

Prólogo

Los programas de simulación de circuitos eléctricos y electrónicos son útiles para comprobar la viabilidad y el cumplimiento de las especificaciones de tales circuitos antes de proceder a su fabricación. Realizar estas tareas mediante la resolución manual de las ecuaciones representativas del comportamiento físico de un circuito puede resultar prácticamente imposible, especialmente si el circuito está formado por un número considerable de elementos. Los programas de análisis por ordenador pueden eliminar este problema o, al menos, reducirlo hasta límites aceptables. Así, un programa de ordenador adecuado para el análisis de circuitos permite estudiar el funcionamiento de redes con muchos elementos y, además, hacerlo en un intervalo de tiempo aceptable. Desde esta perspectiva puede decirse que, en general, un programa de simulación de circuitos parte de un archivo de texto (*netlist*) que describe el circuito (elementos y conexiones); luego transforma el archivo en un conjunto de ecuaciones y las resuelve para obtener los resultados buscados.

Uno de los programas de simulación más conocidos es el denominado SPICE (*simulation program with integrated circuit emphasis, programa de simulación con énfasis en circuitos integrados*)¹. Fue desarrollado² en el Electronics Research Laboratory de la Universidad de California en Berkeley (UC Berkeley; California, Estados Unidos) por Laurence Nagel bajo la dirección del profesor Donald Pederson³. Hasta cierto punto puede considerarse que SPICE es un producto derivado del programa CANCER (*computer analysis of nonlinear circuits, excluding radiation, análisis por ordenador de circuitos no lineales con exclusión de la radiación*), en el que Nagel había trabajado bajo la dirección del profesor Ronald Rohrer.

La primera versión de SPICE, presentada en 1973, estaba elaborada en FORTRAN⁴ y formulaba las ecuaciones del circuito basándose en el análisis por nudos. En 1975 apareció, también en FORTRAN, una versión mejorada. La última versión de SPICE escrita en FORTRAN fue la denominada 2G.6, que se hizo pública en 1983. Otra evolución de SPICE se debe a Thomas Quarles, supervisado por Arthur Richard Newton (también profesor en la UC Berkeley)⁵; apareció en 1989 y estaba elaborada utilizando el lenguaje C⁶.

Desde su aparición, SPICE fue un programa de dominio público; la UC Berkeley lo distribuía gratuitamente, cargando únicamente un pequeño coste nominal. SPICE inspiró y sirvió como base para el desarrollo de otros programas de simulación de circuitos, tanto en el ámbito académico como en el mundo de la industria. Algunos de ellos han sido o son explotados comercialmente.

¹ Los programas mencionados en esta sección son designados mediante diversas combinaciones de letras mayúsculas y minúsculas, sin que exista un acuerdo unánime acerca de cuáles son las más adecuadas. Las utilizadas en este texto derivan únicamente de las preferencias del autor.

² Véase, por ejemplo, <http://en.wikipedia.org/wiki/SPICE>.

³ Véase, por ejemplo, http://en.wikipedia.org/wiki/Donald_Pederson.

⁴ FORTRAN (*IBM mathematical formula translating system, sistema de traslación de fórmulas matemáticas de IBM*) es un lenguaje de programación desarrollado por John Backus en las instalaciones de IBM en San José (California, Estados Unidos). Su primera versión apareció en 1957. Está especialmente indicado para realizar cálculos matemáticos y de ingeniería. Véase, por ejemplo, <http://en.wikipedia.org/wiki/FORTRAN>.

⁵ Véase, por ejemplo, http://en.wikipedia.org/wiki/A._Richard_Newton.

⁶ C es un lenguaje de programación que apareció en 1972. Fue diseñado por Dennis MacAlistair Ritchie (graduado en física y matemática aplicada en la Harvard University) cuando trabajaba en los Bell Labs. C está fundamentalmente orientado a la implementación de sistemas operativos, especialmente el conocido como Unix. Se trata de un lenguaje que produce un código muy eficiente y es utilizado tanto para crear software de sistemas como para crear aplicaciones. Véase, por ejemplo, http://es.wikipedia.org/wiki/Lenguaje_C.

Uno de los desarrollos más conocidos fue PSpice¹ (*personal simulation program with integrated circuit emphasis, programa personal de simulación con énfasis en circuitos integrados*). Elaborado por MicroSim, estuvo disponible a partir de 1984 y fue la primera versión del SPICE de la UC Berkeley capaz de funcionar en un PC. En 1997-98 MicroSim se fusionó con OrCAD² (*Oregon + CAD -computer aided design, diseño asistido por ordenador-*), pero la firma resultante no tuvo éxito, siendo adquirida en 1999 por Cadence Design Systems³. Se trata de una compañía con sede en San José (California, Estados Unidos), fundada en 1988 y dedicada a proporcionar servicios de ingeniería y desarrollar software relativo a la automatización del diseño electrónico (EDA, *electronic design automation*).

Los paquetes de software y las compañías a los que estamos aludiendo no son los únicos enfocados al análisis y diseño de circuitos. Así, en una revista *online* (NeoTeo; <http://www.neoteo.com>) accesible, entre otras posibilidades, desde el suplemento tecnológico (<http://www.abc.es/tecnologia/informatica-internet-telecomunicaciones.asp>) del diario ABC (Madrid) puede encontrarse, en una entrada del 27 de febrero de 2012 (<http://www.neoteo.com/foro/f9/lista-de-disenadores-y-simuladores-de-circuitos-electronicos-2876>), una lista de diseñadores y simuladores de circuitos eléctricos y electrónicos. Sin embargo, la experiencia adquirida en el Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones, con sede en la Escuela de Ingeniería de Telecomunicación (EIT-Vigo), de la Universidad de Vigo a lo largo de casi veinte años de docencia en aspectos relacionados con el diseño y la simulación de circuitos nos ha aconsejado utilizar los paquetes SPICE o PSpice suministrados por Cadence u otras compañías⁴.

Entre los productos que Cadence oferta sobre una base comercial se encuentran varios basados en herramientas tipo PSpice desarrollados por OrCAD, que son adecuados para diseñadores, individuales o integrados en pequeños equipos, de tarjetas de circuitos impresos (PCB, *printed circuit board*). Entre estos productos se incluye, desde septiembre de 2012, el denominado OrCAD PCB Designer Lite DVD (OrCAD 16.6 Demo Software), que puede ser descargado gratuitamente a partir del sitio <http://www.cadence.com/products/orcad/pages/downloads.aspx>. Según la empresa propietaria, el paquete OrCAD 16.6 (el más reciente entre los de este tipo que ha puesto Cadence en el mercado) permite adquirir experiencia acerca de las tareas de diseño y simulación utilizando herramientas de esta naturaleza; de hecho, incluye versiones de demostración de diversos programas de captura de esquemas (definición del circuito) y análisis y diseño de circuitos eléctricos y electrónicos.

El OrCAD 16.6, como la mayoría de otros paquetes de software similares de Cadence, está orientado preferentemente a la consideración de circuitos electrónicos de naturaleza digital. Esta característica lo aleja hasta cierto punto del ámbito al que se refiere este texto, centrado prioritariamente en el análisis de circuitos eléctricos (es decir, sin componentes electrónicos) de comportamiento analógico. De hecho, el programa de captura de esquemas del OrCAD 16.6 es una versión de PSpice específicamente adaptada a las características de los circuitos electrónicos digitales. Por el contrario, el antiguo PSpice de MicroSim, aun incluyendo capacidades relativas

¹ Véase, por ejemplo, <http://en.wikipedia.org/wiki/PSpice>.

² Véase, por ejemplo, <http://en.wikipedia.org/wiki/OrCAD>. La sede central de OrCAD estaba en Hillsboro (Oregón, Estados Unidos).

³ Véase, por ejemplo, http://en.wikipedia.org/wiki/Cadence_Design_Systems.

⁴ En todo lo que estamos exponiendo se da por supuesto implícitamente que los circuitos analizados operan a frecuencias lo suficientemente bajas como para que puedan ser estudiados con ayuda de la teoría convencional de circuitos (TCC); es decir, sin recurrir a la más completa y exacta teoría del electromagnetismo formulada por James C. Maxwell. Ahora bien, en la EIT-Vigo también se imparte docencia relativa a circuitos que operan a frecuencias de GHz y superiores, de modo que su comportamiento ya no se ajusta a los postulados de la TCC. Las tareas de CAD correspondientes a estos circuitos implican el uso de simuladores muy distintos de aquéllos a los que nos estamos refiriendo ahora.

a tales circuitos, está orientado preferentemente a circuitos eléctricos analógicos. En consecuencia, y dado que los alumnos a quienes va dirigido este texto no han tenido contacto previo con simuladores de circuitos, se ha considerado preferible utilizar la versión convencional de PSpice a pesar de que el OrCAD 16.6 es más versátil y potente. Así pues, es a ella a la que nos referiremos en lo sucesivo, si bien cabe precisar que, una vez que se ha conseguido cierta familiaridad con la misma, la adaptación a la segunda es bastante sencilla. Dicha versión convencional de PSpice puede ser obtenida gratuitamente, por lo menos en sus versiones más simples, a partir de diversos sitios de internet. En concreto, para los propósitos de este texto se sugiere utilizar la versión PSpice 9.1 Student (diseñada para el sistema operativo Windows, de Microsoft), accesible a partir de la página <http://pspice.softonic.com/descargar>, mantenida por Softonic¹, una empresa de descarga de software fundada en 1997 con sede en Barcelona. A ella nos referimos en lo sucesivo (véase la figura P.1).

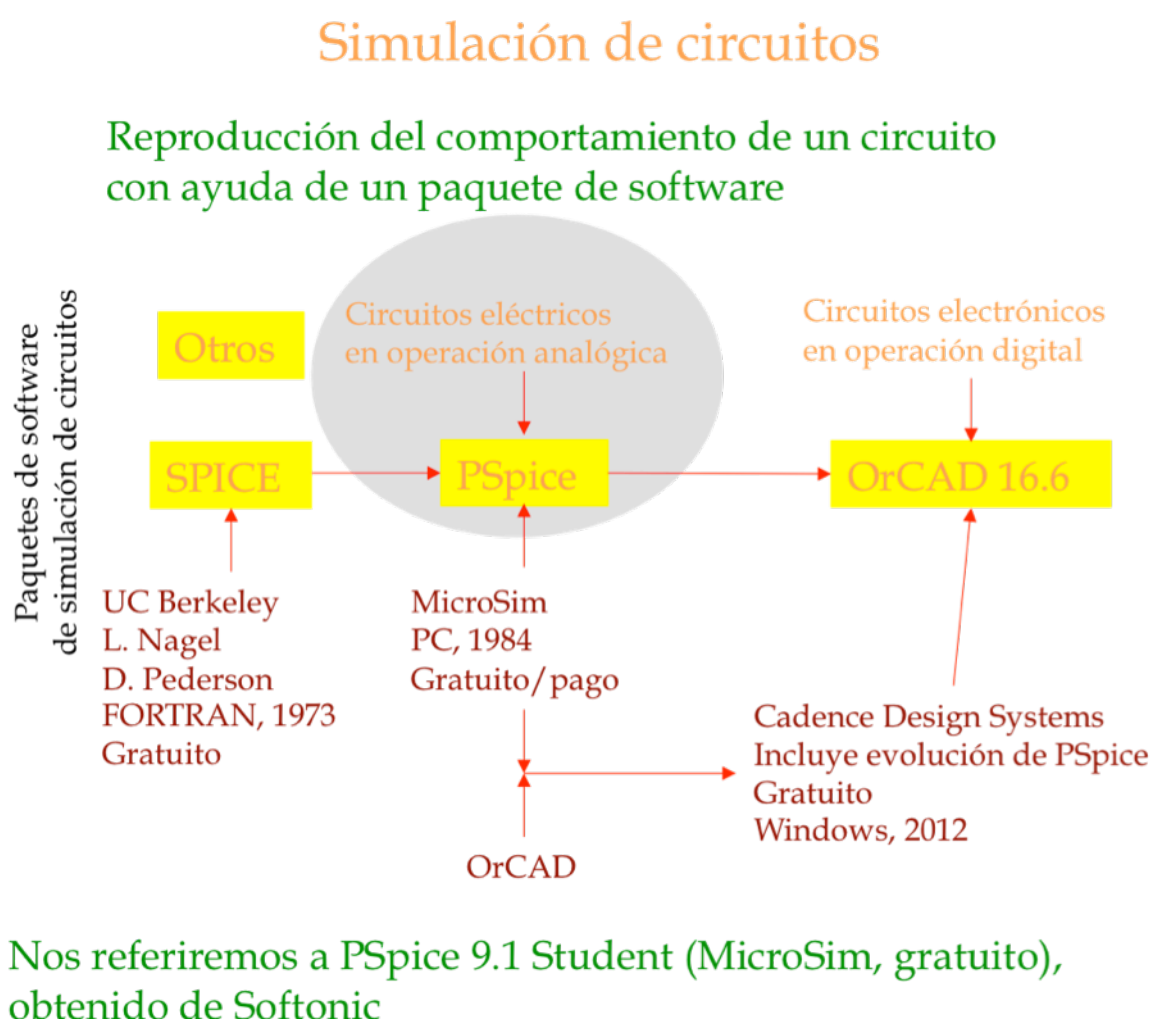


Figura P.1. Relaciones entre distintos programas de simulación de circuitos eléctricos lineales con indicación del considerado en este texto.

¹ Véase, por ejemplo, <http://en.wikipedia.org/wiki/Softonic.com>.

En los temas que siguen se indica cómo puede utilizarse PSpice para analizar circuitos de relevancia en el contexto de la asignatura a la que se refiere este manual. Dichos temas son los que se mencionan brevemente a continuación (véase la figura P.2).

- En el tema I se describen las características generales de PSpice: zona de dibujo, elementos, edición, etcétera.
- En el tema II se indica cómo analizar circuitos sometidos a excitaciones del tipo régimen permanente continuo (es decir, las excitaciones no varían con el tiempo).
- El tema III está dedicado a la consideración de circuitos en los que se produce un régimen transitorio como consecuencia del paso, en un instante nulo, de un régimen permanente continuo a otro distinto. El objetivo del análisis es obtener una o más curvas en las que se represente la variación en el tiempo de las corrientes y las tensiones en los distintos elementos.
- En el tema IV se trata el caso de circuitos que operan en régimen sinusoidal permanente a una frecuencia fija. Los resultados del análisis son los fasores correspondientes a las corrientes y las tensiones en distintos puntos del circuito.
- El tema V también se ocupa del régimen sinusoidal permanente, pero ahora el objetivo es obtener una o más representaciones gráficas de la variación de determinados fasores en función de la frecuencia de operación del circuito.
- El tema VI está dedicado a la consideración de circuitos en los que la excitación tiene dos componentes: una continua y otra de naturaleza sinusoidal permanente. Los resultados de este tipo de análisis también se obtienen como curvas en función del tiempo.

En cada uno de los temas mencionados se incluyen ejemplos ilustrativos de los conceptos manejados. Algunos ejemplos no están presentados en la totalidad de sus detalles; por el contrario, exigen la participación activa de los estudiantes para llegar a las respuestas que se piden. Las soluciones a los problemas propuestos se recogen en un apéndice incluido al final del texto. Un segundo apéndice, también al final del texto, muestra una recopilación de problemas planteados en ejercicios puntuables realizados en el marco de la asignatura considerada en cursos pasados. Téngase presente que, al exponer los contenidos aludidos, se está suponiendo implícitamente que los estudiantes están familiarizados con los conceptos expuestos en las clases de teoría de dicha asignatura; por consiguiente, y salvo que sea estrictamente imprescindible, no se repetirán en este texto explicaciones relativas a tales conceptos.

Es fundamental no perder de vista el objetivo básico de este texto y de su utilización por parte de los estudiantes de análisis de circuitos. Contra lo que pudiera parecer a primera vista, dicho objetivo no consiste en que los alumnos lleguen a dominar el manejo del programa PSpice (o, al menos, el de las partes del programa tratadas en este texto). Por el contrario, la meta que se persigue es que los estudiantes sepan cómo utilizar una herramienta auxiliar (como podría ser una calculadora) para simplificar y hacer más rápida la parte rutinaria y matemática del objetivo que realmente se trata de alcanzar, que es el de que aquéllos lleguen a tener cierto grado de experiencia en el ámbito del análisis de circuitos.



Figura P.2. Objetivo y organización del texto.