

DOCENCIA DE LA SIMULACIÓN ELECTRÓNICA DE POTENCIA: MODELIZACIÓN Y CREACIÓN DE SÍMBOLOS.

R. García, J. B. Ejea, A. Ferreres y J. M. Espí
Universidad de Valencia. Departamento de Informática y Electrónica.
C/ Doctor Moliner 50, bloque D, 3er piso.
46100 Burjassot - Valencia.
Tlf.: 96-3864300 Ext.: 3403 FAX: (96) 386 45 68
E_mail: GARCIAGI@UV.ES

RESUMEN.- En el presente trabajo se expone la experiencia llevada a cabo en la asignatura "Simulación de Componentes y Circuitos de Potencia" impartida por el departamento de Informática y Electrónica de la Universidad de Valencia para la nueva titulación de Ingeniería en Electrónica. Se hace especial énfasis en la modelización y creación de símbolos, herramientas éstas necesarias si tenemos en cuenta las limitaciones que la versión de evaluación utilizada tiene en cuanto a componentes válidos para su aplicación en electrónica de potencia.

1.- INTRODUCCIÓN

La aparición de nuevas titulaciones está siendo llevada a cabo a un coste reducido, lo que obliga a los responsables de las diversas asignaturas a poner imaginación a la hora de plantear el temario, sin que ello interfiera en la calidad técnica de los futuros ingenieros. En este sentido se está imponiendo cada vez más la utilización de aulas de informática como verdaderos "laboratorios virtuales de electrónica" y la simulación de circuitos electrónicos como una herramienta fundamental, por el bajo coste que ello supone. Todo ello fomentado por el continuo auge que los ordenadores personales o PC's han experimentado en la última década y que ha permitido la aparición en el mercado de programas de simulación de circuitos electrónicos cada vez más potentes. Pero, si bien el conocimiento de estos programas es un punto fundamental en el curriculum del futuro ingeniero, los autores de este trabajo piensan que en muchos casos se está haciendo un uso exagerado de esta herramienta en detrimento de la utilización de laboratorios de electrónica, por el elevado coste que estos últimos suponen. En el presente artículo se expone la experiencia llevada a cabo en la asignatura "Simulación de componentes y circuitos electrónicos de potencia", módulo optativo de la nueva titulación Ingeniería en Electrónica, de reciente incorporación en la Universidad de Valencia. Dicha asignatura aparece como soporte del módulo teórico Electrónica Industrial y su laboratorio. La separación laboratorio-simulación deja patente que ésta última no es una sustitución del laboratorio, sino más bien un complemento. Entendemos que el alumno debe tener una cierta "intuición electrónica" a la hora de examinar un circuito, la cual se consigue mediante un estudio teórico de las topologías más empleadas en el campo de la electrónica de potencia. Además, el alumno debe saberse manejar en el laboratorio y solucionar todos los problemas que aparecen a la hora de implementar un circuito de potencia real. Pero, sin duda, la

simulación de circuitos proporciona una herramienta necesaria para un mejor entendimiento de las diferentes topologías que se han visto en teoría, sobre todo cuando éstas van aumentando en complejidad (un ejemplo claro de esto lo presentan los rectificadores trifásicos controlados, en los que estudiar su funcionamiento es conceptualmente difícil). Además, permite introducir al alumno en lo que es la metodología de trabajo de todo ingeniero electrónico a la hora de acometer un determinado proyecto: tras la realización de un estudio teórico, que pasa por la elección de una determinada topología y el análisis y diseño de la misma, pasamos a realizar una simulación vía PSpice del circuito. En el caso de que los resultados obtenidos mediante simulación estén en concordancia con los resultados esperados teóricamente, pasamos al montaje experimental. Esta metodología queda implícita en las tres asignaturas de Electrónica de Potencia ofertadas en esta nueva titulación.

2.- PROBLEMÁTICA DE LA SIMULACIÓN VIA PSPICE DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS DE POTENCIA

Para la realización de esta asignatura se ha utilizado el simulador de circuitos electrónicos PSpice, que es tomado como simulador standard y que Microsim reparte de forma totalmente gratuita en su Versión de Evaluación 6.2¹, para entorno Windows. Al ser una versión de evaluación tiene una limitación en cuanto al tamaño de los circuitos que es capaz de analizar, tamaño de las librerías y número de librerías seleccionadas. Si bien es suficiente para los circuitos que vamos a tratar y permite una reducción importante del coste que supone el montaje de la asignatura, al no tener que realizar una inversión adicional en software. Únicamente se precisa una aula de informática las cuales están en continuo auge en todas las universidades españolas por la mejora constante en la relación precio/prestaciones que en la última década han experimentado los ordenadores personales o PC's. Además, no requiere ordenadores muy potentes, siendo suficiente con un 386 con 4Mbyte de RAM. Por último, al ser una versión con licencia para hacer copias permite que el alumno pueda llevarse una copia para practicar en casa.

Dado que la versión utilizada no dispone de gran cantidad de librerías, además del conocimiento exhaustivo del PSpice necesario para todo Ingeniero en Electrónica, en estas prácticas, se hace especial hincapié en la creación de símbolos y modelización de componentes. Todo esto le va a ser útil al alumno en su vida profesional futura, para poder simular el comportamiento real de su circuito antes de montarlo experimentalmente, cuando alguno de los componentes que va a utilizar no exista en las librerías de la versión PSpice instalada en su lugar de trabajo.

En esta asignatura se realiza la simulación de las diferentes topologías de rectificadores no controlados y controlados, tanto monofásicos como trifásicos, interruptores estáticos de alterna y de continua, cicloconvertidores, inversores y convertidores dc/dc.

A la hora de simular los rectificadores no controlados, no podemos utilizar el diodo de señal 1N4148 que aparece en la librería EVAL.SLB, puesto que este presenta una mala rectificación a alta potencia. Esto nos obliga a modelizar un diodo rectificador (diodo de potencia), para lo cual se ha utilizado el diodo modelizable DBREAK que aparece en la librería BREAKOUT.SLB (librería de componentes modelizables). Queda patente, por tanto, la necesidad de la modelización. Para tal fin se utiliza el editor de modelos, en el cual describimos los diferentes parámetros del modelo que proporciona PSpice. Estos parámetros están relacionados, en la mayor parte de los casos, con los que proporciona el fabricante. El

¹ Este programa puede ser capturado de la red realizando un <http://www.microsim.com>

conocimiento, por parte del alumno, de estos parámetros reduda en un mejor entendimiento del funcionamiento del componente.

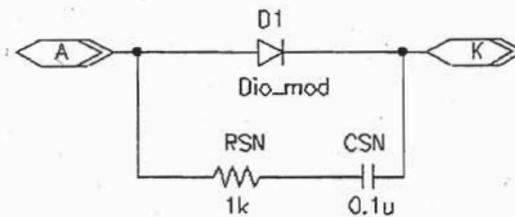


Figura 1.- Diodo de potencia modelizado para las simulaciones a frecuencia de línea.

Se ha utilizado el subcircuito de la figura 1 para representar el diodo de potencia que se empleará cuando se realicen simulaciones a la frecuencia de línea. Se trata de un diodo modelizable junto con su red de ayuda a la conmutación. En la definición del diodo se han tomado los parámetros del modelo $R_S = 0.01\Omega$, $I_S = 1 \text{ E-6A}$ y $C_{JO} = 100\text{pF}$; y tomamos la red de ayuda a la conmutación $R_{SN} = 1\text{k}\Omega$ y $C_{SN} = 0.1\mu\text{F}$

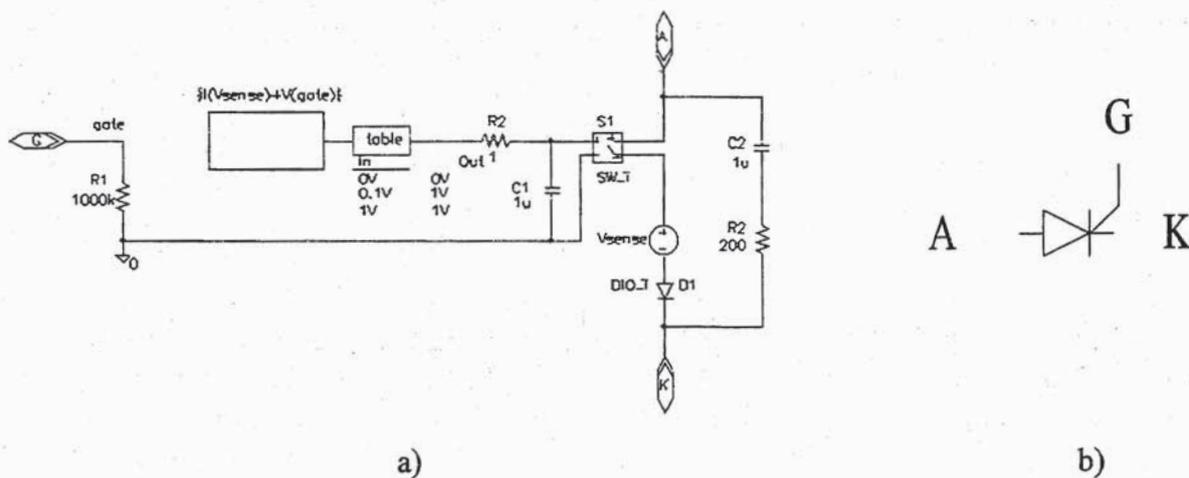


Figura 2.- a) Subcircuito equivalente del tiristor.
b) Símbolo del tiristor.

Por otro lado, en la simulación de los rectificadores controlados, se ha tomado el subcircuito equivalente del tiristor indicado en la figura 2a, al cual se le ha asociado el símbolo equivalente de la figura 2b. Si bien existe un tiristor en la librería EVAL.SLB, éste no se utilizó por la complejidad de su disparo, lo cual repercutiría en la imposibilidad de simular gran parte de los circuitos propuestos en los guiones de prácticas al sobrepasar el límite de componentes que la versión evaluación utilizada nos permite simular.

Funcionamiento del subcircuito equivalente:

Disparamos al tiristor con un pulso en GATE como el indicado en la figura 3a. En ausencia de pulso de disparo ($V_{GATE} = 0$), el conmutador presenta una elevada resistencia y no circula corriente a su través. Si la tensión entre ánodo y cátodo es positiva y se aplica un pulso de disparo en GATE, la tensión EGATE llega a 1V con lo que el conmutador se pone a ON.

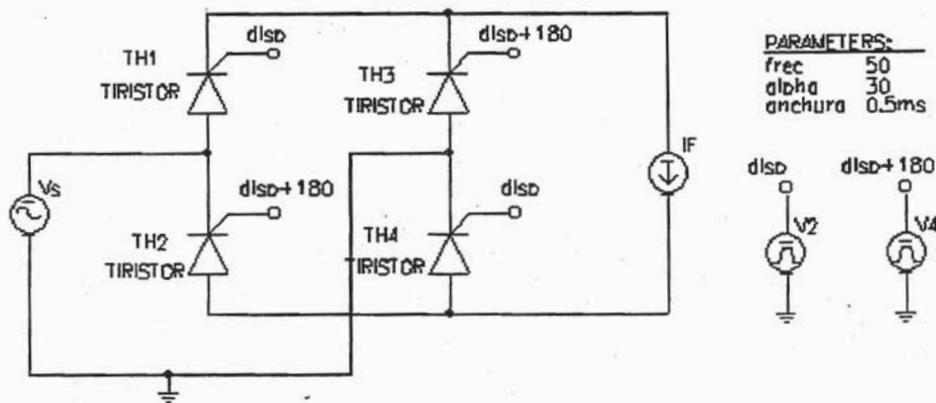


Figura 4.- Rectificador monofásico controlado en puente completo y fuente de corriente.

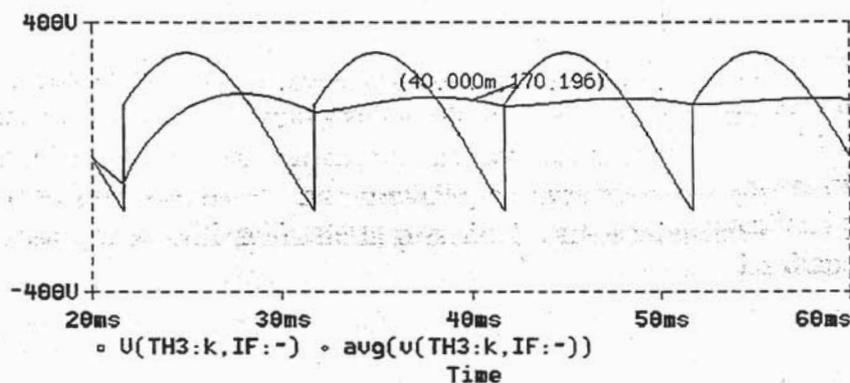


Figura 5.- Forma de onda de la tensión rectificada y su valor medio

Tanto la modelización como la creación de símbolos a través del editor de modelos y de símbolos respectivamente, nos permite un mayor aprovechamiento de la gran potencia de esta herramienta de simulación.

3.- DESCRIPCIÓN DE LA ASIGNATURA. UN EJEMPLO TIPO

La asignatura empieza con una introducción teórica bastante detallada de la herramienta PSpice, con numerosos ejemplos prácticos que el alumno puede directamente probar al tener delante el ordenador.

El temario de la asignatura incluye la simulación de las diferentes topologías de rectificadores no controlados y controlados, tanto monofásicos como trifásicos, interruptores estáticos de alterna y de continua, cicloconvertidores, inversores y convertidores dc/dc. Para las diferentes topologías estudiadas se pedía el cálculo desde el entorno PROBE del valor medio y eficaz de la tensión de salida y el cálculo del factor de potencia K_p tanto desde el entorno PROBE como realizando un análisis de Fourier, y además comparando con el obtenido teóricamente. Como ejemplo tipo presentamos, de forma resumida, el guión de prácticas presentado para el rectificador controlado monofásico de onda completa de la figura 4.

Ejercicio: Realizar la simulación PSpice del circuito rectificador de la figura 4, con las condiciones:

- $V_s = 220 \text{ V}_{\text{eff}}$, $I_F = 10 \text{ A}$, $\alpha = 30^\circ$, $\text{FREQ} = 50 \text{ Hz}$, anchura de pulso = 0.5ms.

Al pasar a ON circulará corriente $I(VSENSE)$ con lo que aunque cese el pulso de disparo el conmutador permanecerá a ON hasta que no circula corriente a su través (Véase figura 3b). Si la tensión entre ánodo y cátodo es negativa y aplicamos un pulso, durante un pequeño intervalo (PW) el conmutador puede pasar a ON, pero la presencia del diodo evita la circulación de corriente.

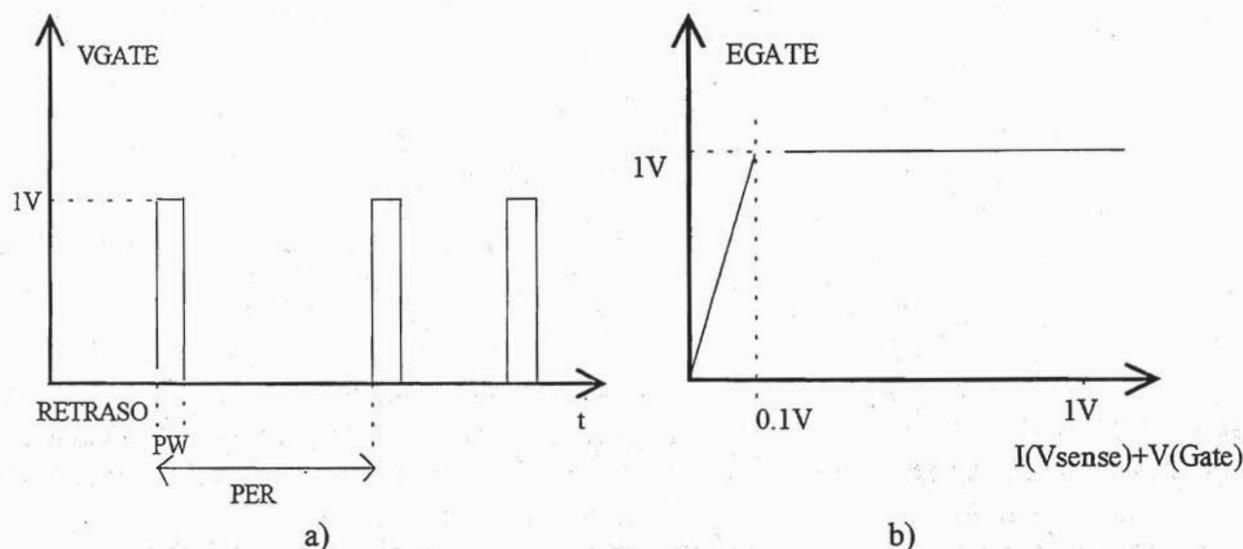


Figura 3.- a) Pulsos de disparo del tiristor.
b) Tensión aplicada al switch durante el intervalo en el cual $V_{AK} > 0$.

Especificaciones del subcircuito:

- Red de ayuda a la conmutación a corte: $R_2 = 200\Omega$, $C_2 = 1\mu F$.
- Para el diodo rectificador se tomará los parámetros del modelo: $C_{JO} = 0.0001fF$, $I_S = 1 E-6 A$, $R_S = 0.01 \Omega$; y para el switch: $R_{ON} = 0.01 \Omega$.
- La red $R_3 - C_1$ con $R_3 C_1 = 1\mu s$ (muy pequeña) evita problemas de convergencia en el análisis transitorio (la resistencia del conmutador tiene un límite en la variación de su valor). Tomamos $R_3 = 1\Omega$, $C_1 = 1\mu F$.
- $V_{SENSE} = 0V$.

El hecho de que se esté trabajando en un entorno Windows implica la necesidad de que cada módulo funcional o subcircuito tenga asociado un símbolo que represente inequívocamente a dicho módulo. La forma más sencilla de convertir nuestro subcircuito en símbolo es mediante el editor de símbolos.

Se ha realizado una simbolización del subcircuito de la figura 2a. Como ejemplo de aplicación se presenta en la figura 4 un rectificador monofásico de onda completa, controlado y con fuente de corriente. En la figura 5 se presenta la forma de onda rectificada a la salida, junto con su valor medio.

Uno de los apartados importantes que se le pedía a los alumnos era el cálculo desde el entorno PROBE de los valores medio, eficaz, factor de potencia y tensión que deben bloquear los tiristores. Estos se comparaban con los valores teóricos, de acuerdo con lo visto en la asignatura de Electrónica Industrial.

- Incluir el ángulo de disparo (α), la frecuencia (FREQ) y la anchura de pulso (ANCHURA) como parámetros.
- Resolución numérica y gráfica 50us, tiempo de no impresión 20ms, tiempo máximo 60ms.
- Visualizar en dos escalas la tensión rectificadora y la corriente suministrada por Vs ¿Por qué la tensión rectificadora presenta en este caso tramos negativos?
- A partir de la forma de onda de la tensión rectificadora obtener una expresión para el cálculo de su valor medio. Verificar los valores simulados y calculados.
- Realizar la simulación anterior contemplando simultáneamente los casos del ángulo disparo 50°, 90° y 179.8°. Verificar los resultados simulados y calculados para el valor medio de la tensión rectificadora.
- A partir de la expresión obtenida para $\langle v_o \rangle$ ¿Qué conclusión se puede extraer cuando el ángulo de disparo $\alpha > 90^\circ$?

Factor de potencia en el convertidor.

- A partir del circuito de la figura 4, y añadiendo una resistencia en serie con la alimentación de valor $R_s = 1m\Omega$, obtener mediante simulación el factor de potencia respecto de la fuente Vs. Discútase de forma cualitativa cómo se espera que sea el factor de potencia respecto al convertidor equivalente no controlado.
- Obtener una expresión que permita calcular el factor de potencia k_p . Verificar los resultados obtenidos con la simulación, tanto desde el entorno Probe como mediante un análisis de Fourier.

4.- CONCLUSIÓN

La creación de símbolos junto con la modelización de componentes ha permitido la utilización de la versión de evaluación para la simulación de circuitos de potencia, ya que en dicha versión no se presentan componentes para dicha aplicación. Además, el subcircuito equivalente del tiristor utilizado permite ser disparado sin necesidad de aislamiento, lo cual da al circuito completo una mayor simplicidad, facilidad de simulación, y todo ello sin modificar las características fundamentales de funcionamiento del circuito. En concreto, la no necesidad de aislamiento para el disparo evita la utilización de trafos de impulsos cuya simulación mediante PSpice no proporciona unos resultados muy satisfactorios. Además, tiene la ventaja de que puede ser utilizado en cualquier caso sin tener que hacer un diseño previo para seleccionar qué tipo de tiristor es el adecuado para la aplicación particular dependiendo de la tensión que tenga que bloquear, corriente, etc.

5.- REFERENCIAS

- [1] MicroSim Corporation: "Circuit Analysis Reference Manual". The Design Center. Irvine, California, 1993.
- [2] Ned Mohan: "Power Electronics: Computer simulation, Analysis and Education Using PSpice". Minnesota Power Electronics Research & Education University Station, 2811 University Avenue S. E. P. O. Box 14503, Minneapolis, MN 55414 USA.