilizar está limitada a 640K de RAM del sistema, lo que limita a su vez el tamaño de los diseños a un máximo de unos 50-60K. La equivalencia en número de transistores es difícil de determinar, si bien nuestra experiencia indica que circuitos con unos 200 transistores pueden ser diseñados sin excesivos problemas.
- Los ficheros de salida sólo pueden salvarse en un formato propio de Tanner Research Inc. Aunque esto no afecta a la lectura, edición o impresión de circuitos, sí imposibilita el trasvase a otros entornos de diseño, a excepción de la versión profesional de L-Edit (a partir de la cual sí es posible obtener ficheros en formatos más estándar como CIF o GDS II).
- La versión educativa se ha diseñado para producir una resolución de monitor EGA.
- La documentación se reduce al libro de texto que acompaña al *software* [6], el cual incluye un tutorial acerca del diseño de circuitos integrados CMOS y un manual de referencia básico de L-Edit. Además, debido al bajo coste de la versión educativa, no se ofrece por parte de Tanner Research ni del autor del libro ningún tipo de apoyo en la solución de posibles problemas.

Una vez descrita la herramienta, se comenta a continuación su utilización en las prácticas de un curso de diseño microelectrónico. Posteriormente se ilustrará la explicación con ejemplos de diseño.

4.- EXPERIENCIAS DESARROLLADAS

En este apartado se presenta la experiencia desarrollada durante un curso cuatrimestral de microelectrónica optativo a alumnos de último curso de Ingeniería Técnica. La enseñanza impartida comprende una parte teórica, en la cual se introducen los conceptos básicos de microelectrónica (fabricación y tecnología, diseño y caracterización), y una parte práctica a la que se ha dado mayor énfasis.

Esta parte práctica incluye una introducción al uso de la herramienta de diseño L-Edit. Combinada con una serie de sencillos ejemplos (como el diseño de puertas y bloques secuenciales CMOS básicos) esta introducción proporciona al alumno cierta destreza en el uso de la herramienta así como un apoyo importante a la comprensión de los conceptos teóricos principales. Con esta fase se consigue además despertar el interés de los alumnos, posibilitando así el desarrollo de proyectos de diseño más complejos propuestos como trabajo final de curso. Estos proyectos permiten profundizar en aspectos puntuales de la electrónica y analizar todas las etapas que se deben seguir en el desarrollo de un diseño global (especificaciones, esquemáticos, layout, verificación, y test). En esta última etapa, la metodología seguida ha consistido en proporcionar al alumno un tema específico de trabajo, sugerir la bibliografía pertinente (artículos o libros [1] [3] [5] [7]) y realizar una tarea de tutoría siempre que el alumno lo precise. Una vez desarrollado el trabajo, el intercambio de experiencias entre los diversos alumnos (o grupos), incentivado mediante presentación oral de resultados ante el grupo total (clase), permite una ampliación de sus conocimientos dentro del campo de la microelectrónica. Como ejemplos desarrollados en esta última etapa del curso cabe citar el estudio y caracterización de memorias RAM, el desarrollo de estructuras de test BILBO, análisis de diseño de amplificadores operacionales, o el diseño de convertidores D/A.

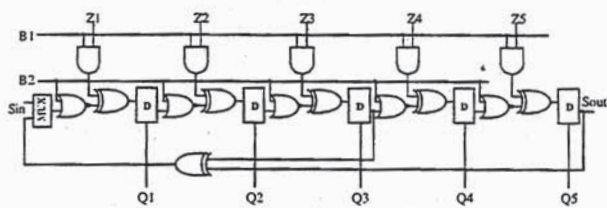


Figura 1.- Diagrama esquemático de una estructura de autotest BILBO

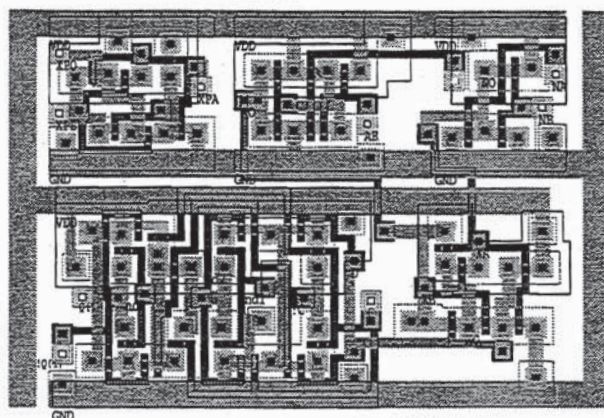


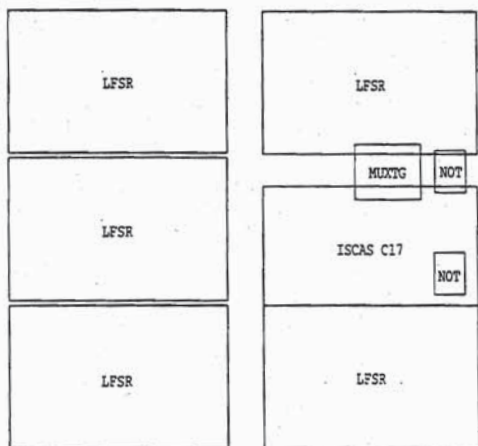
Figura 2.- Celda básica (LFSR) de la estructura BILBO.

5.- EJEMPLOS DE DISEÑO

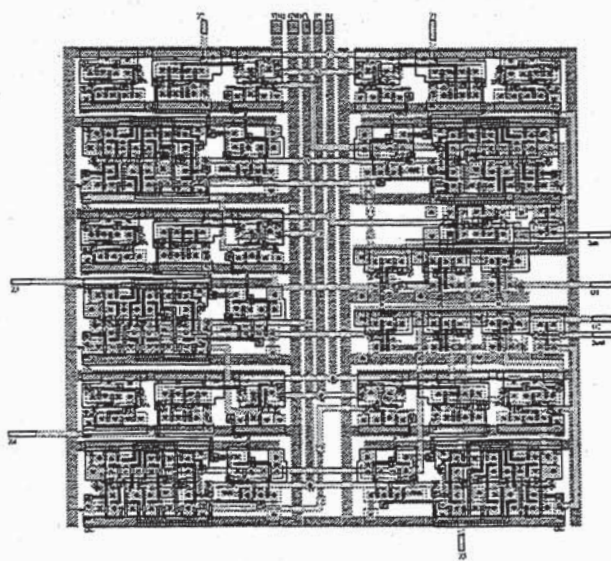
En este apartado se muestran y comentan algunos de los diseños realizados por los alumnos en su trabajo/proyecto de final de curso. En particular, se presentan resultados de dos diseños: una estructura de autotest BILBO [2] y una RAM estática 4x4 bits.

Ambos circuitos presentan como principal característica su modularidad. Gracias a ello pudieron proponerse diseños con un tamaño razonablemente pequeño para que la versión educativa de L-Edit pudiera procesarlos, y que al mismo tiempo la dificultad para ampliar dichos diseños a tamaños más acordes con los circuitos reales fuera prácticamente una cuestión de iterar los módulos ya creados. Es precisamente en este punto donde la posibilidad de utilizar celdas en un diseño jerárquico aparece como un factor decisivo en la elección de la herramienta L-Edit.

La Figura 1 presenta el esquemático de una estructura de autotest BILBO, en la que puede claramente apreciarse su modularidad. En la Figura 2 se muestra el *layout* del módulo o celda básico de la estructura, el cual está a su vez integrado por otras celdas básicas (dos puertas XOR, una AND, una NOR y un flip-flop tipo D).



(a)



(b)

Figura 3.- Esquema de bloques (a) y *layout* (b) del diseño de un circuito que incorpora una estructura de autotest BILBO.

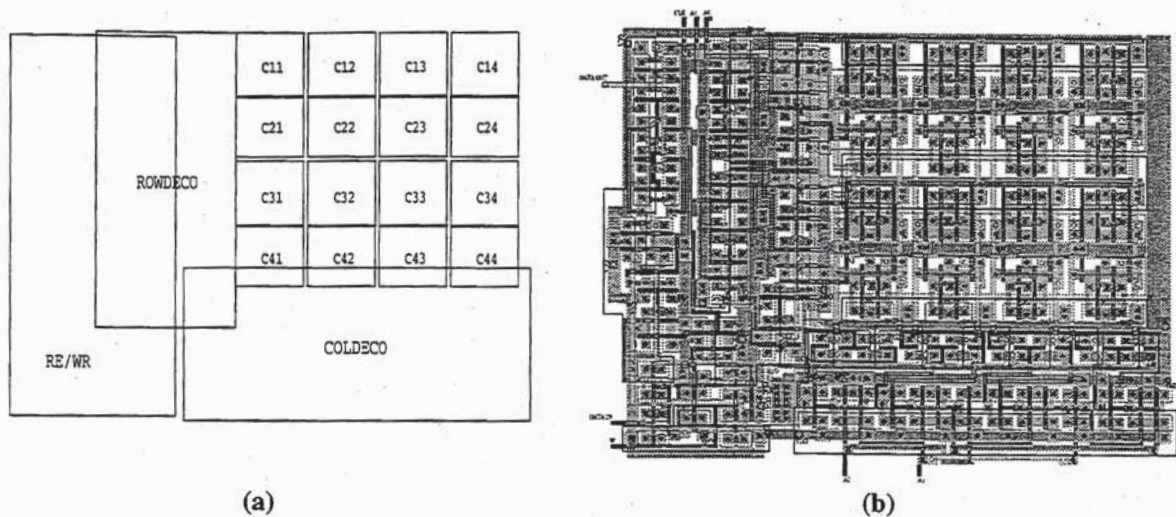


Figura 4.- Esquema de bloques (a) y *layout* (b) del diseño de una RAM estática de 4x4 bits.

Circuito	# transistores	Área (mm ²)
C17 + BILBO	258	0.1617
RAM estática	222	0.1045

Tabla I.- Número de transistores y área aproximada de los diseños realizados con L-Edit

La estructura de test aplicada a un pequeño circuito de cinco entrada (ISCAS c17) se ilustra en la Figura 3, mostrándose las celdas que conforman el diseño, así como el *layout* final del mismo. Para un circuito con más entradas bastaría con añadir celdas básicas (LSFR), con lo que el esfuerzo requerido sería mínimo.

Como segundo ejemplo se muestra un diseño de una RAM estática de 4x4 bits. De nuevo, el diseño está provisto de gran modularidad, aspecto que se haría incluso más patente a medida que se fuera incrementando la capacidad de la memoria. En la Figura 4.(a) se muestra el esquema de bloques o celdas de la memoria, esto es, los decodificadores de fila y columna, el circuito de lectura-escritura, y la matriz de celdas de memoria. El *layout* completo del diseño se presenta en la Figura 4.(b).

Con el objetivo de proporcionar información cuantitativa del tamaño de los circuitos realizados, en la Tabla I se indican el número de transistores y el área aproximada de los diseños. Se ha utilizado una tecnología SCNA (*Scalable CMOS N-well Analog*) y un proceso MOSIS's Orbit Semiconductor n-well 2.0 μm CMOS, proporcionados en uno de los ficheros tecnológicos incluidos en el *software*.

6.- CONCLUSIONES

En esta comunicación se presenta una experiencia en la enseñanza de la microelectrónica con el uso de herramientas de diseño soportadas en entornos de PC. Consideramos los resultados obtenidos en este trabajo muy satisfactorios, ya que se han conseguido los objetivos propuestos en la docencia, estos son, introducción de los conceptos básicos de microelectrónica y aprendizaje en el diseño de circuitos integrados a nivel *full-custom*. De

hecho, la mayoría de alumnos que han seguido la asignatura en cuestión muestran gran interés en el desarrollo de proyectos fin de carrera enmarcados en este entorno de conocimiento, así como una aptitud muy positiva en el manejo de herramientas CAD de características profesionales.

7.- AGRADECIMIENTOS

Los autores quisieran expresar su agradecimiento a todos los alumnos de la asignatura Sistemas Microelectrónicos (3º Telemática curso 1995-96, EUP-UIB) por la dedicación e interés demostrados en la realización de los trabajos que han motivado esta comunicación.

8.- BIBLIOGRAFÍA

- [1] Haskard, M.R. y May, I.C. "Analog VLSI Design. nMOS and CMOS", Ed. Prentice Hall, 1988.
- [2] Fujiwara, H. "Logic Testing and Design for Testability", The MIT Press, 1985.
- [3] Pucknell, D.A. y Eshraghian, K. "Basic VLSI Design. Systems and Circuits", Ed. Prentice Hall, 1988.
- [4] Sicard, E. "Introduction to Microelectronics", Users Manual, Versión 5.1, 1995.
- [5] Uyemura, J.P. "Fundamentals of MOS Digital Integrated Circuits" Addison Wesley, 1988
- [6] Uyemura, J.P. "Physical Design of CMOS Integrated Circuits using L-Edit", Ed. PWS Publishing Company, 1995.
- [7] Weste, N.H.E. y Eshraghian, K. "Principles of CMOS VLSI Design. A systems perspective"; Ed. Addison Wesley, Segunda Edición, 1993.