

INTEGRACIÓN DEL SOFTWARE DE CARÁCTER PROFESIONAL EN LAS PRÁCTICAS DE ASIGNATURAS DEL ÁREA DE MICROELECTRÓNICA

Vicente Herrero, Miguel Ángel Larrea, Rafael Gadea, Joaquín Cerdà, Guillermo Payà

Universidad Politécnica de Valencia. viherbos@eln.upv.es

RESUMEN

La reciente migración de la mayoría de los más importantes paquetes de software de diseño microelectrónico a entornos Linux bajo PC ha abierto la puerta a la posibilidad de incorporar el software de tipo profesional a las prácticas de asignaturas de intensificación del área de microelectrónica en segundo ciclo. El alto precio de las estaciones de trabajo y su costoso mantenimiento hacían del todo imposible este hecho hasta el momento. Sin embargo, cabe analizar las características de este software y preguntarse por la idoneidad de su uso. Dada la complejidad de esta situación, planteamos la siguiente experiencia que en la actualidad se está llevando a cabo en la asignatura Circuitos Microelectrónicos en la ETSIT de la UPV.

1. MARCO DE LA EXPERIENCIA

La asignatura de Circuitos Microelectrónicos se sitúa en la intensificación de electrónica, dentro del segundo ciclo del plan de estudios de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de Valencia. Se trata de una asignatura obligatoria de especialidad, donde se presentan a los alumnos los conocimientos y técnicas necesarios para poder diseñar circuitos microelectrónicos a medida y a semimedida (*full* y *semicustom*). Desde sus inicios, los docentes encargados de su diseño y evolución han impreso un carácter eminentemente práctico en su desarrollo. De hecho, su distribución de créditos (2,5 créditos de prácticas /2 créditos de teoría) y su método de evaluación favorecen la aplicación de los contenidos teóricos, por encima de un excesivo énfasis en aspectos como la modelización de los dispositivos, sin caer en el error de obviar los pilares básicos de conocimientos teóricos que cualquier ingeniero microelectrónico debe de conocer para fundamentar una visión crítica de los resultados obtenidos en el proceso de diseño.

La asignatura sufrió, con el vigente Plan de Estudios, una disminución importante de créditos, que obliga a que el alumno empiece de manera casi simultánea prácticas y sesiones teóricas. Esto implica un esfuerzo extra de sincronización de cara a los docentes. La reducción de créditos fué congruente con la disminución en el interés práctico del Diseño Básico VLSI, técnica asentada a principios de los 90, frente al de la Lógica Programable. Durante años nuestro departamento había enfatizado la formación práctica VLSI con el uso intensivo de las herramientas de CAD profesional disponibles [1] y al fin, dada su escasez, a dar entrada al CAD semiprofesional como alternativa válida [2] que, al fin, terminaría por imponerse.

Pero la naturaleza vocacional de la Intensificación Electrónica invitaba a reintroducir el CAD que los mismos alumnos habían dejado de lado años atrás. En los cursos 2001-2002 y 2002-2003 se llevó a cabo como experiencia piloto respaldada por un proyecto AME2-3 (*Ayuda a la Mejora de la Enseñanza*), referencia 02-225, para evaluar la posibilidad de reintroducir CAD profesional para Diseño Microelectrónico en la asignatura. El software

elegido fue el entorno Cadence (concretamente los paquetes IC y SPR) operando sobre Estaciones de Trabajo Sun en Solaris 8. El resultado fue tan positivo que en el último curso, varios grupos de voluntarios llegaron a realizar prácticas y trabajos de evaluación en dicho entorno, con las dificultades que la novedad y la falta de experiencia provocaron. La mayoría de los problemas fueron resueltos con éxito pero quedó en evidencia que la mayor dificultad era la falta de medios, tanto de Estaciones de Trabajo como de licencias del software.

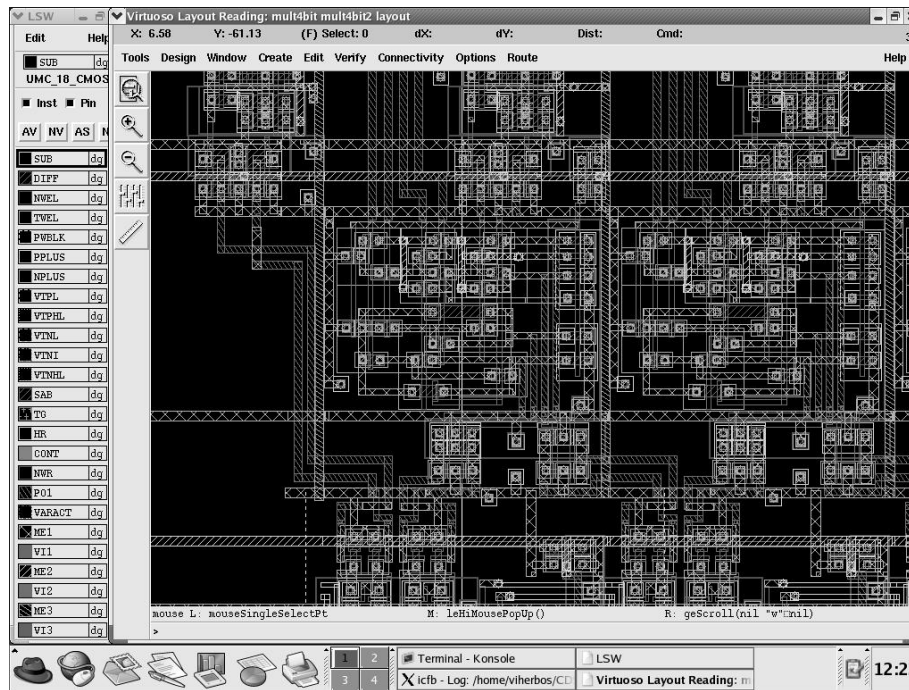


Ilustración 1. Multiplicador 4 bits en tecnología UMC0.18u

En paralelo a la experiencia realizada en Circuitos Microelectrónicos, también se evaluó la introducción de software profesional en otras asignaturas como, por ejemplo, en Diseño de Sistemas Integrados Digitales [3] (optativa de 9º cuatrimestre de la intensificación de electrónica), donde se profundiza en las técnicas de diseño digital y verificación empleando Verilog. En este caso, el éxito fue rotundo desde un principio y las dificultades de introducción de este tipo de herramientas fueron casi inexistentes. Los motivos fueron principalmente dos: Primero el carácter de la asignatura y el reducido número de estudiantes; la motivación para el trabajo de los estudiantes reduce las dificultades. Segundo el propio software; existen gran cantidad de sintetizadores y simuladores bajo el entorno habitual de trabajo (Windows®) y la mayoría de herramientas de emplazamiento y rutado para FPGAs, dispositivos empleados en las prácticas de la asignatura, funcionan también bajo dicho entorno.

La tendencia actual en la docencia de asignaturas del área de microelectrónica, especialmente en los cursos más avanzados, apunta a introducir paulatinamente las prácticas con software profesional en sus temarios. Tenemos constancia de que en la Universidad Politécnica de Madrid, en la Universidad de las Palmas de Gran Canaria o en la Universitat Politècnica de Catalunya, por poner algún ejemplo, hay asignaturas de libre elección de segundo ciclo en las que se emplea el entorno Cadence. La tendencia se da también en otras universidades europeas como las inglesas y francesas. Pero, por contra, en Estados Unidos predomina el uso de software educacional como por ejemplo LASI [4], Magic, Electric,

MicroWind o Alliance [5] o semiprofesional como Tanner Tools. Este software en la mayoría de ocasiones ha sido creado en las mismas universidades que lo imparten y servido de semilla para el software comercial. Su fácil empleo y disponibilidad sobre plataforma PC permiten centrar la formación en los aspectos esenciales del Diseño VLSI pero tienen la desventaja de tener escaso soporte técnico, disponen de pocos kits de diseño actualizados y no soportan metodologías de implementación aptas para afrontar diseños de cierta complejidad.

Bajo nuestro punto de vista, aún impulsados por la necesidad de actualizar las enseñanzas que impartimos, debemos mantener una posición ligeramente conservadora, para evitar fracasos que repercutan en la docencia de las asignaturas del área de microelectrónica. Por ello, planteamos la posibilidad de que el alumno elija el tipo software con el que quiere trabajar, sin renunciar a recibir la suficiente información para que en su futuro profesional, pueda manejar herramientas profesionales con mayor soltura. De esta manera planteamos dos programas de prácticas que discurren en paralelo, uno de ellos realizado con los paquetes Tanner Tools/Cadence PSD/Mentor Graphics y el otro con el IC de Cadence. El objetivo de las prácticas es común en cada una de ellas, de hecho el planteamiento es similar aunque los medios sean distintos. Aparte se lleva a cabo un seminario adicional de dos sesiones (6 horas) para que los alumnos que hayan escogido Tanner Tools conozcan las características más avanzadas de Cadence. De este modo se garantiza que el alumno trabaje en ambos entornos, especializándose en aquél que considere más interesante, y sobre el que realizará el trabajo de evaluación de la asignatura. En el punto siguiente detallaremos el procedimiento de prácticas planteado, así como, su secuenciamiento.

Cabe destacar, que los conocimientos teóricos adquiridos en la asignatura se ilustran de igual manera en un programa de prácticas y en el otro. De igual manera, las capacidades de ambos paquetes de software permiten el profundizar adecuadamente en dichos contenidos. Aunque en el caso del software profesional, gozamos de un mayor nivel de control por un lado, y de una posible mayor automatización del proceso de diseño por otro. Este hecho nos permite una visión más amplia y un posible aumento en la complejidad de los diseños a tratar.

2. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

En los puntos sucesivos vamos a describir el planteamiento y la puesta en práctica de la experiencia propuesta para la asignatura de Circuitos Microelectrónicos.

2.1. MIGRACIÓN A LINUX. SOFTWARE EMPLEADO

En el último año hemos podido observar como la mayoría de las empresas de software EDA han comenzado a migrar el grueso de sus paquetes de herramientas a entornos Linux (mayormente se recomienda la distribución Red Hat). Esto se debe a una serie de factores entre los cuales vamos a mencionar los que a nosotros nos parecen más decisivos: La “madurez” del sistema operativo Linux, la competencia creciente de las plataformas PC hacia las estaciones de trabajo en relación potencia de cálculo/precio y por último la facilidad de migración del software tradicionalmente desarrollado bajo UNIX hacia el entorno Linux.

Esta migración hacia Linux va a posibilitar a los laboratorios docentes eliminar los gastos de actualización de sus costosas estaciones de trabajo y agilizar de esa manera su

mantenimiento, sin por ello, perder en potencia de cálculo. Sin embargo, una migración total hacia Linux, aunque deseable desde un punto de vista práctico, todavía no es posible pues mucho del software que se sigue utilizando no dispone de una versión estable en este entorno. Es por ello, necesario mantener un entorno dual con instalaciones de los sistemas operativos Windows ® y Linux.

Otro punto positivo a favor del entorno Linux, es la gran cantidad de herramientas de desarrollo auxiliares (herramientas de programación, compiladores, editores, etc) disponibles como software abierto para su posible uso. Este hecho facilita por ejemplo, la elaboración de pequeñas utilidades destinadas por ejemplo al tratamiento o modificación de librerías, netlist etc que en ocasiones se hacen necesarias en el transcurso del proceso de diseño.

Dentro del entorno dual, se ha empleado como software de carácter docente Tanner Tools v.10 (básicamente en la Edición Física de diseños full y semicustom aunque se puede emplear también en la captura de esquemas y su simulación eléctrica), con Cadence PSD (captura de esquemas y simulación eléctrica, en las que los alumnos ya están familiarizados [6]) y Mentor Graphics (captura del diseño lógico desde edición gráfica de HDLs, verificación lógica y síntesis para diseño semicustom) bajo Windows ® y el paquete IC5.0 de Cadence bajo Linux Red Hat v.9 (aunque la versión recomendada era la 7.2). Tanto el software de carácter docente como el profesional, así como los kits de diseño necesarios para trabajar son proporcionados a la UPV por el programa EUROPRACTICE, bajo acuerdos de uso docente.

2.2. PLANTEAMIENTO DE LAS PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA

Tras una primera sesión de demostración en la que se muestra a los alumnos las dos herramientas disponibles, se pide a los grupos de trabajo formados por dos personas, que escojan en que entorno prefieren desarrollar sus prácticas y su trabajo de evaluación. Es conveniente advertir a los alumnos sobre las posibles dificultades que pueden tener que afrontar dependiendo de su elección.

La distribución de prácticas planteada, así como los conceptos que pretenden abarcar quedan reflejados en la siguiente tabla, junto con aquellos conceptos que consideramos propios del uso de la herramienta profesional:

Práctica	Conceptos Comunes a Desarrollar	Conceptos adicionales en Cadence
Demo de los 2 entornos	Conceptos básicos sobre Edición y Verificación del Layout.	Integración de herramientas en el entorno Design Framework II
<u>Diseño Eléctrico de un FF tipo D Master/Slave</u>	Jerarquía en Edición de Esquemáticos. Testbench de Simulación.	Parámetros CDF y Jerarquía en Parámetros de Simulación.
<u>Diseño Eléctrico de un Trigger Schmitt</u>	Simulaciones Paramétricas.	Barridos de Simulación con Múltiples Parámetros.
<u>Diseño Eléctrico de un Generador de Paridad</u>	Funcionamiento de la Lógica Dinámica. Dimensionado del Buffer de salida.	

<u>Diseño Físico del Trigger Schmitt</u>	Edición de Layouts. Manejo de las Capas. DRC, Extracción y Simulación	Empleo y diseño de P-Cells. Efectos de segundo orden en tecnologías submicra.
<u>Diseño Físico del FF tipo D Master / Slave</u>	Edición Jerárquica de Layouts. Estrategias en el Diseño Físico.	Parámetros CDF y P-Cells.
<u>Diseño Físico del Generador de Paridad.</u>	Extracción y Resimulación de Layouts.	

Tabla 1

Los conceptos adicionales que se exponen en Cadence se corresponden con los medios de automatización y la versatilidad que las herramientas comerciales de alto nivel ponen al alcance de sus usuarios por diversos motivos. Entre estos motivos se incluyen tanto el principio de ocultación de la complejidad para facilitar el diseño como la posibilidad de un control preciso del procedimiento de diseño. Es decir, el diseñador puede escoger el nivel al que desea trabajar sin preocuparse por los mecanismos subyacentes de la herramienta. Por contra, una herramienta semiprofesional como Tanner Tools concede el control absoluto sobre el proceso de diseño y así se realizan incluso diseños pseudo-medida, esto es con *FlexiBlocks* de células estándar, generables automáticamente desde una descripción estructural o HDL sintetizada, junto a otros bloques a medida analógicos o digitales, aún al precio de trabajar con kits obsoletos.

Este balance entre control y automatización debe de ser sopesado por el docente en el transcurso de las prácticas, sobre todo en las primeras, para conseguir que el alumno ponga en práctica los conceptos expuestos en teoría.

Con el objeto de que el alumno prepare las prácticas adecuadamente, se han generado un conjunto de cuadernillos, uno para cada práctica en cada entorno, más un par de documentos adicionales sobre configuración de la herramienta y el puesto de trabajo. Las sesiones de demostración se plantean como prácticas guiadas donde la intervención del alumno se ciñe a comprender y seguir, paso a paso, sobre su puesto de trabajo las explicaciones del profesor. En el resto de prácticas, la intervención del profesor se minimiza, resolviendo las dudas puntuales y permitiendo así adquirir soltura de cara a la realización del trabajo de evaluación.

2.3. LA EVALUACIÓN DE LA ASIGNATURA

La evaluación se realiza mediante un trabajo de diseño por grupos tutorizados de dos alumnos. Se proponen diseños de libre elección, únicos para cada Grupo, nunca triviales. El alumno desarrolla, en libertad y en equipo, las enseñanzas VLSI recibidas y es evaluado en la defensa oral de su diseño. Esto permite señalarle sus aciertos y errores: es el último acto docente de la asignatura. El esfuerzo de diseño para los trabajos propuestos es del orden de 72 h, relativamente alto gracias al dominio que de la herramienta CAD empleada (en base a Tanner Tools o en IC de Cadence) tienen los alumnos. Este método exige una gran dedicación de los alumnos y del profesorado, pero obtiene como resultado una comprensión de los conceptos por medio de su puesta en práctica, lo que afianza su aprendizaje.

3. DISCUSIÓN SOBRE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE AMBOS TIPOS DE SOFTWARE

Una vez logrado poner en marcha, no sin dificultades, un entorno de trabajo de carácter profesional con la herramienta Cadence, conviene argumentar las razones de su introducción en una asignatura como la que nos ocupa. Desde el punto de vista de la docencia en asignaturas optativas o incluso de tercer ciclo es indudable el valor curricular de software, dado que su potencia permite llevar a cabo labores de carácter más “investigador”. Sin embargo cabe preguntarse si en asignaturas de un nivel medio, como es el caso, puede tener un efecto beneficioso o, por el contrario, su uso oscurece los conceptos teóricos básicos. La respuesta que obtenida a esta pregunta, fruto de nuestra experiencia personal, es que, debido a que la herramienta profesional permite diversos niveles de utilización, el docente puede adaptar este uso (mediante una configuración adecuada y prescindiendo de algunas opciones avanzadas) con el fin de enfatizar aquellos conceptos que sean más interesantes. Sirva como ejemplo la introducción gradual que se hace a los alumnos de los efectos de segundo orden de las tecnologías submicra y las posibilidades del kit de diseño empleado; en las primeras dos prácticas la herramienta se presenta al alumno totalmente configurada y con unas dimensiones de los transistores por defecto adecuadas, para evitar que el alumno pierda la noción de lo que está haciendo. Gradualmente, conforme el alumno adquiere los conocimientos de modelización, caracterización y tecnología de fabricación, en las prácticas 3, 4 y 5 se introduce la necesidad de realizar simulaciones paramétricas para ajustar las dimensiones de los transistores ante la inviabilidad de su cálculo manual y como se desvían los resultados esperados de aquellos que preveen los modelos más sencillos.

De igual modo debe controlarse la metodología de uso de la herramienta en las prácticas destinadas a la elaboración de layouts, ya que es en este proceso donde el entorno profesional ofrece un mayor número de ayudas y procedimientos de automatización. Un ejemplo claro se da en el posible abuso que los alumnos puedan hacer de las librerías de dispositivos físicos (transistores MOS, sobretodo) en la edición de layouts; para que el alumno emplee los conceptos aprendidos en los temas de modelización del MOS y de procesos de fabricación, es imprescindible que se potencie el grado de compactación de los layouts (por ejemplo el del FF Master/Slave) y de compartición de recursos entre dispositivos adyacentes, para que de esa manera el alumno se vea forzado a diseñar capa a capa dichos dispositivos, alcanzando un grado de optimización muy superior al de un layout generado de manera más automatizada.

Si bien, como ha quedado patente, las ayudas al diseño pueden ser contraproducentes, no es menos cierto que la filosofía de integración del conjunto de herramientas en un paquete compacto como es Design Framework II, ofrece grandes posibilidades docentes, muy a tener en cuenta. La fusión de las distintas subherramientas en el entorno de diseño permite, por ejemplo, editar simultáneamente las distintas vistas (esquemáticos, símbolo layout, etc) de las células, viendo los efectos que se producen en cada una de ellas al alterar alguna propiedad de manera instantánea. La interrelación entre las utilidades del entorno, se realiza en tiempo real y permite, entre otras cosas, identificar cada uno de los elementos de un esquemático dentro de un layout sin ningún esfuerzo y con total claridad. Es posible realizar simulaciones desde el editor de layouts para verificar el funcionamiento, contrastándolas con aquellas realizadas sobre los esquemáticos, pudiendo aprovechar los bancos de pruebas elaborados para estos últimos, algo que con Cadence PSD/Tanner Tools obliga a una disciplina metodológica.

Dado el carácter profesional de Cadence, si lo deseamos o es necesario, podemos acceder hasta los niveles más bajos de configuración y utilización del software. Sin embargo, las tareas de configuración son especialmente arduas y aportan poco a la docencia, por lo que conviene ocultarlas en la medida de lo posible a los alumnos. Aunque conviene introducirlos en los contenidos básicos del kit de diseño de cara a la realización del trabajo de evaluación de la asignatura, donde surgen los problemas más relacionados con el uso de la herramienta.

Por lo dicho hasta ahora, la experiencia de introducir herramientas profesionales puede ser muy positiva pero conviene adoptar una posición conservadora y apostar por su introducción gradual. Incluso puede ser interesante ofrecer un programa de prácticas en ambos entornos, como el que se realiza en la asignatura que nos ocupa. No hay que despreciar las características del software de carácter docente.

El paquete de Tanner, de un carácter no tan marcadamente profesional, tiene como mayor virtud, también su mayor defecto, su simplicidad de uso. Puesto que la edición de esquemas no queda bien resuelta en Tanner, tanto ésta como la simulación de los mismos se realiza bajo otra herramienta (Cadence PSD14.2 con PSpice). Esto crea un entorno de trabajo carente de integración. Además, las herramientas adicionales para la automatización del diseño son bastante pobres, agravado con la desaparición del Front-End semicustom que representaban ViewDraw/NetTran/GateSim; este curso hemos resuelto esta pérdida con el uso de Mentor Graphics Sin embargo, las herramientas de Tanner, aún con peores características que las del entorno Cadence, son tan fáciles de utilizar como ricas son las librerías analógicas y digitales de que dispone y clara su metodología. En suma, la curva de aprendizaje de este tipo de software siempre es más suave permitiendo hacer énfasis en lo básico. Sumado a ello, la ejecución del software de Tanner, es totalmente viable en máquinas de peores características que las exigidas por entornos profesionales. Esto supone un menor coste de mantenimiento de los laboratorios.

4. CONCLUSIONES Y RESULTADOS

Tras una primera introducción de prueba durante el curso 2002-2003, el éxito obtenido nos alentó a resolver los problemas pendientes. Básicamente, buscar un entorno operativo sobre PC, solucionado con la migración a Linux antes descrita, y por otra parte mejorar la configuración de la herramienta para paliar los problemas de índole “docente” de Cadence.

En el curso 2003-2004 se ha conseguido mantener un programa paralelo de trabajo con las dos herramientas mencionadas (Tanner y Cadence) con objeto de ofrecer al alumno la posibilidad de elección entre los dos. Este hecho permitirá a aquellos alumnos interesados en el área de microelectrónica profundizar en este campo y preparar el camino hacia asignaturas posteriores que complementan los conocimientos adquiridos en Circuitos Microelectrónicos, como Diseño de Sistemas Integrados Digitales y Diseño de Sistemas Mixtos. Debido a que el software profesional de Cadence abarca prácticamente todos los ámbitos del diseño microelectrónico y enlaza perfectamente con herramientas complementarias (por ejemplo, Synopsys para síntesis), sus conocimientos de la herramienta les serán muy valiosos. Especialmente, puede ser sin duda muy interesante la posibilidad de realización de Proyectos Final de Carrera en microelectrónica con estas herramientas, donde se puedan investigar a fondo todas las posibilidades de las mismas.

Como es previsible, la cantidad de trabajo extra para el docente derivada del hecho de emplear software profesional es muy elevada, sobre todo en la fase de introducción. Por otra parte, las características docentes antes mencionadas, sumadas a la motivación adicional del alumno por el hecho de emplear herramientas que posiblemente vuelva a utilizar en su futuro profesional, así como la posibilidad de incrementar la calidad de los trabajos de evaluación, hacen del todo recomendable llevar a cabo la experiencia de introducir software profesional en este tipo de asignaturas.

- [1] M. Larrea, V. Domínguez, R. Gadea, J.L. Marín, “Developing VLSI Design Skills: Reflections on a Training Experience”. Fourth Eurochip Workshop, 1993.
- [2] M. Larrea, J.L. Marín y R. Gadea, “Docencia y Diseño Básico VLSI con Tanner Tools”. TAAE 1996.
- [3] V.Herrero, J. Cerdà, R. Gadea, F. Ballester, “Experiencia de diseño sobre dispositivos programables empleando Xilinx Foundation”. TAAE 2002.
- [4] URL : http://www.mrc.uidaho.edu/vlsi/cad_free.html
- [5] URL : <http://www-asim.lip6.fr/recherche/alliance/>
- [6] M. Larrea, G. Ramos, V. Herrero, J.L. Marín, “Diseño Electrónico por Ordenador”. Ed. U.P.V., 2002