
Simulación de circuitos con PSpice®

1. Introducción

CADENCE (Orcad, MicroSim) PSpice es un entorno de análisis y síntesis de circuitos electrónicos que da soporte a las siguientes tareas:

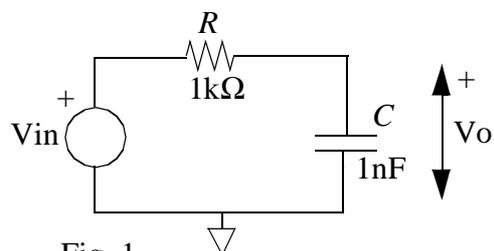
- Captura de esquemáticos
- Simulación a nivel eléctrico
- Simulación lógica y de modo mixto
- Optimización de circuitos
- Edición de placas circuitos impresos o PCBs (“Printed Circuit Board”)
- Representación gráfica de las formas de ondas

Esta herramienta esta basada en PSpice, versión profesional de Spice (*Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis*, popular simulador eléctrico de la University of California, Berkeley). A la potencialidad del simulador eléctrico PSpice, se le une la comodidad de manejo que ofrece la captura de esquemáticos y la interfase gráfica, así como la disponibilidad de un gran número de librerías para componentes comerciales en la versión completa de MicroSim Pspice.

El objetivo de esta práctica es familiarizarse con un entorno profesional de simulación eléctrica de circuitos. Dicha actividad comprende tres pasos fundamentales: (a) captura de esquemáticos y modelos; (b) edición de estímulos, tipos de análisis y simulación; (c) análisis de los resultados, visualización y medida.

2. Primer Ejemplo: Circuito RC

Consideremos un filtro pasivo RC de primer orden como el que se muestra en la Fig.1. Analizaremos las características de dicho circuito usando el entorno MicroSim PSpice.



2.1 Introducción del esquemático

La primera tarea consistirá en la captura del esquemático (CE) del circuito RC. Para ello arrancaremos la utilidad “Schematics” del entorno “DesignLab Design Manager”. Deberá aparecer un panel en blanco donde “dibujaremos” el esquemático.

Los componentes del circuito (en este caso fuente de tensión, resistor y condensador) se encuentran en una de las *librerías* de componentes de la herramienta. Para acceder a dichas librerías activaremos **Draw->Get New Part...** en el menú de CE (o equivalentemente pulsare-

mos al unísono la teclas **Ctrl** y **G**). En el menú resultante se muestran los nombres de todos los componentes en todas las librerías disponibles (en la versión demo) y una breve reseña de su función. Si se sabe el nombre de la librería en que se encuentra el componente que se está buscando, se puede seleccionar desplegando el menú **Libraries...** En cualquier caso, esto no es necesario pues en la lista que se nos ofrece por defecto están incluidos todos los dispositivos posibles. Pulsando la opción **Advanced**, además se muestra el símbolo del elemento que seleccionemos picando una vez sobre su nombre.

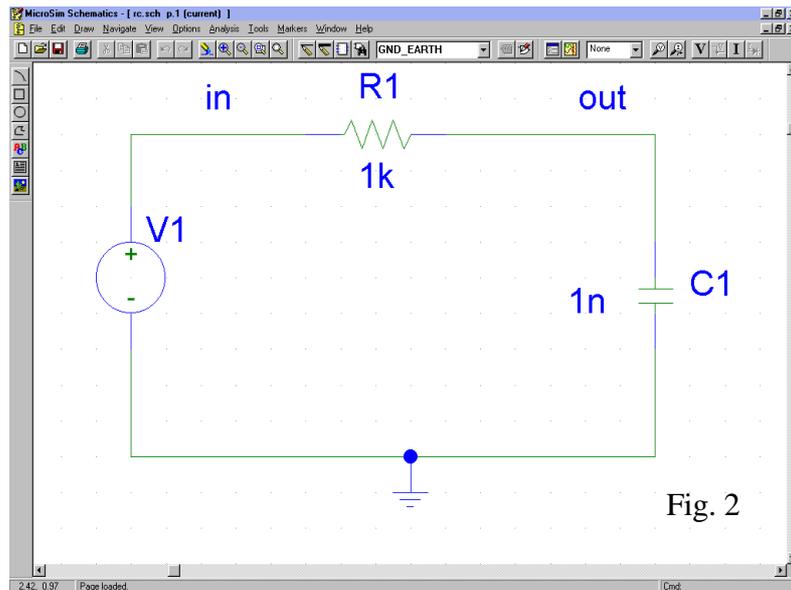
Seleccionaremos los elementos que forman el circuito. Para ello, con el ratón sobre la ventana de nombres pulsaremos en el teclado la/s primera/s letra/s del nombre del símbolo que estamos buscando, con lo cual la lista se desplazará rápidamente hasta el primer símbolo cuyo nombre comience con estas letras.

En el ejemplo, comenzaremos con la **fente de tensión**. Existen varios símbolos para fuente independiente de tensión en PSpice, dependiendo de sus características (constante, variable en el tiempo, AC, etc.). Sin embargo, existe una fuente de propósito general llamada *VSRC*. Una vez localizada para seleccionarla picaremos en **Place** o bien haremos doble “click” sobre su nombre. Con ello, el símbolo de *VSRC* aparecerá ligado al ratón de forma que podremos emplazarla en cualquier lugar de la hoja en blanco. Una vez emplazada, el símbolo seguirá unido al ratón para permitir colocar tantos elementos idénticos como se desee. Para finalizar el proceso pulsaremos **ESC**.

Repetiremos el proceso anterior para colocar en el esquemático el resistor (*R* en la librería) y el condensador (*C*). Trataremos de colorarlos en la misma situación que se muestra en la Fig. 1, pero ligeramente separados (no conectados). Para ello, una vez seleccionados (picando sobre el elemento hasta que se ilumine en rojo o seleccionando un área que intersecte al símbolo o conjunto de símbolos), podemos moverlos simplemente volviendo a picar sobre el elemento y arrastrando el ratón mientras mantenemos el botón izquierdo pulsado. Además es posible rotar o “especular” cualquier elemento o conjunto de elementos seleccionados mediante los menús **Edit->Rotate** o **Edit->Flip**, respectivamente. Resulta cómodo antes de emplazar cada elemento (esto es, mientras estén unidos al ratón) modificar su posición pulsado **Ctrl+R** o **Ctrl+F**.

Una vez que los tres elementos estén en la posición adecuada procederemos a su conexionado. Para ello habilitaremos el menú **Draw->Wire** (equivalentemente **Ctrl+W**) y a continuación marcaremos el punto inicial y final del cable. Continuaremos hasta completar las tres conexiones y pulsaremos **ESC** para abandonar el modo de cableado. Tanto los cables como los elementos se pueden eliminar seleccionándolos y pulsando la tecla **Supr (DEL)** o mediante **Edit->Delete**.

Además de los tres elementos y su conexionado hay que proporcionar información de cual será el nudo de referencia, a partir del cual se medirán todas las tensiones del circuito. Esta información debe incluirse obligatoriamente en cualquier esquemático. Para ello se utiliza un símbolo especial que representa a la tierra (0V) del circuito llamado *GND_EARTH*. Seleccionaremos dicho símbolo de la librería y lo coloraremos intersectando el cable inferior. En realidad la misión de este símbolo es asociar a dicho nudo la “etiqueta” (“label”) 0 (cero). Esta etiqueta es una palabra reservada del simulador que se utiliza para designar al nudo de referencia. El mismo resultado se obtiene asociando directamente dicha etiqueta al nudo, para lo cual se hace doble click sobre el nudo en cuestión y se introduce la etiqueta en la ventana que se muestra. Siempre es posible y conveniente asociar etiquetas a otros nudos con cualquier cadena alfanumérica distinta de “0” con el fin de identificarlos claramente en los resultados de la simulación.



Una vez añadido el símbolo de tierra, el esquemático debe ser similar al de la Fig.2. A los nudos de entrada y salida del filtro se les ha etiquetado “in” y “out”, respectivamente.

El siguiente paso consiste en asociar valores a los elementos. Para ello, picando dos veces sobre cada símbolo se nos muestra una ventana en la cual hemos de introducir cierta información. Para modificar o añadir información en cierto campo haremos doble click sobre éste y tras introducir el texto correspondiente pulsaremos **ENTER**.

En nuestro ejemplo, para la fuente de tensión introduciremos **1** en el campo *DC* =, lo cual equivale a asociar un valor de 1V en DC. A continuación introduciremos **1 0** en el campo *AC* =, con lo que indicamos que para un “análisis en AC” la magnitud de la fuente es 1V y su fase 0 grados; y finalmente introduciremos **pulse (-1 1 0 1n 1n 10u 20u)** en el campo *TRAN* = para especificar que en un “análisis transitorio” la fuente proporcionará un tren de pulsos de valor bajo = -1V, valor alto = 1V, retraso = 0s, tiempo de subida = 1ns, tiempo de bajada = 1ns, tiempo en alto = 10µs y periodo = 20µs.

Operando del mismo modo asignaremos los valores de resistencia y capacidad, mediante el campo *VALUE* = de su ventana de propiedades, aunque en este caso no deben ser modificados pues los valores que tienen por defecto: R = 1k (1000Ω) y C = 1n (1e-9F), coinciden con los del ejemplo. Las abreviaturas típicas son reconocidas: t = “tera”, g = “giga”, meg = “mega”, k = “kilo”, m = “mili”, u = “micro”, n = “nano”, f = “femto”.

2.2 Especificación del análisis

Una vez capturado el esquemático, procederemos a especificar el/los análisis que se requieren del simulador, mediante **Anaysis->Setup...** Con este comando se despliega la ventana de análisis que se muestra en la Fig. 3 y que permite activar o desactivar cada tipo de análisis y especificarlo convenientemente haciendo click sobre el nombre del análisis.

Existen tres tipos básicos de análisis en PSpice: Barrido en DC (“DC Sweep”), barrido en AC (“AC Sweep”) y transitorio (“Transient”). Estos, junto al “Bias Point Detail” que proporciona información sobre el punto de operación de un circuito, son los tipos de análisis más usados. Pueden utilizarse aisladamente o en combinación con otro tipos de análisis como “Parametric...”, “Monte Carlo/Worst Case ...”, “Temperature ...”, etc. En este documento nos limitare-

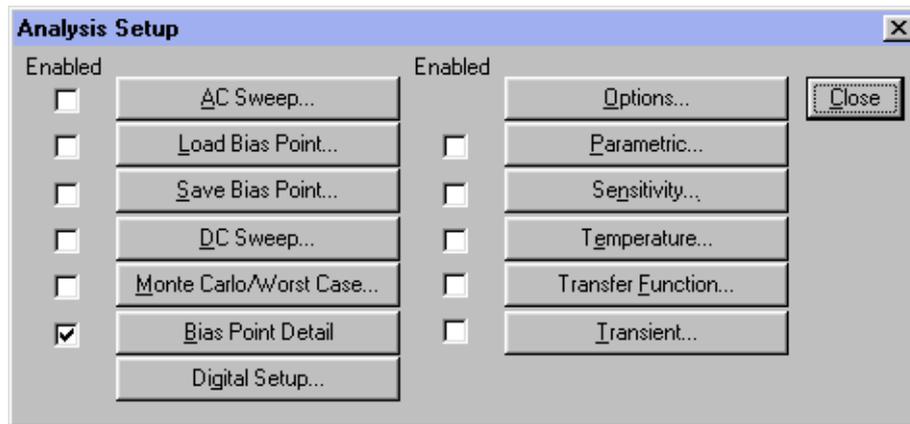


Fig. 3

mos a dar ejemplos de uso de estos análisis dejando la descripción detallada de los mismo para el Manual de Usuario de la herramienta.

En la ventana de la Fig. 3, activaremos (“Enabled”) el análisis “AC Sweep”. A continuación clicaremos sobre “AC Sweep” y completaremos la ventana resultante como se indica en la Fig. 4(a). Esto equivale a realizar un barrido en frecuencias de la fuente de AC (o aquella que tiene activado el campo $AC =$, en este caso la única que existe en el circuito; sólo una fuente por esquemático puede tener asignada esta condición) en escala logarítmica con una densidad de 20 puntos por década, partiendo de 1Hz y hasta 1GHz. El resultado de este análisis será la variación con la frecuencia del modulo y la fase de la tensión de salida (o cualquier otra en el circuito). Como antes hemos asignado modulo = 1V y fase = 0 grados a la entrada, la señal de salida representará a la función de transferencia entrada-salida, de forma que podemos obtener así el módulo y la fase de la función de transferencia; esto es, el diagrama de Bode del circuito.

Por otro lado, activaremos el análisis transitorio e incluiremos los parámetros que se indican en la Fig.4(b). Con ello queremos realizar un análisis de la evolución temporal durante los 20 primeros μs , tomando muestras cada 1ns. Durante este análisis se tendrá en cuenta el campo $TRAN =$ especificado en la ventana de propiedades de la fuente de tensión; esto es, el resultado del análisis mostrará la respuesta del circuito a un tren de pulsos.

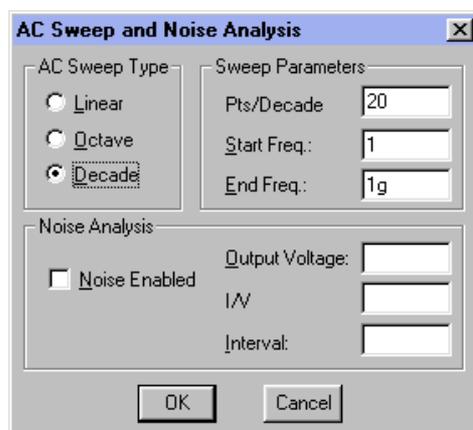


Fig. 4(a)

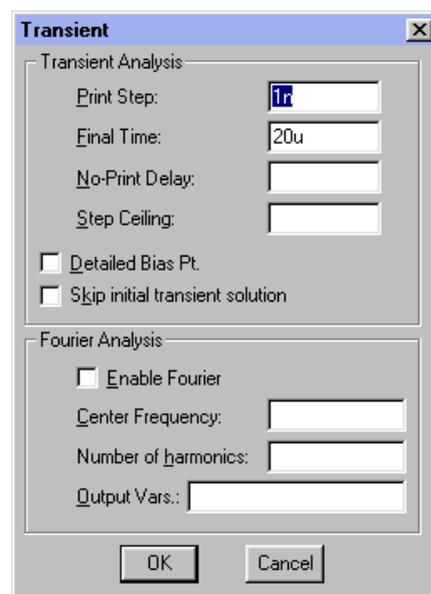


Fig. 4(b)

2.3 Simulación y visualización de los resultados

Una vez salvado el esquemático (**File->Save**) en el disco de usuario (nunca en el disco local), ya estamos en condiciones de realizar la simulación. Previamente, en el menú **Analysis**, picaremos sobre **Probe Setup...** y activaremos la opción “Automatically run Probe after simulation”. A continuación activaremos **Analysis->Simulate** o pulsaremos **F11** para arrancar el simulador. En respuesta, si no hay errores, aparecerá la ventana del simulador PSpice A/D, indicando que los análisis solicitados están en curso.

Cuando finalice, arrancará automáticamente la utilidad **Probe** que permite visualizar los resultados de la simulación. En primer lugar se nos preguntará qué análisis de entre los realizados queremos visualizar. Haremos click en **AC**. El resultado será una gráfica donde la frecuencia (en escala logarítmica) se representa en el eje X. Activando **Trace->Add** (o **Insert**), aparecerá una ventana que incluye a la izquierda todas las variables que podemos representar en el eje Y de la gráfica. Además es posible realizar operaciones matemáticas con estas variables utilizando las expresiones que aparecen a la derecha. Por ejemplo, representemos el módulo de la tensión de salida en dB: para ello, primero picaremos en **DB()** entre las funciones de la derecha y luego en **V(out)** entre las variables de la izquierda (Fig.5). Cuando aceptemos en **OK**, la curva solicitada se visualizará en la gráfica. Con ello hemos representado el módulo de la función de transferencia en decibelios.

Para obtener el diagrama de Bode completo, representaremos en la misma gráfica, la fase de la función de transferencia. Comenzaremos añadiendo otros ejes (los valores de la fase y el módulo pueden ser bastante diferentes por lo que ambos en la misma gráfica pueden dar lugar a problemas de escala) con **Plot->Add Plot**. La nueva gráfica es automáticamente seleccionada como lo indica la palabra **SEL>>** cerca de su origen de coordenadas. Podemos seleccionar una u otra simplemente picando con el ratón sobre cada curva. Seleccionar una gráfica implica que las curvas que añadamos van a representarse en dicha gráfica. Seleccionaremos pues la gráfica nueva y añadiremos en ella **P(V(out))**; esto es, la fase de la tensión de salida.

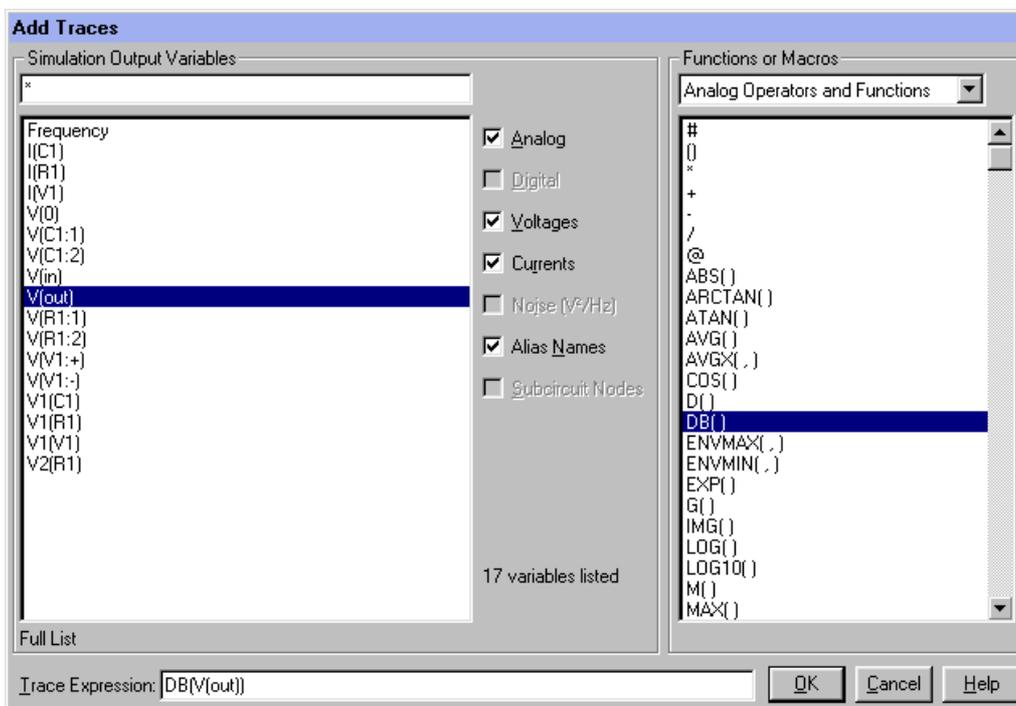


Fig. 5

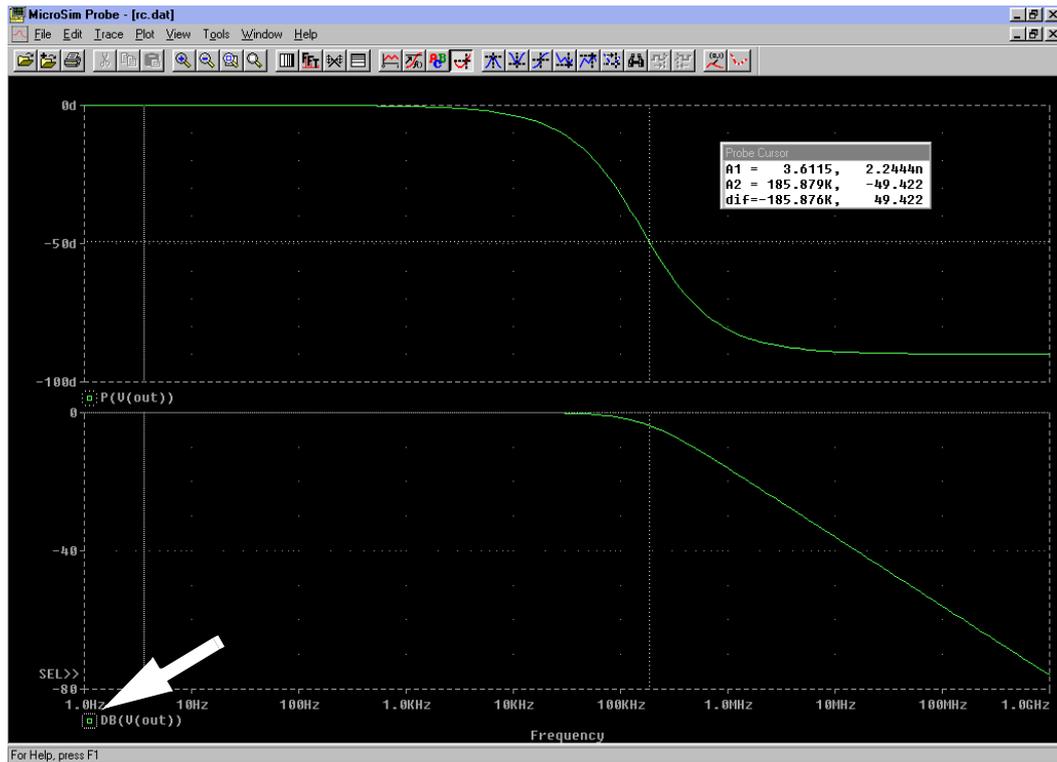


Fig. 6

Para medir datos sobre las curvas están disponibles sendos cursores que activaremos con **Tools->Cursors->Display** (ó **Ctrl+Shift+C**), el primero de los cursores se controla con el botón izquierdo del ratón y el segundo con el derecho. Se pueden cambiar de curva (ya sean estas de la misma o de distintas gráficas) simplemente picando con el botón correspondiente sobre el símbolo que aparece a la izquierda del nombre de la cantidad representada, bajo el eje X de cada gráfica (Fig. 6). La abscisa y la ordenada de cada cursor, así como sus diferencias respectivas aparecerán en un recuadro. Utilizaremos los cursores para medir el ancho de banda de 3dB del filtro; esto es, la posición del polo, $f_p = 1/(2\pi RC)$.

Los resultados del análisis transitorio se activan mediante **Plot->Transient**, lo cual nos proporcionará una gráfica vacía con escala temporal en el eje X. En este y en cualquier otro tipo de análisis existe una forma muy cómoda de representar variables (que no requieran un cálculo previo; es decir, directamente tensiones en nudos o intensidades en los terminales de un dispositivo). Para ello se ha de volver a la representación esquemático y añadir “sondas” de tensión o intensidad en los puntos oportunos. Estas sondas se encuentran bajo el menú **Markers** de la CE, aunque también pueden accederse mediante la barra de herramientas. Una vez en la CE, si se añade por ejemplo una sonda de tensión al nudo de salida (para lo cual se ha de hacer coincidir la punta de la sonda con el nudo en cuestión) y se pulsa **ESC** (para interrumpir la inclusión de sondas), esta tensión se representa automáticamente en la gráfica activada de la herramienta de visualización.

En la Fig. 7 se muestra el resultado y el uso de los cursores para medir el tiempo de subida de la tensión de salida en respuesta al pulso en la entrada, a partir del cual es posible determinar la constante de tiempo, $\tau = RC$.

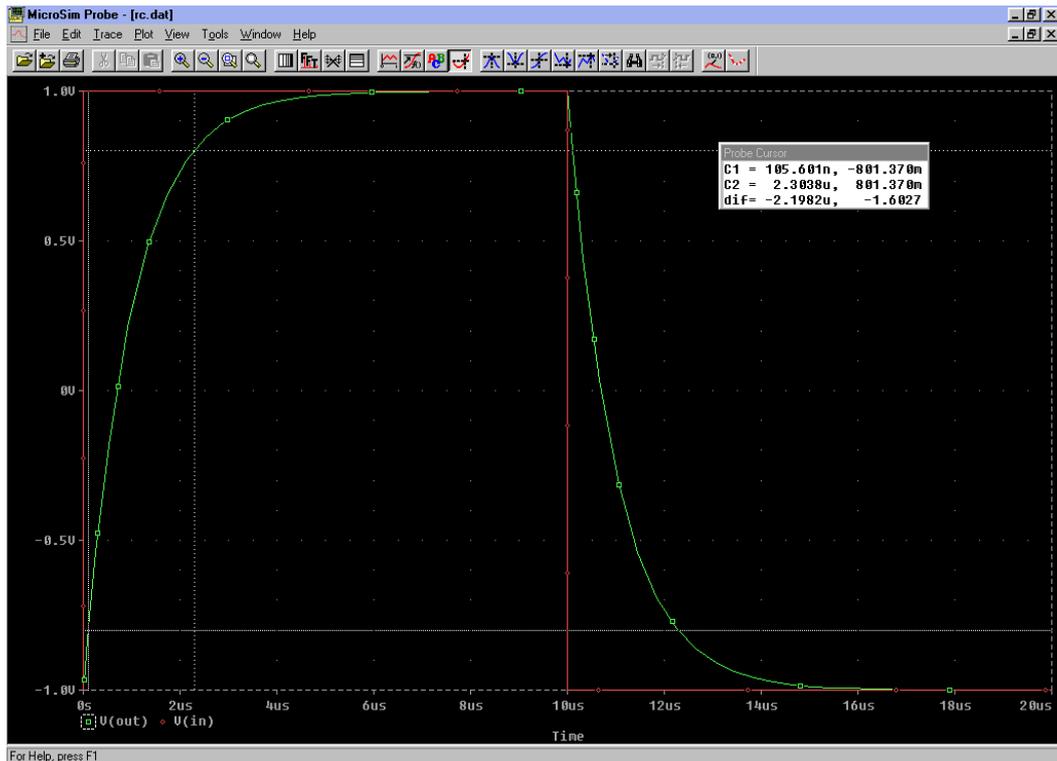


Fig. 7

3. Segundo Ejemplo: Rectificador de media onda

3.1 Introducción del esquemático

Analizaremos ahora las características de un rectificador de media onda añadiendo al circuito anterior un diodo. Utilizaremos para ello el símbolo D de la librería, que representa a un diodo genérico, y lo conectaremos como se indica en la Fig.8. Nótese que el valor del condensador ha cambiado a $100\mu\text{F}$ y el de la resistencia a $10\text{k}\Omega$.

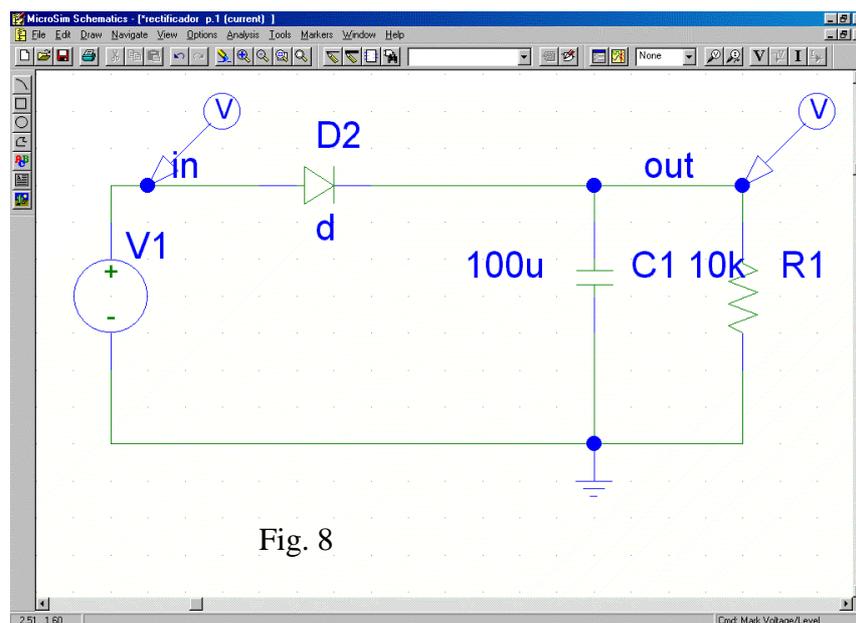


Fig. 8

Una vez completado el esquemático hemos de proporcionar una *línea de modelo* para el diodo. Ésta debe acompañar a todos los dispositivos semiconductores y en ella se le proporcionan al simulador los parámetros del modelo del dispositivo implementado en el simulador. Esta información se incluye en un fichero de texto con el formato genérico:

```
.model nombre_modelo tipo_modelo par1=val1 par2=val2 ...
```

Donde *nombre_modelo* puede ser cualquier cadena alfanumérica, el tipo expresa a que dispositivo corresponde el modelo, (*d* para diodo, *nmos* o *pmos* para MOSFET, *npn* o *pnp* para BJTs, etc.) y a continuación se incluyen los parámetros del modelo. En nuestro caso crearemos un fichero de texto con el modelo del diodo:

```
.model diodo d is=2.682n n=1.836 rs=.5664 eg=1.11 cjo=4p
+ m=.3333 vj=.5 fc=.5 isr=1.565n nr=2 bv=250
+ ibv=100u tt=11.54n
```

y lo salvaremos con la extensión “.lib”.

Para asociar este modelo al diodo en la CE picaremos una vez sobre el símbolo del diodo para que se ilumine y activaremos **Edit->Model**. Acto seguido picaremos sobre “Change Model Reference”, lo cual nos permitirá introducir el nombre del modelo asociado a este diodo y que obviamente deberá coincidir con el *nombre_modelo* incluido en el fichero “.lib”.

Lo único que resta es comunicar al entorno donde se encuentra el fichero “.lib” ya que se trata de una librería personal (creada por el usuario). Para ello activaremos el menú **Analysis->Library and include files...** que nos permite navegar (**Browse...**) por nuestro disco hasta localizar el fichero en cuestión y luego añadirlo mediante **Add Include** (sin asterisco).

3.2 Especificación del análisis

Analizaremos la característica entrada/salida en DC y la respuesta temporal a una entrada sinusoidal.

Para visualizar la característica en DC hemos de realizar un barrido en DC (DC Sweep) de la fuente de tensión. En el setup de análisis, activaremos dicho barrido y lo configuraremos como se indica en la Fig. 9.

Para analizar la respuesta temporal, asociaremos en primer lugar una señal sinusoidal a la

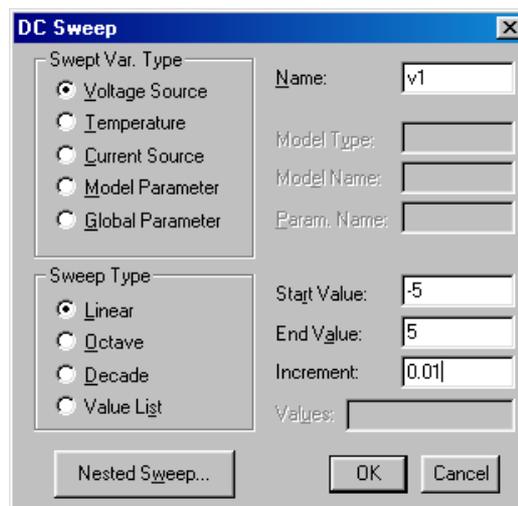


Fig. 9

fuente de tensión. Para ello escribiremos $\sin(0\ 100\ 50)$ en el campo $TRAN =$; esto es, una señal sinusoidal de offset = 0V, amplitud = 100V y frecuencia = 50Hz. A continuación, activaremos el análisis “Transient” en el Setup e incluiremos **Final Time = 200m** y **Step Ceiling = 0.1m** (el valor de **Print Step** no afecta a los resultados gráficos). Una vez hecho esto podemos correr la simulación.

3.3 Simulación y visualización de los resultados

Cuando finalice PSpice se autoejecutará Probe, si así lo tenemos indicado en **Analysis->Probe Setup**. Seleccionaremos el análisis transitorio y en la CE añadiremos sendas sondas de tensión a la entrada y a la salida. El resultado se muestra en la Fig. 11(a). En esta gráfica se puede realizar un “zoom” para visualizar con mayor detalle ciertos aspectos como la tensión de rizado del rectificador, por ejemplo.

Los resultados del barrido en DC se muestran en la Fig. 11(b). Nótese que ahora el eje X corresponde con valores de la tensión de entrada, con lo cual la representación de está tensión $V(in)$ da como resultado una recta de pendiente unidad y que pasa por el origen. En la curva correspondiente a $V(out)$ se aprecia claramente la tensión de encendido del diodo.

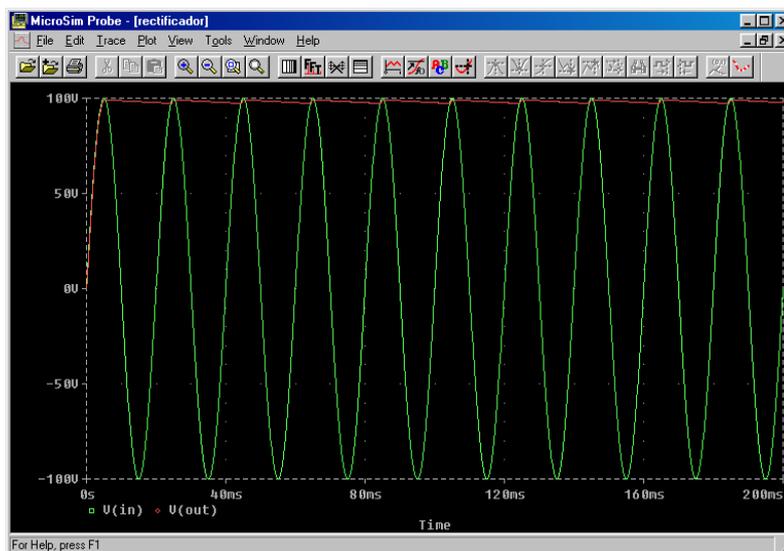


Fig. 11(a)

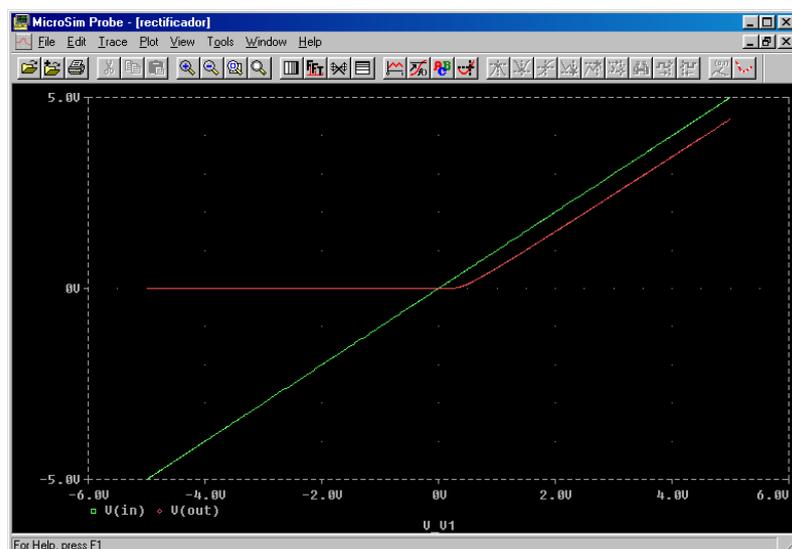


Fig. 11(b)

