

Prácticas de Tecnología y Componentes Electrónicos y Fotónicos

Curso Académico 2000 – 2001

Práctica 7: Introducción al programa de simulación de circuitos PSpice.

Objetivo de la práctica

El objetivo de esta práctica es que el alumno se familiarice y aprenda a utilizar el programa de simulación de circuitos *PSpice*. Para ello se analizarán mediante simulación alguno de los circuitos electrónicos que se han montado en prácticas anteriores. A lo largo del desarrollo de la práctica el alumno deberá de generar el fichero de entrada al programa de simulación “fichero.CIR” donde se describe la topología del circuito y se especifican los análisis y medidas a realizar sobre él; se simulará el comportamiento del circuito y se visualizarán una serie de resultados análogos a los ya obtenidos experimentalmente en el laboratorio. Por ello, se recomienda a los alumnos que comparen los resultados de simulación con los resultados experimentales.

Al realizar la memoria de la práctica se deberá entregar el listado de todos los ficheros “.CIR” creados, así como todos los datos numéricos y gráficas solicitados.

1.- Introducción teórica.

Durante los primeros años de la década de 1970, la reducción del tamaño de los circuitos integrados hizo que efectos físicos que eran despreciables en los circuitos normales llegasen a ser muy importantes en estos nuevos microcircuitos. Estos circuitos no podían ser implementados a partir de componentes discretos y por tanto, para obtener unos resultados correctos el circuito tenía que ser construido físicamente (lo cual conllevaba unos costes y tiempos de desarrollo muy altos) o bien tenía que ser simulado cuidadosamente utilizando un programa de ordenador. Este hecho es el origen del desarrollo de los programas de simulación de circuitos integrados y en particular de SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis).

En este sentido, SPICE es un programa de ordenador que permite simular el comportamiento de circuitos electrónicos antes de implementarlos físicamente, ofreciendo las posibilidades de crear circuitos de test y realizar todo tipo de medidas sobre ellos. Originalmente, el simulador de circuitos SPICE fue desarrollado por la Universidad de California, Berkeley, durante la mitad de la década de 1970. Posteriormente, este programa original ha sido mejorado por diferentes empresas dando lugar a una gran variedad de productos comerciales. En particular, para la simulación de las prácticas de Tecnología y Componentes Electrónicos y Fotónicos, se trabajará con la versión de evaluación de PSpice v6.0 desarrollada por MicroSim y que se encuentra disponible en la página Web de la asignatura:

http://woody.us.es/ASIGN/TCEF_1T/

En esta página también se encuentra disponible un manual de referencia y un breve resumen del mismo que se adjunta en el Anexo I.

1.1.- Como trabajar con PSpice

La versión de evaluación del programa de simulación Pspice v6.0 de MicroSim corre bajo el sistema operativo DOS. El programa de simulación consta de un núcleo principal (SIMULATOR) encargado del modelado matemático de los componentes y de los algoritmos de resolución correspondientes a la teoría de circuitos, y de una serie de herramientas auxiliares utilizadas para generación de estímulos y para la visualización gráfica de resultados (herramienta PROBE).

La descripción del de circuito electrónico a simular, así como los análisis y medidas a realizar sobre el circuito se especifican en un fichero de texto de entrada que deberá tener extensión ".CIR". Una vez que se ha generado el fichero de entrada, se lanzará la simulación del circuito que generará dos ficheros de salida de resultados: el fichero de texto ".OUT" donde se recogen los principales resultados de la simulación y el fichero de datos binario ".DAT" formado por los resultados numéricos que arrojan los diferentes análisis realizados sobre el circuito. Este fichero ".DAT" será utilizado por la herramienta PROBE del programa de simulación para la visualización gráfica de resultados.

En la Figura 1 se muestra un diagrama de bloques que representa el flujo de datos para el programa de simulación, tanto para datos de entrada (fichero.CIR) como resultados de salida (fichero.OUT y fichero.DAT).

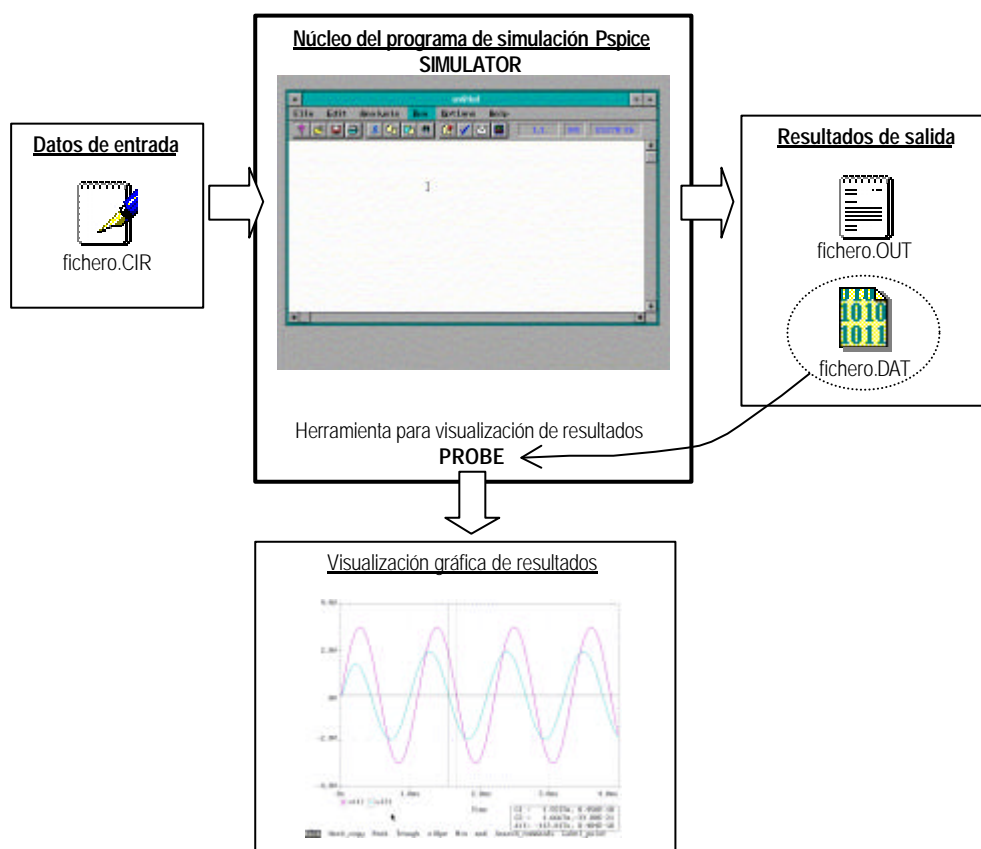


Figura 1.- Diagrama de bloques del flujo de datos en el programa de simulación PSpice.

1.2.- El fichero de entrada 'fichero.CIR'

El fichero de entrada "fichero.CIR" es el fichero de texto que contiene los datos de entrada al programa de simulación PSpice. En este fichero se describe la topología y

componentes del circuito electrónico, se especifican los análisis y medidas a realizar sobre el mismo y se fijan los parámetros de simulación que utilizan los algoritmos de resolución de teoría de circuitos. El formato general del "fichero.CIR" se muestra en la Figura 2.

```

* TITULO DEL CIRCUITO ELECTRONICO A SIMULAR
* =====

* Definicion de fuentes independientes de tension y corrientes
* -----

* Fuentes de tension
  V.... DC .... ; componente de para la polarización del circuito
  + AC .... ; componente para el analisis de pequeña señal
  + SIN(.....) ; componente para el analisis transitorio
* Fuentes de corriente
  I.... DC .... ; componente de para la polarización del circuito
  + AC .... ; componente para el analisis de pequeña señal
  + SIN(.....) ; componente para el analisis transitorio

* Descripción del circuito (NETLIST)
* -----

* Componentes pasivos
  R..... ; resistencias
  C..... ; condensadores
  L..... ; inductancias
* Componentes activos
  D..... ; diodos
  Q..... ; transistores bipolares
  M..... ; transistores MOSFET
  J..... ; transistores JFET
* Fuentes dependientes
  E..... ; fuente de V controlada por V
  F..... ; fuente de I controlada por I
  H..... ; fuente de V controlada por I
  G..... ; fuente de I controlada por V
* Subcircuitos
  .SUBCKT ....
  ....
  .ENDS
* Modelos y Librerías
  .MODEL .....
  .LIB .....

* Analisis a realizar
* -----
.OP
.DC ..... ; analisis acorde con la definicion de fuentes independientes
.AC ..... ; analisis acorde con la definicion de fuentes independientes
.TRAN ..... ; analisis acorde con la definicion de fuentes independientes

* Salida de resultados
* -----
.OP
.PROBE

* Opciones de simulacion
* -----
.OPTIONS NOPAGE NOMOD
.WIDTH OUT=80

.END

```

Figura 2.- Formato general del fichero de entrada de datos "fichero.CIR".

La primera línea del fichero de texto es interpretada por el programa de simulación como el título del circuito electrónico a simular, por lo que habrá que tener cuidado de no definir en esta primera línea del fichero ningún componente del circuito. A continuación, se definen las fuentes independientes de tensión y de corriente de forma acorde a los análisis que se quieran realizar sobre el circuito, es decir, si sobre el circuito se quiere realizar un análisis DC deberá

de definirse la fuente correspondiente con su parte DC; si se quiere realizar sobre el circuito un análisis AC deberá de definirse la fuente correspondiente con su parte AC; e igualmente si se quiere realizar sobre el circuito un análisis transitorio para visualizar formas de onda en función del tiempo.

Una vez que se han definido las fuentes independientes se pasa a describir la topología del circuito comenzando por la identificación y numeración de todos los nodos del circuito, reservando el nodo "0" para el nodo de tierra o referencia de tensión. Seguidamente se insertarán todos los componentes electrónicos del circuito siguiendo la sintaxis que se adjunta en el Anexo I, y finalmente se especifican las características de los componentes utilizados mediante los modelos y librerías. Esta parte del fichero de entrada es lo que se conoce como la NETLIST (lista de uniones) del circuito.

A continuación se especifican los análisis y medidas que se quiere realizar sobre el circuito, siendo coherentes con la definición de fuentes independientes que se hizo anteriormente. Principalmente, los análisis a realizar serán: un análisis OP para el cálculo del punto de polarización del circuito; un análisis DC para calcular el punto de polarización del circuito en función de una o varias variables independientes; un análisis AC para el análisis de pequeña señal en función de la frecuencia; y un análisis TRAN para el cálculo de transitorios y visualización de formas de onda en función del tiempo. Los resultados de estos análisis han de guardarse en dos ficheros de salida, el "fichero.OUT" y el "fichero.DAT". El fichero de salida "fichero.OUT" es generado siempre en la simulación mientras que el "fichero.DAT" se genera mediante el comando PROBE.

El fichero de entrada de datos termina con una sección para establecer parámetros de simulación para los algoritmos de resolución de circuitos y para el formato de los datos de salida. El último comando del fichero de entrada será END que indica al programa de simulación que la entrada de datos ha terminado.

1.3.- El fichero de salida "fichero.OUT"

El fichero de salida "fichero.OUT" es un fichero de texto que genera siempre el programa de simulación y que contiene los resultados del punto de polarización del circuito, resultados de potencia consumida por el circuito, resultados estadísticos de la simulación, resultados específicos que se quieran salvar en modo texto, así como un informe de errores en caso que la simulación haya sido errónea. Este fichero es una herencia de las primeras versiones de SPICE, ya que ahora la visualización de resultados se realiza de forma más eficiente mediante la herramienta PROBE.

1.4.- El fichero de salida "fichero.DAT"

El fichero de salida "fichero.DAT" es un fichero de datos binario donde se almacenan los resultados de todos los análisis que se han realizado sobre el circuito. Este fichero será tomado como entrada por la herramienta PROBE para la visualización gráfica de resultados. Es importante hacer notar que cada análisis realizado sobre el circuito arroja una serie de datos que serán leídos por la herramienta PROBE de manera independiente, es decir, un análisis DC arroja una serie de resultados que son independientes de los resultados que puedan generar los análisis AC y TRAN. La herramienta PROBE visualiza los resultados de cada análisis de forma totalmente independiente.

Una vez que se ejecuta la herramienta de visualización de resultados podrán generarse las gráficas necesarias para describir el comportamiento del circuito y podrán realizarse las medidas oportunas.

Bibliografía recomendada

- [Chávez – 94] Jorge Chávez; *Manual de HSPICE Rev 1.0*
Disponible en: http://woody.us.es/~chavez/pub_academ.html
- [Tuinenga – 95] Paul W. Tuinenga; *SPICE: A Guide to Circuit Simulation and Analysis Using Pspice*, Second Edition
Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 1995

2.- Realización práctica.

En la realización de esta práctica el alumno deberá simular el comportamiento de los circuitos que se describen a continuación, debiendo de generar el fichero de entrada “fichero.CIR” para obtener los resultados que se piden. En la memoria de la práctica (que será entregada por cada grupo de prácticas) deberán incluirse los listados de los ficheros de entrada “fichero.CIR”, las gráficas de resultados solicitadas y una breve explicación del funcionamiento de los circuitos.

2.1.- Respuesta transitoria del circuito RC

El primer circuito a simular será el circuito RC de la figura 1.

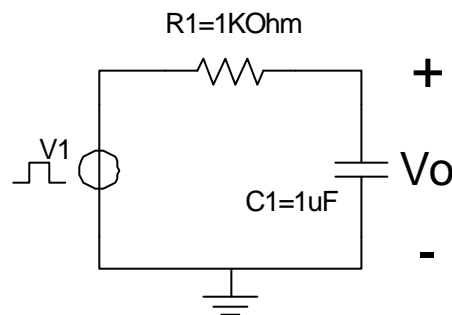


Figura 3.- Circuito RC en configuración paso bajo.

La señal de entrada $V1$ será una onda cuadrada con frecuencia 1KHz , amplitud de $10V_{\text{pico-pico}}$ y nivel de continua de $5V$.

Se pide:

- Crear el fichero *.CIR* para simular la respuesta transitoria de este circuito. Debe verse, al menos, la carga y la descarga del condensador.
- Visualizar en la misma gráfica la tensión de entrada $V1$ y salida V_o .
- Calcular la constante de tiempo, utilizando los cursores.
- Repetir los apartados anteriores para las frecuencias de 100Hz y 100KHz .

2.2.- Función de transferencia del circuito RC

Se utilizará el circuito de la Figura 1, pero ahora la fuente $V1$ es una senoide de diferentes frecuencias.

Señal de entrada		Señal de salida (TRAN)		Función de transferencia (AC)			
Forma de onda SENOIDAL	$v_i(t)$ Amplitud [V _{pico-pico}]	$v_o(t)$ Amplitud [V _{pico-pico}]	Desfase	Característica en amplitud		Característica de fase ϕ	
				$ H(f) $ [u. n.]	$ H(f) $ [dB]	Δt [seg]	$\phi_0 - \phi_f$ (°)
f=10Hz	10						
f=100Hz	10						
f=1000Hz	10						
f=5KHz	10						
f=10KHz	10						
f=100KHz	10						
f=1MHz	10						
f=10MHz	10						
f=100MHz	10						

Tabla 1. Función de transferencia del circuito RC.

Se pide:

- Crear el fichero .CIR
- Utilizando una señal de entrada senoidal de 1KHz, representar simultáneamente V_1 y V_o . Rellenar el apartado correspondiente de la tabla 1.
- Utilizando el mismo fichero, calcular la función de transferencia con un análisis AC.
- Cambiar la parte de fichero que corresponda y terminar de completar la tabla para todas las frecuencias.

2.3.- Filtro paso-banda

En este apartado se simulará el circuito paso-banda de la figura 2.

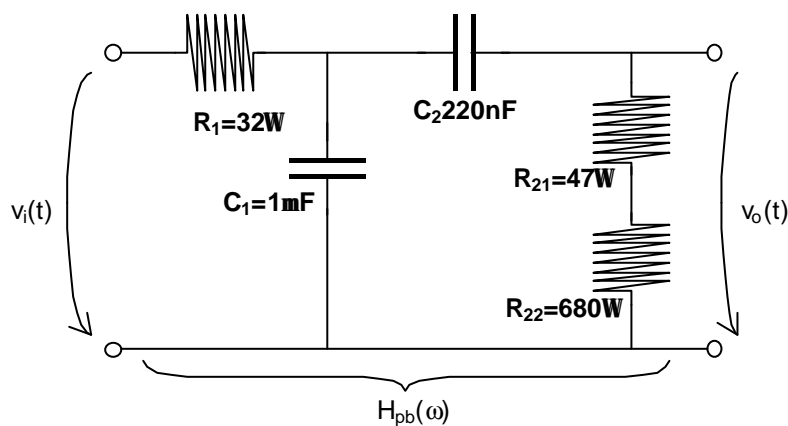


Figura 4.- Filtro paso banda.

Se pide, utilizando un sólo fichero de simulación:

- Calcular el punto de operación estático del circuito, siendo V_i una tensión constante de 5V. Encontrar el fragmento del fichero .out donde se da la tensión de los diferentes nodos. Explicar los resultados.
- Calcular la función de transferencia entre 100Hz y 10MHz.
- Utilizando una señal senoidal de 1KHz, 5V_{pp} y 0V de continua, representar simultáneamente la entrada y la salida.

2.4.- Característica estática de diodos

En la práctica 4 se calculaba la característica estática del diodo. En el laboratorio era necesario utilizar un circuito con dos diodos y dos resistencias, debido a que el osciloscopio sólo mide tensiones.

En SPICE, la intensidad del diodo es uno de los parámetros de salida, y se puede representar directamente utilizando *PROBE*. Calcularemos la característica de transferencia del diodo con modelo *D1N4148* incluido en la librería *eval.lib*.

Se pide:

- a. Circuito, con el mínimo de componentes, necesario para representar la característica estática del diodo *D1N4148*.
- b. Fichero *.CIR* para representar la característica V-I del diodo, cuando la tensión del diodo cambia entre $-120V$ y $6V$.
- c. Valor de la tensión umbral y la tensión inversa de ruptura.
- d. Averiguar un modelo de diodo zener incluido en la librería *eval.lib*. Repetir los apartados anteriores para el diodo zener.

2.5.- Característica estática de transistores BJT

El análisis .DC se puede utilizar para representar la característica estática de cualquier dispositivo. Sabiendo que el análisis DC se puede realizar especificando dos fuentes diferentes (ver manual), se pide:

- a. Circuito, con el mínimo de componentes, necesario para representar la característica estática de un transistor NPN.
- b. Utilizando uno de los transistores NPN Q2N2222 incluidos en la librería *eval.lib*, representar la curva I_C en función de V_{CE} (entre $0V$ y $6V$) para diferentes valores de la intensidad de base (entre 0 y $1mA$). Todo en la misma gráfica.

ANEXO I.- Breve descripción de comando SPICE

SPICE FORMAT @Chávez'92

1 FICHERO DE ENTRADA

Título de la Simulación <i>Netlist</i> : listado de conexiones Análisis a realizar Valores a imprimir .END

* XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX significa línea comentario
 + XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX continuación de línea

Nombres de Elementos

Un nombre debe empezar por la letra que caracteriza el elemento y a continuación una cadena que lo diferencie de otro.

Valores Numéricos

num_value	expon_lit	comentario	Exponentes literales		
k=10 ³	meg=10 ⁶	g=10 ⁰	t=10 ¹²		
m=10 ⁻³	u=10 ⁻⁶	n=10 ⁻⁹	p=10 ⁻¹²	f=10 ⁻¹⁵	
mil=25.610 ⁻⁶					

2 ELEMENTOS

RESISTENCIA	R XXXXX n+ n- value
CAPACIDAD	C XXXXX n+ n- value [IC =value]
INDUCTANCIA	L XXXXX n+ n- value [IC =value]
DIODO	D XXXXX na nc modelo
Trans. BIPOLAR	Q XXXXX nc nb ne modelo
Trans. MOS	M XXXXX nd ng ns nb modelo
GaAsFET	B XXXXX nd ng ns modelo
JFET	J XXXXX nd ng ns modelo
Fl. Intensidad	I XXXXX n+ n- [DC value] [AC mag phase] [transient especific.]
Fl. Tensión	V XXXXX n+ n- [DC value] [AC mag phase] [transient especific.]
F.D. Tensión control V	E XXXXX n+ n- nc+ nc- gain
F.D. Intensidad control I	F XXXXX n+ n- nc+ nc- gain
F.D. Tensión control I	H XXXXX n+ n- nc+ nc- transr
F.D. Intensidad control V	G XXXXX n+ n- nc+ nc- transc
Bobinas Acopladas	K XXXXX Lxxx Lyyy coupl. value
Línea de Transmisión	T XXXXX na+ na- nb+ nb- Z0 =value
Interruptor V-control	S XXXXX ns+ ns- nc+ nc-
Subcircuit call	X XXXXX n1 n2 . . . s_name

3 SEÑALES

Pulso	PULSE (V_{min} V_{max} T_{delay} T_{rise} T_{fall} PW T_{total})
Senalide	SIN (V_{offset} V_{ampl} $Freq$ T_{delay} $Theta$)
Exponencial	EXP (V_{ini} V_{pulsed} T_{rise} T_{fall})
Piece-Wise Linear	PWL (T_1 V_1 T_2 V_2 . . .)
Single Frequency FM	SFFM (V_{offset} V_{ampl} $Freq_{carrier}$ Mod_{index} $Freq_{signal}$)

4 ANALISIS

punto de trabajo del circuito
.OP
 análisis DC al variar la fuente
.DC src_name vstart vstop vinc
 análisis del comportamiento en frecuencia
.AC [DEC/OCT/LIN] n_points f_start f_stop
 transient analysis
.TRAN tstep tstop [tstart [tmax]] [UIC]
 función de transferencia
.TF out_var in_src
 noise analysis
.NOISE V(out [,ref]) src_name [DEC/OCT/LIN] n_points f_start f_stop
 Fourier Analysis
.FOUR freq out_var1 out_var2 . . .
 Monte Carlo Analysis
.MC nruns [DC/AC/TRAN] out_var YMAX

5 VARIOS

inclusión de archivo	.INC file
inclusión de librería	.LIB file
definición de subcircuito	.SUBCKT sub_name n1 n2ENDS
condiciones iniciales	.IC node1 = value1 ...
definición de modelo	.MODEL name type (param1=value1 ...)

6 OUTPUT

.PRINT [DC/AC/NOISE/TRAN] var1 var2 ...
.PROBE¹ Almacena todos los valores de la simulación

Variables

V (n1)	tensión n1
V (n1 , n2) ¹	caída n1-n2
I (source)	intensidad fuente
VDB (n1)	módulo tensión en dB
VP (n1)	fase tensión

¹exclusivo **PSPICE**