

Tecnología Electrónica

Simulación de dispositivos y circuitos electrónicos con PSPICE.

(MicroSim DesignLab Eval 7.1)

Introducción

La solución de problemas y la realización de experiencias a través del uso de la computadora como herramienta constituye, actualmente, una nueva forma de encarar el proceso de enseñanza-aprendizaje. En este marco, se destacan los programas del tipo de simulación porque permiten recrear situaciones experimentales siguiendo una metodología similar a la que se adopta cuando se realiza un experimento real. Entre las principales características que aportan este tipo de programas se destacan:

- reducción del tiempo de cálculo
- resolución de problemas complejos en forma numérica o gráfica, actuando sobre los datos y resultados obtenidos
- modelización de sistemas
- interacción con modelos y variación de parámetros
- adquisición de experiencia y capacidad en la toma de decisiones

Existe una amplia oferta de software de simulación electrónica que puede usarse como herramienta educativa. Después de hacer un análisis comparativo de los diferentes programas se eligió PSPICE. Este se presenta como un *Laboratorio Virtual* que permite disponer de los componentes electrónicos y los instrumentos necesarios en una forma relativamente sencilla. Sin embargo, debe tenerse presente que es sólo una aproximación de la realidad. El programa trabaja con *modelos* de los elementos y por lo tanto siempre habrá un cierto porcentaje de error.

El programa de simulación SPICE: MicroSim Eval 7.1

MicroSim Eval 7.1 es en realidad un paquete de programas que interactúan mutuamente. Los descriptos a continuación son los que nos interesan desde el punto de vista del análisis de dispositivos y circuitos electrónicos. El acceso a los mismos puede realizarse a través del icono correspondiente.



Psched

Schematics (capturador de esquemas): Es el programa que permite dibujar el circuito que se pretende simular. Para ello posee librerías de componentes y utiliza símbolos para representar los componentes.



Pspice

Pspice (Personal Simulation program with integrated emphasis) Es el programa que se encarga de realizar la simulación del circuito que fue dibujado utilizando Schematics.



Probe

Probe (salida gráfica del simulador): Es el programa que, una vez simulado el circuito sin errores, permite visualizar las formas de onda en función del tiempo o de cualquier variable.



Stmed

Stimulus Editor (editor de estímulos): Es el programa que permite dibujar diferentes excitaciones para ser aplicadas al circuito bajo análisis.



Parts

Parts : Este programa se utiliza para añadir a las librerías de componentes activos de PSPICE otros nuevos (diodos, transistores, amplificadores operacionales, etc.) cuyos parámetros pueden ser definidos por el usuario.

La versión MicroSim Eval 7.1 es una versión de evaluación cuyo uso y circulación está libremente permitido. Las características principales así como algunas restricciones que presenta por tratarse de una versión evaluativa se detallan a continuación:

Requerimientos de hardware:

PC 486 o Pentium
16 Mb RAM
Mouse
CD-ROM

Sistema Operativo:

Windows 95 o Windows NT

Limitaciones más importantes de la versión de evaluación:

- Diseño de página limitado (Una sola página de tamaño A o A4)
- Máximo de 50 símbolos colocados en el esquema
- Puede configurarse un máximo de nueve símbolos de librería
- El circuito está limitado a 64 nodos
- Los componentes están limitados a 10 transistores, 2 amplificadores operacionales, 65 dispositivos comunes
- La opción de caracterización y modelización de dispositivos (PARTS) está limitada a diodo solamente
- La edición de estímulos (STMD) está limitada a ondas senoidales (para circuitos analógicos) y clocks (para circuitos digitales)
- La librería de componentes es muy reducida frente a la suministrada en la versión comercial

Breve historia del SPICE

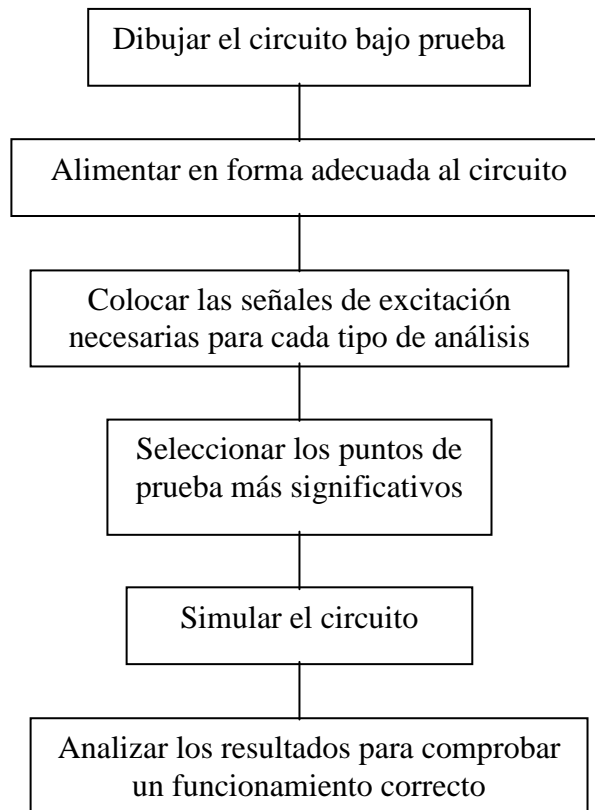
Durante la década del 60 y 70 se trabajó fuertemente en la idea de desarrollar programas de simulación en computadora orientados al diseño de circuitos. Así nació el programa SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) que fue desarrollado en 1972 en Berkeley, Universidad de California.

Desde su introducción, SPICE ha crecido y evolucionado continuamente. Los algoritmos para la descripción de las ecuaciones, criterios de convergencia y métodos de integración fueron mejorados a través de las sucesivas versiones: SPICE1 y SPICE2. La versión SPICE3 fue convertida a lenguaje C reemplazando el lenguaje original FORTRAN. Sin embargo, el núcleo central del programa permanece sin cambios.

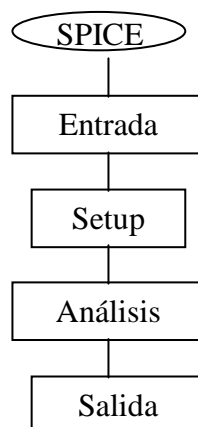
Actualmente, el uso de SPICE en computadoras personales y estaciones de trabajo lo vuelven aún más atractivo para el diseñador, y una herramienta muy adecuada en entornos de enseñanza de dispositivos y circuitos electrónicos.

Cómo trabaja SPICE

La figura que sigue muestra un diagrama de bloques que describe brevemente la forma de trabajo con SPICE.



Desde el punto de vista del funcionamiento interno del programa el diagrama anterior se corresponde a los siguientes bloques:



El bloque *Entrada* lee el archivo de entrada, construye una estructura de datos que representa al circuito y realiza un análisis topológico del mismo para encontrar errores.

El bloque *Setup* construye un sistema de punteros que usará luego el bloque *Análisis*. Este es el bloque principal para el cálculo; realiza todos los análisis pedidos por el usuario y pasa los resultados al archivo de *Salida* para su presentación.

La eficiencia y precisión del programa están determinadas por los algoritmos implementados en el bloque *Análisis*. El propósito principal de este bloque es encontrar una solución

numérica de la representación matemática del circuito. La transformación desde el circuito físico al sistema matemático de ecuaciones se realiza representando cada elemento circuital por un modelo matemático e imponiendo el cumplimiento de las leyes de Kirchhoff al sistema.

En general, el sistema de ecuaciones resultante puede escribirse:

$$F(x, x', t) = 0$$

donde F es un operador no lineal, x es el vector desconocido de variables del circuito (corrientes y tensiones), x' es la derivada en el tiempo de x y t es el tiempo. De acuerdo a las condiciones del circuito se obtendrá la solución. Por ejemplo, en un análisis de corriente continua la derivada temporal valdrá cero ($x' = 0$), y la ecuación anterior se reducirá a un conjunto de ecuaciones no lineales que pueden ser resueltas por métodos iterativos.

Para generar las ecuaciones circuitales se utiliza una técnica llamada *análisis nodal modificado* (MNA). Este es un método más sofisticado derivado del análisis nodal. En el método de análisis nodal las tensiones en los nodos son las variables desconocidas y la solución debe satisfacer siempre leyes de Kirchhoff. Por ello, el sistema de ecuaciones es generado escribiendo la ecuación de Kirchhoff para cada nodo, resultando un sistema de la forma:

$$Y \cdot v = I$$

Y es la matriz de admitancia, v el vector de tensiones nodales e I es el llamado vector excitación (corrientes).

Para un circuito lineal (resistores y fuentes independientes), Y e I se construyen aplicando las siguientes reglas: y_{kk} es la suma de todas las conductancias conectadas al nodo k , y_{kl} es la suma, cambiada de signo, de todas las conductancias conectadas entre los nodos k y l . I_k es la suma de todas las corrientes independientes que fluyen hacia el nodo k .

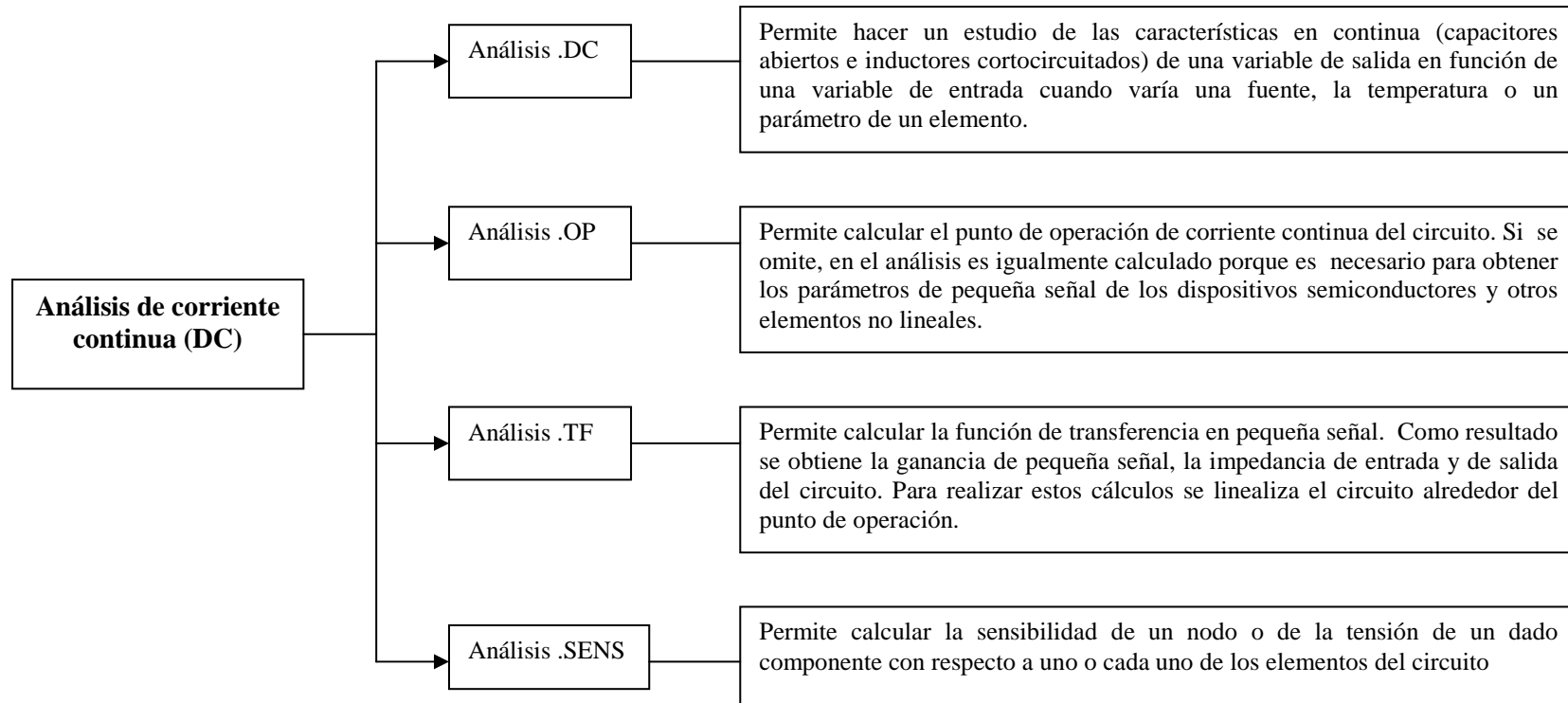
Principales tipos de archivos

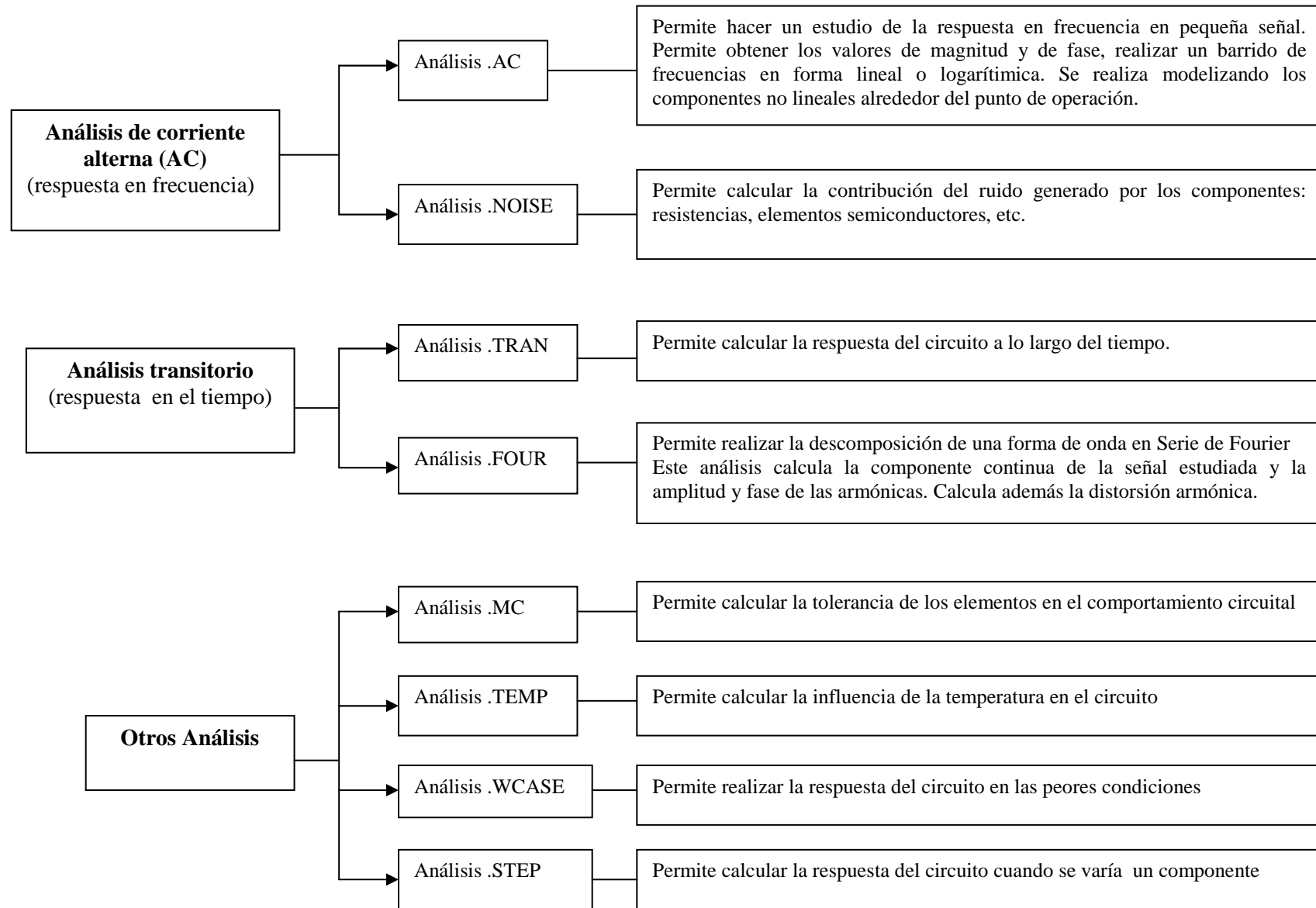
La siguiente tabla da una caracterización de los principales tipos de archivos, distinguidos por medio de su extensión, algunos de los cuales son generados automáticamente. (Se incluyen versiones anteriores)

Extensión	Función
.CIR	Descripción del circuito con el listado de componentes, nodos y tipos de análisis. Tiene formato de tipo ASCII
.OUT	Contiene los resultados de la simulación PSPICE incluyendo una descripción sintética de los errores detectados. Tiene formato de tipo ASCII.
.DAT	Guardan la información que el programa necesita para poder visualizar las formas de onda a través de PROBE. El formato es binario
.SCH	Contiene una descripción del diagrama esquemático. El archivo está codificado de modo que es reconocido por Schematics y permite editarlo par hacer modificaciones
.NET	Contiene el listado de conexiones del circuito. Puede visualizarse antes de la simulación y aparece también en el archivo de salida
.ALS	Muestra el nombre de cada dispositivo y los nombres de los nodos a los cuales está conectado
.TXT	Son archivos con formato ASCII
.CBK	Copias de seguridad de archivos .CIR
.CFG	Guardan información referente a los diferentes tipos de análisis realizados
.LIB	Son archivos de librería que contienen los modelos de los dispositivos utilizados
.IND	Es un archivo de tipo índice asociado a la librería de componentes
.DEV	Son archivos de configuración

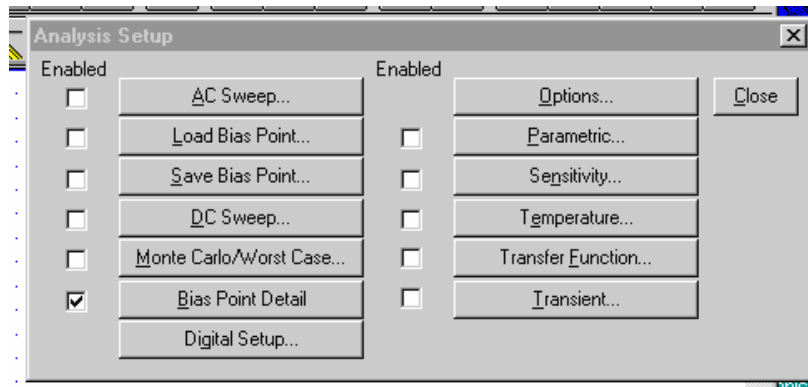
Tipos de análisis

A continuación se presenta un resumen de los tipos de análisis más comunes que pueden realizarse



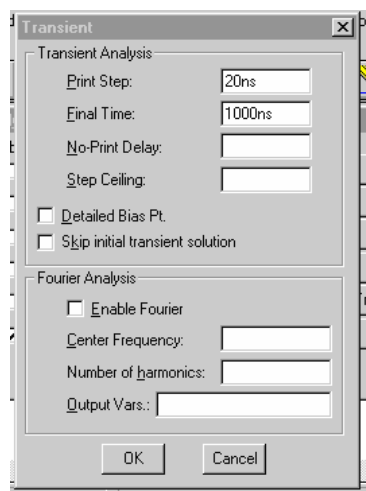


Todos estos tipos de análisis pueden ser habilitados con la opción Setup del menú Analysis del editor de esquemas, que al ser invocado abre un menú como el mostrado.



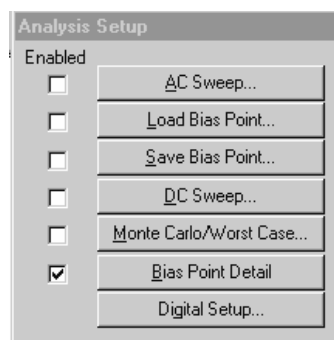
Haciendo click en la opción "Enabled" se habilita la opción deseada desplegándose otra ventana de menú según el tipo de análisis elegido. Una vez completada con los datos correspondientes la opción "Close" permite cerrar la ventana quedando listo para seguir adelante con la simulación.

La figura que sigue muestra por ejemplo la ventana correspondiente a la opción "Transient".



Análisis en continua: Punto de polarización

Podemos habilitar este tipo de análisis desde Schematics, opción Setup del menú Analysis, eligiendo del mismo: Bias Point Detail, como se muestra en la siguiente figura.



Una vez realizada la simulación los resultados de este tipo de análisis podrán verse en la opción Examine Output. En este archivo aparecen como resultado:

- un listado de las tensiones de cada nodo
- un listado de las corrientes por cada fuente de tensión y la potencia entregada
- un listado de los parámetros de pequeña señal para los elementos no lineales

A continuación se muestra un ejemplo de los resultados obtenidos en el archivo de salida:

```

* C:\MSIMEV71\EXAMPLES\SCHEMAT\EXAMPLE\Example.sch
****      SMALL SIGNAL BIAS SOLUTION          TEMPERATURE =  27.000 DEG
C
*****
*****
NODE      VOLTAGE      NODE      VOLTAGE      NODE      VOLTAGE      NODE
VOLTAGE
(  VDD)   12.0000  (  VEE)  -12.0000  (  OUT1)   -.4954  (  OUT2)
11.5940
($N_0001) -11.3500                ($N_0002) -356.2E-06
($N_0003)  .0954                ($N_0004)  .1250
($N_0005)  -.5595

      VOLTAGE SOURCE CURRENTS
      NAME          CURRENT

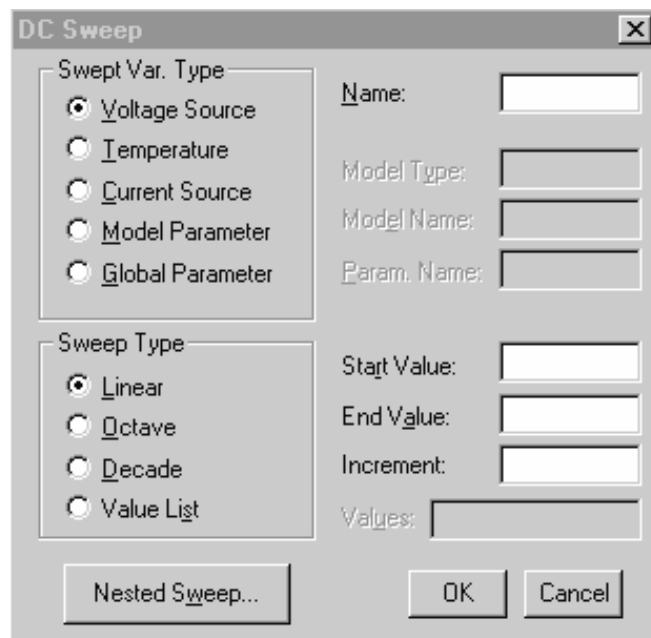
V_V3          2.488E-03
V_V2         -2.458E-03
V_V1         -2.956E-05

TOTAL POWER DISSIPATION  5.93E-02  WATTS

```

Análisis de barrido en continua (DC Sweep)

Este tipo de análisis permite determinar la respuesta en estado estacionario del circuito bajo prueba con diferentes valores de la fuente de alimentación, temperatura o parámetro de un modelo. Podemos habilitar este tipo de análisis desde Schematics, opción Setup del menú Analysis, eligiendo del mismo: DC Sweep. Se abre una ventana



como la mostrada en la siguiente figura.

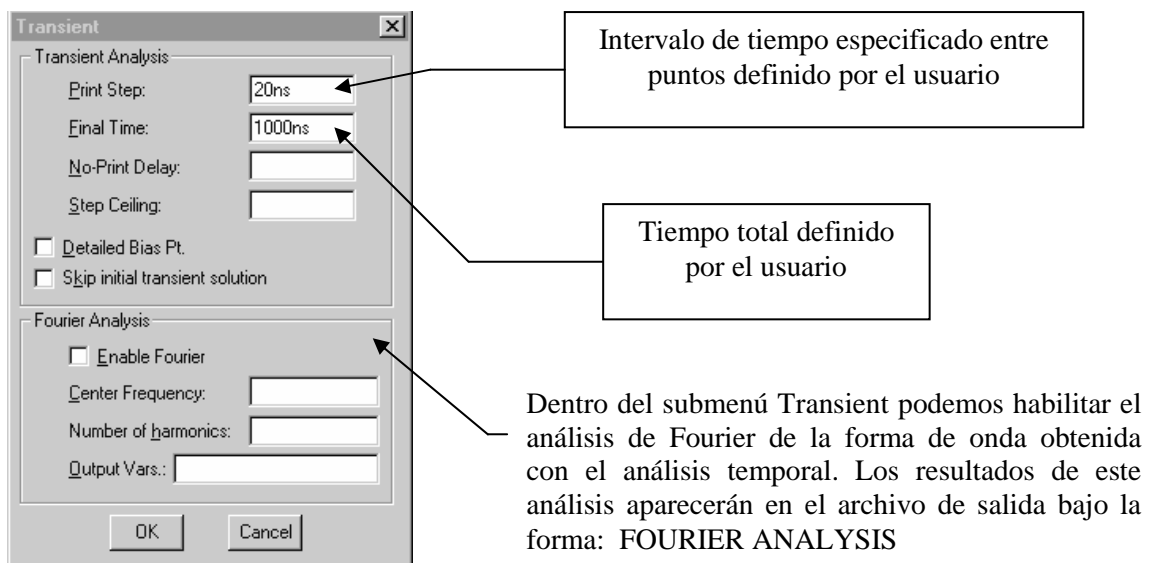
Por ejemplo, elegimos una fuente de tensión como tipo de elemento variable, cuya denominación deberá escribirse en *Name*. Luego, deberá indicarse el tipo de barrido: lineal, octava, década o lista de valores. Para el tipo elegido deberá colocarse el rango de variación: valor inicial, valor final e incremento.

La opción Nested Sweep permite especificar una variable anidada. Esta segunda variable tendrá valores propios según el tipo de barrido deseado, valor inicial, valor final e incremento. En este caso, la primera variable será el lazo interno. Para cada valor de la variable anidada se realizará un barrido completo de los valores de la primera, generándose una tabla de valores. En el analizador de gráficos PROBE se visualizarán estos barridos de variables anidadas como familias de curvas.

Análisis en el tiempo: Transient

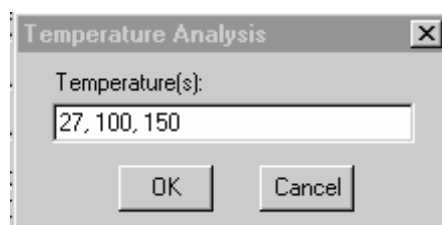
El análisis o respuesta transitoria (en el tiempo) calcula la respuesta temporal del circuito desde $T=0$ s hasta un valor de tiempo especificado por el usuario, según un intervalo de tiempo especificado entre los puntos a representar.

Podemos habilitar este tipo de análisis desde Schematics, opción Setup del menú Analysis, eligiendo del mismo: Transient, como se muestra en la siguiente figura.



Análisis en temperatura

Si bien el valor de la temperatura predefinido por el programa es de 27°C, se permite el análisis a otros valores de temperatura definidos por el usuario. Este tipo de análisis puede habilitarse desde Schematics, opción Setup del menú Analysis, eligiendo del mismo: Temperature, como se muestra en la siguiente figura. La indicación de las diferentes temperaturas se separan con comas.



Esta opción es de mucha utilidad para estudiar el comportamiento con la temperatura de los dispositivos semiconductores.

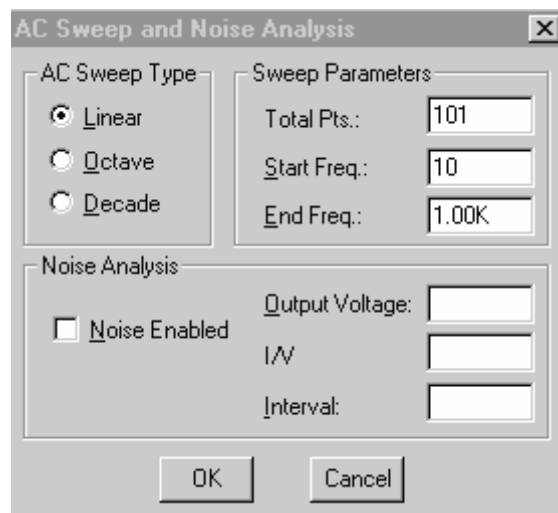
Análisis en frecuencia (AC Sweep)

Este tipo de análisis hace que el programa calcule la respuesta en frecuencia del circuito bajo prueba en un rango definido de frecuencias. Se accede a este tipo de análisis desde Schematics, opción Setup del menú Analysis, eligiendo del mismo: AC Sweep, como se muestra en la siguiente figura.

El barrido de las frecuencias puede ser seleccionado como: lineal o logarítmico (por décadas o por octavas).

La respuesta calculada por AC utiliza modelos de pequeña señal de los componentes no lineales, es decir, linealiza el circuito en torno al punto de operación de continua.

Los parámetros de barrido son definidos por el usuario: Puntos totales (para barrido lineal), puntos por Octava o puntos por Década, frecuencia inicial y frecuencia final de barrido.



Este tipo de análisis será de mucha utilidad para calcular la respuesta en frecuencia de las etapas amplificadoras.

PSPICE

El simulador de circuitos PSPICE puede ejecutarse desde su icono, en el grupo de programas MicroSim Eval 7.1. En ese caso abrirá una ventana como la mostrada.



También puede ejecutarse desde el menú de esquemáticos con la opción Simulate una vez que ha sido dibujado el circuito sin errores.

A continuación se hace una breve descripción de las acciones más importantes de los menús File y Display.

Menú File

<u>O</u> pen
<u>P</u> ause Simulation <u>T</u> erminate Simulation
<u>R</u> un Probe <u>E</u> xamine Output
<u>E</u> xit

Open: Permite seleccionar el archivo que se quiere simular y que tiene extensión .CIR. Una vez cargado la simulación es automática realizando los diferentes tipos de análisis que previamente han sido elegidos. Realizado el análisis se abrirá una ventana que contiene indicación sobre los posibles errores cometidos.

Pause Simulation: Permite realizar una pausa en la simulación.

Terminate Simulation: Permite interrumpir la simulación cuando se está ejecutando el análisis.

Run Probe: Permite una vez realizado el análisis sin errores ejecutar el analizador de gráficos PROBE directamente desde PSPICE.

Examine Output: Permite ver el archivo de salida donde se encuentra el resultado de la simulación del circuito. En este archivo contamos con una indicación de los errores cometidos.

Menú Display

Permite configurar el modo de presentación del estado de los análisis durante la simulación del circuito y de la pantalla.

<u>I</u> nmediate	
<u>F</u> ast	
<u>S</u> low	
<hr/>	
<u>F</u> onts	
<hr/>	
<u>T</u> ext Color...	
<u>B</u> ackground Color ...	
<u>E</u> rror text Color...	
<u>E</u> rror Background Color	

Inmediate: Permite realizar una presentación inmediata.

Fast: Permite realizar una presentación rápida y es la opción predefinida.

Slow: Permite realizar una presentación más lenta que las anteriores.

Font: Permite seleccionar el tipo de letra que aparecerá en la pantalla durante la simulación del circuito.

Text Color: Permite configurar el texto que aparece en la ventana de PSPICE.

Background Color: Permite configurar el color de fondo de la ventana principal.

Error text Color: Permite configurar el color para los mensajes de error.

Error Background Color: Permite configurar el color de fondo para los mensajes de error.

Estructura básica de PSPICE

El uso de PSPICE puede ser dividido en tres pasos:

- 1- Creación de un archivo de texto llamado NETLIST que es el listado de conexiones del circuito que se quiere simular. El listado de conexiones es un grupo de sentencias que identifican el número y tipo de dispositivos a usar en el circuito, junto con el detalle de las conexiones y tipos de análisis a realizar. De este modo se genera un archivo fuente del listado de conexiones con extensión .CIR
- 2- Ejecución del programa. Se realizará la simulación cuando no existan errores; de lo contrario se abortará la corrida del programa. Se genera un archivo de salida con extensión .OUT en el cual se encontrarán los resultados de la simulación o un listado de los errores cometidos en el caso que el programa hubiese abortado.
- 3- Visualización gráfica o impresa de los resultados de la simulación.

PSPICE permite editar el programa fuente a través de un editor de textos propio o externo. El archivo creado debe contener los siguientes elementos:

- descripción topológica del circuito
- tipos de análisis (sentencias de control)
- indicación de la forma de visualización de la salida

Los mensajes de error se encuentran en el archivo de salida a menos que el error sea causado por el sistema.

Cada elemento del circuito está definido por una sentencia que contiene:

- el nombre del elemento. La primera letra identifica el tipo de elemento, por ejemplo: R: resistor, C: capacitor, D: diodo
- nodos a los cuales está conectado. Los nodos determinan las conexiones entre los elementos. Deben tener como mínimo dos conexiones y para poder realizar un análisis en continua cualquier nodo debe tener un paso de retorno a tierra. Los nodos pueden estar definidos por números (no necesariamente ordenados secuencialmente) o secuencias alfanuméricas. El número 0 se reserva para el nodo de tierra; cada circuito debe tener al menos una conexión a tierra.
- El * se usa para comenzar una línea de comentario que puede incluir cualquier texto
- El + indica continuación de una línea
- Los valores de los componentes se escriben en notación de punto flotante estándar con sufijos multiplicadores cuando sea necesario. Los sufijos multiplicadores reconocidos por PSPICE son:

F	P	N	U	MIL	M	K	MEG	G	T
10^{-15}	10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	25.4×10^{-6}	10^{-3}	10^3	10^6	10^9	10^{12}

Los sufijos para las unidades son:

V = Volt	H = Henry
OHM = Ohm	DEG = Grados
A = Ampere	HZ = Hertz
F = Faradio	

En este último caso debemos notar que F también representa el sufijo multiplicador 10^{-15} . Por lo tanto, si definimos un capacitor por el valor 0.1F, para PSPICE no será de 0.1 faradios sino 0.1×10^{-15} faradios.

A continuación, como ejemplo se muestra una sección de un listado de conexiones.

```
* Example Netlist *
R_RBIAS    $N_0001 VDD 20k
R_RC1     OUT1 VDD 10k
C_CLOAD   OUT1 OUT2 5p
V_V3     VEE 0 DC -12
V_V1     $N_0004 0 DC .125 AC 1
+SIN 0v 0.1v 5Meg 0 0
```

Los componentes

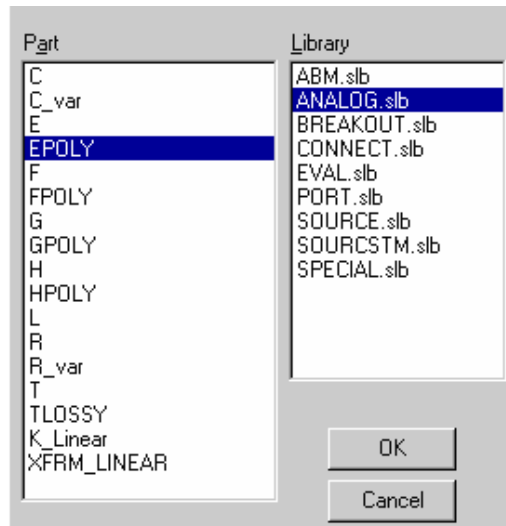
El programa admite una gama muy amplia de componentes pasivos y activos. Estos últimos están representados por modelos matemáticos complejos algunos de cuyos parámetros pueden ser cambiados por el usuario.

De un interés muy especial es el manejo de librerías que contienen grupos de componentes comerciales, así como también la posibilidad de construir subcircuitos para representar componentes complejos.

Un subcircuito puede definirse como un grupo de elementos interconectados y representados como un único elemento, una especie de caja negra donde son accesibles terminales de entrada y de salida definidos por el usuario.

Componentes pasivos

Los componentes pasivos disponibles en PSPICE son: resistencias (R), capacitores (C), inductores (L) y transformadores (K). Los mismos se encuentran en la librería llamada ANALOG.slb. Al seleccionarla se abre el siguiente menú:



Las resistencias pueden tener especificado un coeficiente de temperatura y los capacitores e inductores pueden tener ciertas condiciones iniciales, cuyos valores pueden ser fijados a través del parámetro IC.

Componentes activos

Los componentes activos constituyen una amplia variedad: diodos, transistores bipolares, transistores de efecto de campo JFET, MOSFET, GaAsFET y otras estructuras más complejas como es el caso de amplificadores operacionales. Las características de cada uno de ellos se definen por medio de su modelo y se encuentran incorporadas a las librerías del programa.

(La modelización de los dispositivos semiconductores constituye un capítulo aparte)

Los dispositivos activos queda definidos por una sentencia .MODEL en la cual se especifica el tipo de dispositivo (D: diodo, Q: transistor bipolar, J: JFET, etc.) y se asignan valores a los parámetros que lo caracterizan. El usuario puede usar al dispositivo con los parámetros asignados por el programa, variar alguno de ellos o puede crear su propio modelo equivalente.

Fuentes de tensión y de corriente

Son los elementos del circuito que generan energía. Las fuentes de tensión se definen por la letra V y las de corriente por la letra I. Pueden ser de dos tipos: independientes o controladas.

* Las fuentes independientes pueden ser seleccionadas de acuerdo al tipo de análisis a realizar. Por ejemplo la especificación DC en una fuente de tensión o de corriente implica un análisis en continua: VDC, IDC. Las fuentes con especificación AC implican un análisis de respuesta en frecuencia. Para el análisis temporal se usan otro tipo de especificaciones: SIN, PULSE, EXP, etc., según sea la forma de onda asignada: senoidal, pulso, exponencial, etc.

La librería SOURCE.slb permite acceder a los distintos tipos de fuentes usadas como generadores de energía. En tanto, la librería SOURCSTM.slb contiene generadores de estímulos (ISTIM, VSTIM) que pueden usarse como señales de entrada al circuito.

* Las fuentes controladas pueden ser controladas por tensión o por corriente, con lo cual pueden establecerse cuatro tipos:

- fuente de tensión controlada por tensión
- fuente de tensión controlada por corriente
- fuente de corriente controlada por tensión
- fuente de corriente controlada por corriente

Se encuentran en la librería ANALOG.slb descriptas por E, H, G y F respectivamente.

A su vez las fuentes controladas pueden estar definidas por funciones lineales o polinómicas. En este último caso la función de control se expresa por medio de un polinomio de la forma: $f(x) = a + bx + cx^2 + dx^3 + \dots$

Se encuentran en la librería ANALOG.slb descriptas por: EPOLY, HPOLY, GPOLY, FPOLY.

Fuentes independientes variables en el tiempo

Existen distintos tipos de fuentes independientes que pueden usarse en el análisis temporal:

- EXP < > onda exponencial
- PULSE < > pulso
- PWL < > lineal por tramos
- SFFM < > modulada en frecuencia
- SIN < > senoidal (que puede ser amortiguada)

La expresión < > indica que deben definirse una serie de parámetros propios para cada tipo de fuente. En forma general, una fuente de tensión independiente queda definida por una sentencia del tipo:

V<nombre> [DC <valor>] [AC <amplitud>] + [especificaciones transitorias]

Si la fuente tiene un valor de continua se especifica por medio de DC. Si es una tensión de frecuencia variable se especifica por AC. Las especificaciones transitorias corresponden al tipo de fuente en particular. En general, son nulos los valores DC, AC y especificaciones transitorias predefinidos en el programa. Las especificaciones tendrán acciones sobre el circuito de acuerdo al tipo de análisis elegido en el mismo.

A continuación nos referiremos a los tipos de fuente de mayor interés.

PULSE

Además de los valores DC y AC que pueden especificarse, queda definida por los siguientes parámetros:

VPULSE [DC] [AC] + (<V1> <V2> <TD> <TR> <TF> <PW> <PER>

V1 : tensión inicial

V2 : altura del pulso

TD: tiempo de retardo

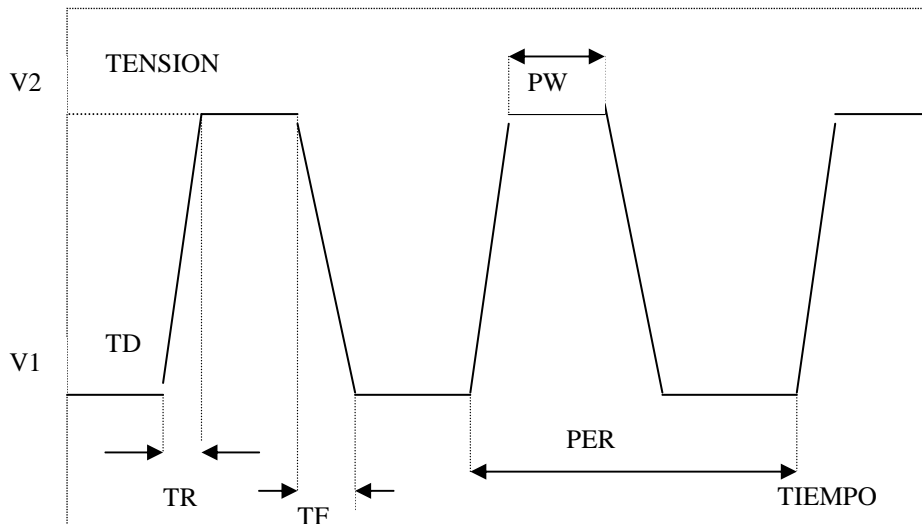
TR: tiempo de subida

TF: tiempo de bajada

PW: duración del pulso (estado alto)

PER: período de la señal

VPULSE genera una señal de tensión V1 durante los primeros TD segundos. Luego, la señal crece en forma lineal desde V1 hasta V2 durante TR segundos. A partir de allí, la tensión permanece constante al valor V2 durante PW segundos. Por último la señal decrece linealmente desde V2 hasta V1 durante los próximos TF segundos.



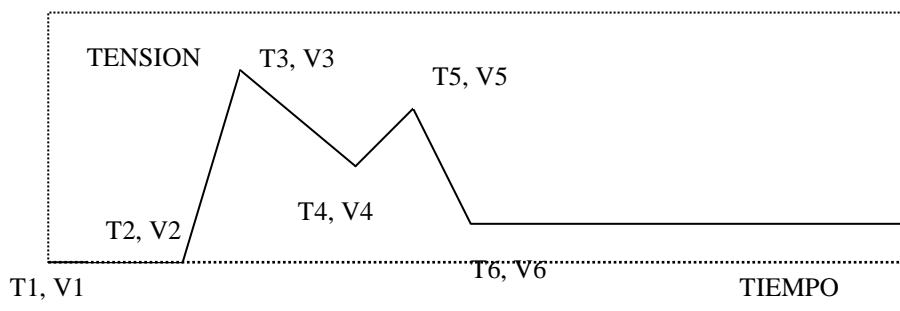
PWL

VPWL define una fuente de tensión cuya característica es estar compuesta por tramos rectos definidos por el usuario. En forma general es similar a la anterior:

VPWL [DC] [AC] + (<t1> <V1> <t2> <V2>... <tn> <Vn> , donde

<tn>: tiempo correspondiente a un punto Pn

<Vn>: tensión correspondiente al punto Pn

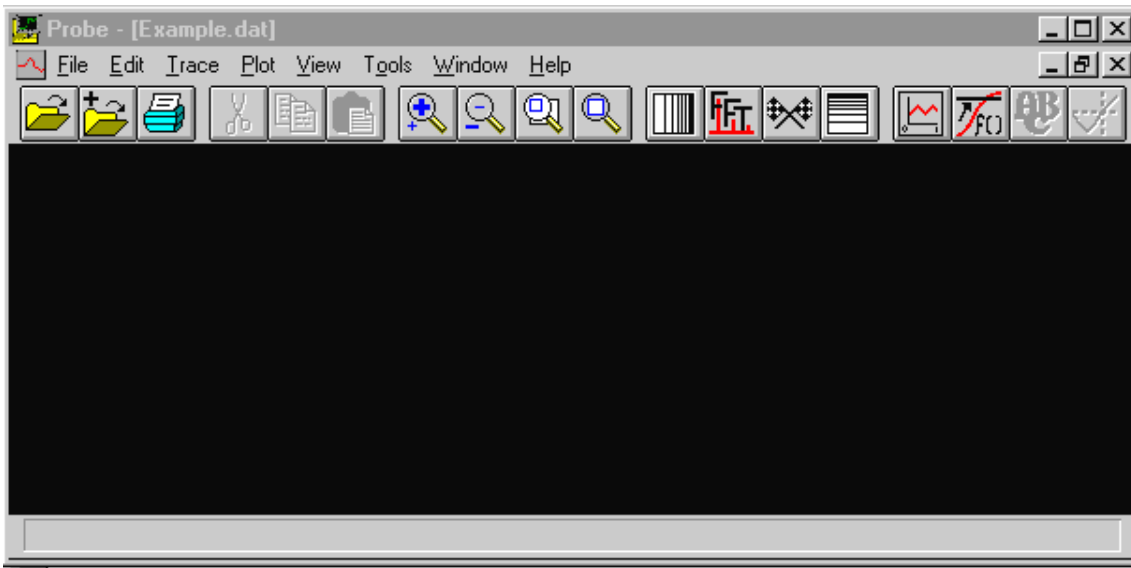


PROBE

PROBE es un programa analizador de gráficos que permite visualizar los resultados de la simulación como si se tratara de la pantalla de un osciloscopio. Presenta varias posibilidades de tratamiento de las ondas obtenidas tales como medición, ampliación (zoom) de zonas determinadas, variación de las escalas de los ejes, colocación de títulos o leyendas, impresión de los resultados.

Los datos necesarios para ejecutar PROBE se encuentran almacenados en archivos con extensión .DAT que contienen los datos de la simulación y que son generados por la simulación PSPICE con el mismo nombre que el archivo .CIR.

Al ejecutarse PROBE se abrirá una ventana como la siguiente y de la cual se describirán las opciones más importantes.



Menú File

<u>O</u> pen...
<u>A</u> ppend
<u>C</u> lose
<u>P</u> rint
<u>P</u> age Setup...
<u>P</u> rinter Select...
<u>L</u> og Commands...
<u>R</u> un Commands...
<u>E</u> xit

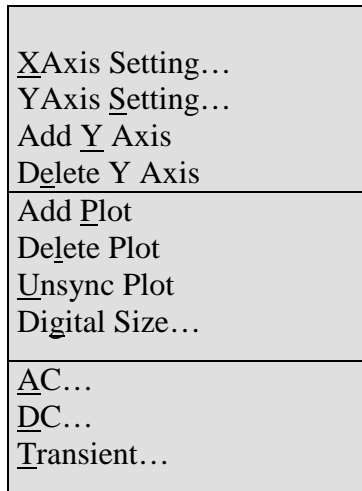
Menú Edit

<u>C</u> ut
<u>C</u> opy
<u>P</u> aste
<u>D</u> elete
<u>M</u> odify <u>O</u> bject...
<u>M</u> odify <u>T</u> itle...

Menú Trace

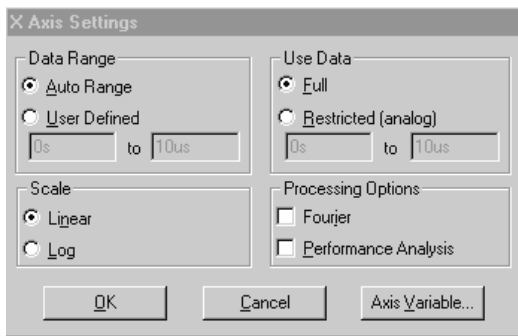
<u>A</u> dd
<u>D</u> elete All
<u>U</u> ndelete
<u>F</u> ourier
<u>P</u> erformance Analysis
<u>M</u> acros...
<u>G</u> oal Functions...
<u>E</u> val Goal Functions...

Menú Plot



Las opciones: XAxis Setting y YAxis Setting permiten configurar los ejes X e Y respectivamente.

Al ejecutar estas opciones se abrirán las correspondientes ventanas como se muestra a continuación.



Los ejes pueden estar predefinidos: Auto Range, o pueden ser definidos por el usuario con la opción: User Defined. En el primer caso el rango de valores del eje X se ajusta en forma automática, para obtener la mejor representación gráfica.

En el segundo caso, el rango de valores se ajusta en forma manual por el usuario, introduciendo el valor inicial y el valor final.

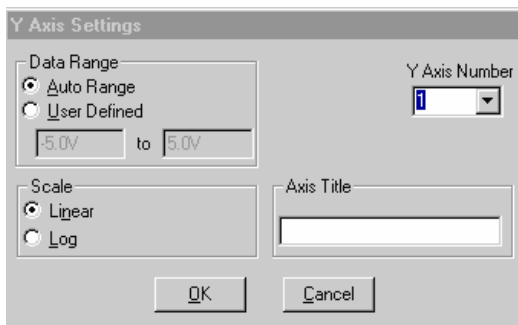
La escala de los ejes puede ser de tipo lineal (Linear) o logarítmica (Log).

La opción Axis Variable permite elegir la variable sobre el eje X. La variable tiempo está predefinida.

Add Plot permite añadir otra ventana gráfica a la pantalla con sus propios ejes, aunque el eje X es común.

Delete Plot permite eliminar la ventana gráfica que fuera creada en el paso anterior.

AC, DC, Transient remiten a los distintos tipos de análisis que fueran seleccionados.



Menú View

<u>F</u> it
<u>I</u> n
<u>O</u> t
<u>A</u> rea
<u>P</u> revious
<hr/>
<u>R</u> edraw
<u>P</u> an- <u>N</u> ew <u>C</u> enter

In: permite modificar la escala (zoom) de modo que aumente el tamaño de los componentes visualizados sobre la pantalla. Activa una cruz para seleccionar el área a magnificar.

Out: permite modificar el factor de escala para ver una mayor porción de la página, de modo que se achica el tamaño de los componentes. Activa una cruz para seleccionar el área a reducir.

Fit: muestra una vista a escala de todos los elementos, conexionado y texto dentro de una ventana activa.

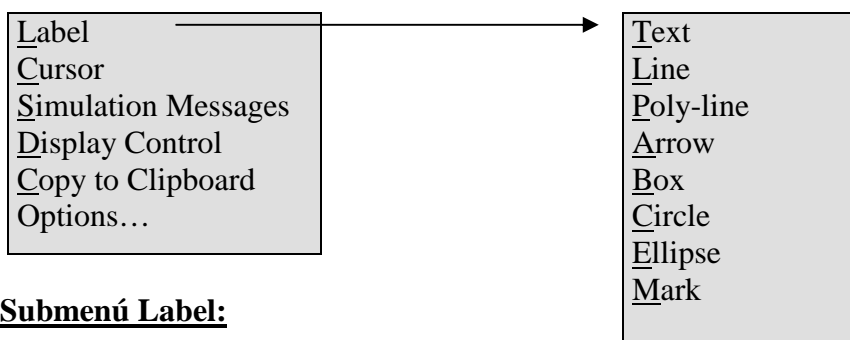
Area: permite seleccionar un área rectangular que podrá ser ampliada hasta ocupar la totalidad de la ventana de trabajo.

Previous: restablece el área que fue seleccionada previamente.

Redraw: vuelve a dibujar el esquema sobre la pantalla.

Pan-New Center: mantiene el factor de escala en uso y mueve el esquema de trabajo tal que el lugar seleccionado queda centrado sobre la pantalla.

Menú Tools



Submenú Label:

Text: Permite incorporar texto

Line: Traza una línea entre dos puntos.

Poly-line: Permite trazar líneas unidas unas tras otras.


Arrow: Permite dibujar una flecha

Box: Permite dibujar un recuadro

Circle/ Ellipse: Permite dibujar un círculo/ elipse

Submenú Cursor:

Permite activar sobre la pantalla gráfica dos cursores que pueden usarse para realizar medidas más precisas (se activan con los botones izquierdo y derecho del mouse). Sobre la esquina inferior derecha de la pantalla aparecerá un cuadro indicando las coordenadas X e Y de cada cursor, así como la diferencia de coordenadas X y la diferencia de coordenadas Y.



Probe Cursor	
A1 =	4.4725u, 3.3914
A2 =	6.8119u, 3.3918
dif=	-2.3395u, -343.429u

Este submenú presenta otras opciones:

Peak / Trough: Permite situar al cursor en el punto de pico/ valle de la señal visualizada.

Slope: Permite que el cursor se vaya desplazando sobre las rampas de la señal.

Min / Max: Permite que el cursor se desplace sobre el punto máximo/mínimo de la señal

Point: Permite posicionar el cursor sobre un punto seleccionado.

Search Commands: Permite buscar algún comando especificado.

Submenú Display Control:

Este submenú permite salvar los gráficos realizados (Save, Save to), cargar gráficos realizados con anterioridad (Restore (carga la última sesión de trabajo guardada bajo el nombre LAST SESSION), Load) o borrar pantallas (Delete, Delete from).

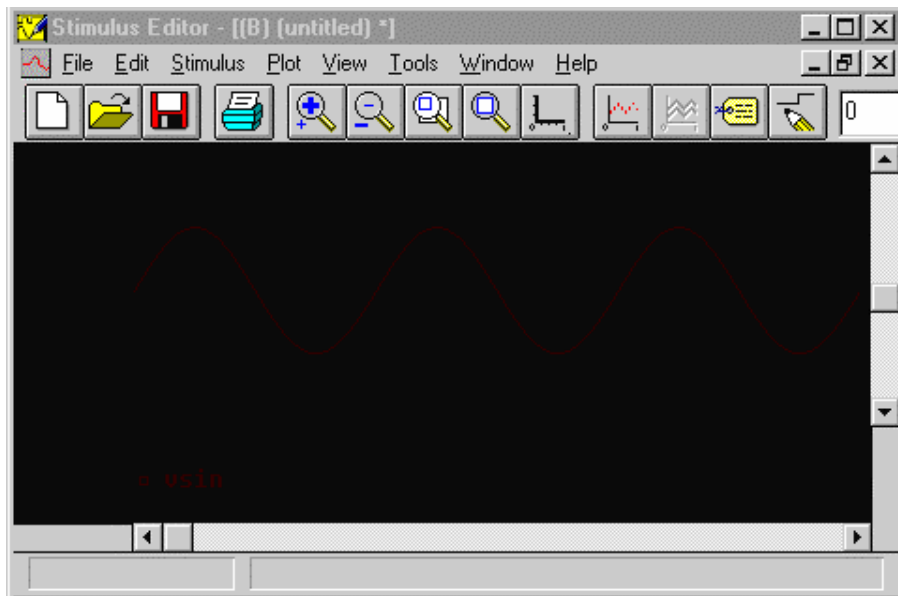
Submenú Copy to Clipboard:

Copia la ventana gráfica actual al portapapeles de Windows.

Editor de estímulos (Stimulus Editor)

El editor de estímulos permite crear una entrada a ser aplicada al circuito bajo prueba. (En la versión de evaluación esta opción está restringida a ondas senoidales para circuitos analógicos y formas de onda de reloj para circuitos digitales).

Puede accederse a él desde el icono correspondiente o desde el menú de esquemáticos, submenú Analysis, opción Edit Stimuli. En cualquiera de los casos se presenta una ventana como la siguiente:



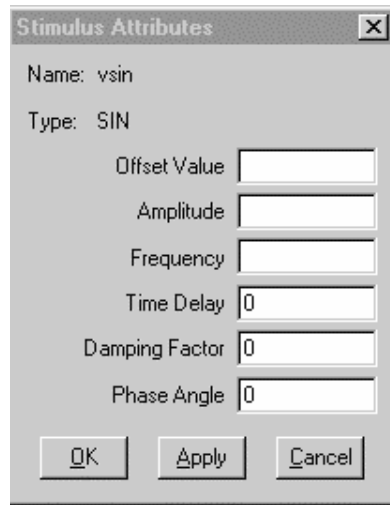
Para los circuitos analógicos son permitidas (salvo para la versión de evaluación) las siguientes formas de onda:

- EXP: Generador de onda exponencial
- PULSE: Generador de pulsos
- PWL : Generador de onda lineal por tramos
- SFFM: Generador de onda modulada en frecuencia
- SIN : Generador de onda senoidal

A estos puede accederse a través de menú Stimulus, opción New, abriéndose una ventana como la siguiente:



Como ejemplo vamos a editar una señal de tipo senoidal. Para ello estando en la ventana anterior damos un nombre al estímulo nuevo, por ejemplo: vsin y apretamos OK. Aparece otra pantalla que permite incorporar los atributos de la nueva señal.



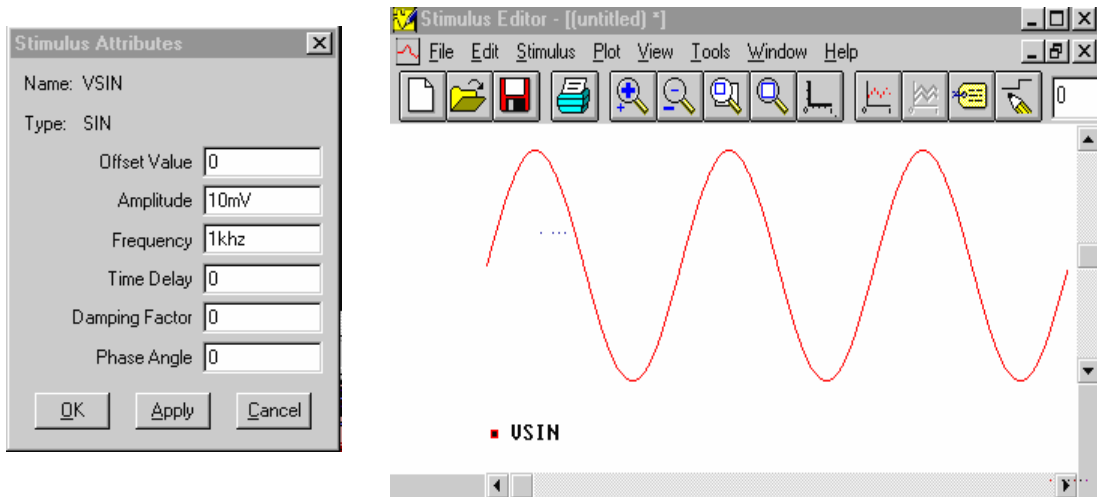
Offset value: Tensión de offset (voff)
Amplitude: Tensión de pico (vampl)
Frequency: Frecuencia (freq)
Time Delay: Tiempo de retardo (td)
Damping Factor: Factor de amortiguación (df)
Phase Angle: Desfase en grados (fase)

Internamente, el programa describe una fuente senoidal por la siguiente expresión:

$$\text{SIN}(\langle \text{voff} \rangle \langle \text{vampl} \rangle [\text{freq}] [\text{td}] [\text{df}] [\text{fase}])$$

La forma SIN genera una tensión de amplitud $\langle \text{voff} \rangle$ durante los primeros td segundos. Después, la tensión se hace senoidal con una amplitud que puede decrecer exponencialmente según el factor de amortiguamiento especificado en df. Para una onda senoidal pura los parámetros td, df y fase valen cero.

Ejemplo:



Capturador de esquemas (Schematics)

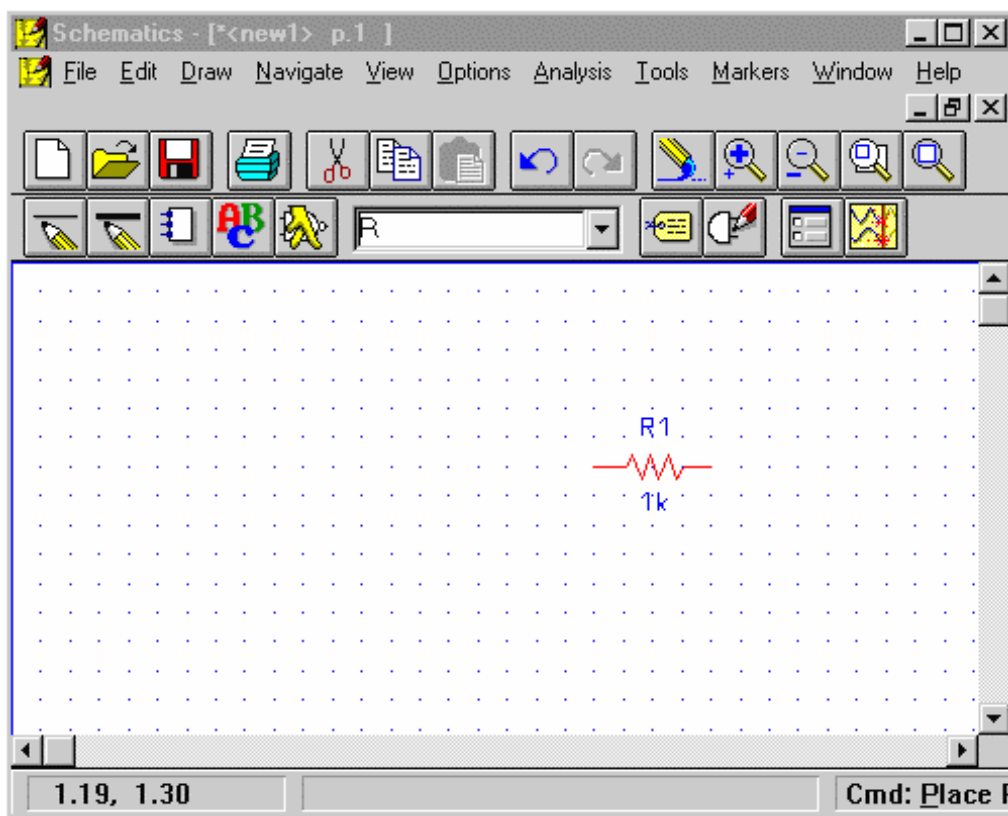
Este programa permite realizar varias acciones, tales como:

- dibujar el esquema del circuito que se pretende estudiar con todos sus componentes y modificarlo según las necesidades
- comprobar que no se cometieron errores del tipo circuitos abiertos (nodos flotantes), lazos de fuentes de tensión, lazos inductivos o capacitivos, etc.
- seleccionar distintos tipos de análisis a realizar sobre el circuito dibujado
- simular el circuito (ejecución del programa PSPICE)
- visualizar formas de onda globales o en puntos preseleccionados (ejecución del programa PROBE)

La ejecución de Schematics se realiza por medio del icono:



La figura que sigue muestra la ventana principal de Schematics. (Más adelante se describen los comandos más importantes)



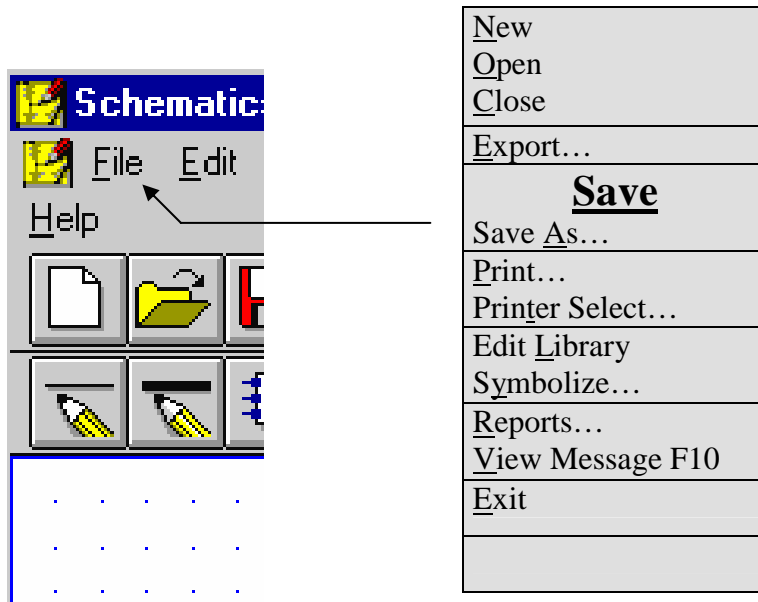
El origen de coordenadas se encuentra en la esquina inferior izquierda de la pantalla. Al desplazar el mouse sobre la pantalla, los números que aparecen en la esquina inferior indican las coordenadas del punto apuntado en un momento determinado.

Descripción del menú de esquemas (Schematics)

(Se describirán las acciones más importantes)

1- Menú File

Este menú permite crear, abrir y cerrar archivos e imprimir el esquema realizado.



New: crea un esquema nuevo.

Open: carga un esquema ya guardado en el disco.

Close: cierra las ventanas activas

Save: graba en el disco el esquema de trabajo actual con un nombre ya definido antes

Save As: graba en el disco el esquema de trabajo actual con un nombre nuevo

Print: imprime el esquema de trabajo actual

Printer Select: selecciona otra impresora

Edit Library: permite editar librerías existentes para modificar componentes ya existentes o para agregar nuevos elementos.

Symbolize: permite introducir el esquema realizado en una librería como si fuese un componente; debe asignarse un nombre.

View Messages: muestra una pantalla en la que aparecen los errores en el esquema de trabajo, dando idea del tipo de error y su localización

Exit: salida del capturador de esquemas.

2- Menú Edit

Este menú permite editar los diferentes componentes del esquema de trabajo.

<u>U</u> ndo <u>R</u> edo
<u>C</u> ut <u>C</u> opy <u>P</u> aste <u>C</u> opy to Clipboard
<u>D</u> elete
<u>A</u> tttributes... <u>L</u> abel... <u>M</u> odel... <u>S</u> tímulus <u>S</u> ymbol
<u>V</u> iews Convert <u>B</u> lock
<u>R</u> otate <u>F</u> lip Align <u>H</u> orizontal Align <u>V</u> ertical
<u>R</u> eplace <u>F</u> ind

Undo: Deshace la acción realizada en el paso anterior

Redo: Deshace la acción previamente deshecha

Cut: permite borrar los elementos seleccionados en el esquema de trabajo.

Copy: permite seleccionar elementos para pegarlos en otro lugar del area de trabajo.

Paste: permite pegar los elementos antes seleccionados con Copy.

Copy to Clipboard: copia un rectángulo seleccionado en el portapapeles de Windows para exportarlo a otros programas. La selección se hace por medio del ratón, arrastrando el botón izquierdo sobre la parte elegida.

Delete: borra el componente previamente seleccionado.

Attributes: permite editar atributos en el componente seleccionado.

Label: permite colocar una etiqueta de texto a un hilo de conexión entre elementos, bus o puerto del esquema.

Model: permite editar el modelo de algunos dispositivos.

Stimulus: llama al editor de estímulos para realizar modificaciones.

Symbol: ejecuta el editor de librerías para editar un elemento seleccionado.

Views: permite ver y modificar los visores de un componente seleccionado.

Convert Block: permite convertir un bloque seleccionado en un componente al que debe dársele un nombre y luego colocarlo en una librería.

Rotate: permite rotar 90 grados en sentido horario un objeto seleccionado en sentido contrario a las agujas del reloj.

Flip: crea una imagen especular del objeto seleccionado.

Replace: permite reemplazar componentes seleccionados por otros.

Find: permite buscar componentes con determinados atributos.

3- Menú Draw

Permite colocar los diferentes componentes y dibujar los conexionados.

<u>R</u> epeat
<u>P</u> lace Part <u>T</u> ext... <u>W</u> ire <u>B</u> us <u>B</u> lock
<u>G</u> et New Part...
<u>R</u> ewire

Repeat: repite la última operación, es decir permite activar el último comando seleccionado

Place Part: permite colocar un componente en el esquema igual al último elegido con el comando Get New Part.

Text: permite escribir texto

Wire: permite dibujar hilos de conexión (cableado) entre los elementos del circuito.

Bus: permite dibujar un bus de hilos de conexión.

Block: permite dibujar un bloque para posteriormente introducir elementos con un esquema diseñado anteriormente.

Get New Part: permite seleccionar un componente nuevo y colocarlo en el área de trabajo. El componente puede seleccionarse por su nombre o por su búsqueda en las librerías.

Rewire: permite cambiar el trazo de un conexionado sin cambiar los puntos extremos del mismo.

4- Menú Navigate

Provee opciones relacionadas al movimiento de páginas y niveles de jerarquía.

<u>P</u> revious Page <u>N</u> ext Page
<u>S</u> elect Page... <u>C</u> reate Page... <u>D</u> elete Page... <u>C</u> opy Page...
<u>E</u> dit Page Info...
Edit Schematic <u>I</u> nstance Edit Schematic <u>D</u> efinition
<u>P</u> ush <u>P</u> op <u>T</u> op <u>W</u> here

Previous Page: permite cargar la página que corresponde al esquema anterior en la página actual para editarla.

Next Page: cargará la próxima página para trabajar con ella.

Select Page: permite seleccionar una página en especial y cargarla para editarla

Create Page: permite adicionar una página nueva al esquema de trabajo.

Delete Page: borra la página actual del esquema de trabajo.

Copy Page: permite copiar una página almacenada en el disco. Presenta una ventana que al abrirse pide especificar el nombre del esquema y el número de página a copiar.

Edit Page Info: edita el título de la página actual de trabajo.

Edit Schematic Instance: permite abrir un esquemático para realizar cierto tipo de modificaciones relacionadas con atributos de bloques o símbolos.

Edit Schematic Definition: permite abrir un esquemático para realizar cierto tipo de modificaciones relacionadas con atributos de bloques o símbolos

Push: permite descender un nivel en el editor de esquemas, por ejemplo para activar un bloque.

Pop: permite ascender un nivel en el editor de esquemas, por ejemplo si se estaba editando un bloque regresará al esquema de la página en que se encuentra el bloque

Top: permite volver al nivel más alto del esquema de trabajo actual

Where: muestra la jerarquía completa del esquemático que está siendo editado.

5- Menú View

Permite cambiar el factor de escala del esquemático sobre la pantalla.

<u>F</u> it
<u>I</u> n
<u>O</u> t
<u>A</u> rea
<u>P</u> revious
<u>E</u> ntire Page
<u>R</u> edraw
<u>P</u> an- <u>N</u> ew <u>C</u> enter

Fit: muestra una vista a escala de todos los elementos, conexionado y texto dentro de una ventana activa.

In: permite modificar la escala (zoom) de modo que aumente el tamaño de los componentes visualizados sobre la pantalla. Activa una cruz para seleccionar el área a magnificar.

Out: permite modificar el factor de escala para ver una mayor porción de la página, de modo que se achica el tamaño de los componentes. Activa una cruz para seleccionar el área a reducir.

Area: permite seleccionar un área rectangular que podrá ser ampliada hasta ocupar la totalidad de la ventana de trabajo.

Previous: restablece el área que fue seleccionada previamente.

Entire Page: muestra el esquema de trabajo sobre la página completa.

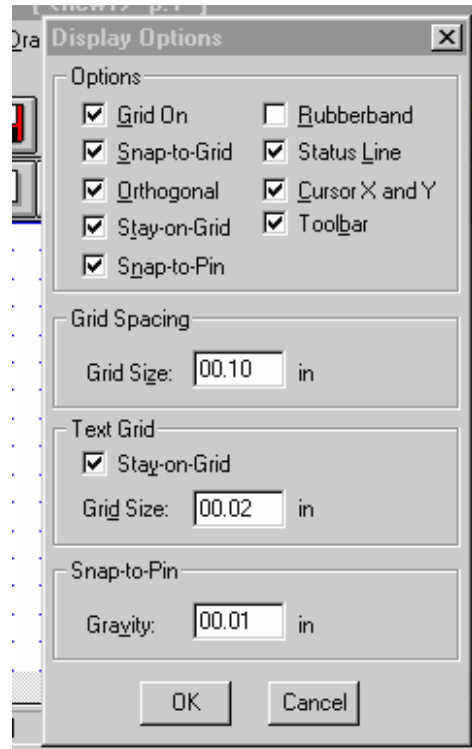
Redraw: vuelve a dibujar (refresca) el esquema sobre la pantalla.

Pan-New Center: mantiene el factor de escala en uso y mueve el esquema de trabajo tal que el lugar seleccionado queda centrado sobre la pantalla.

6- Menú Options

Display Options... Page Size...
Auto-Repeat... Auto-Naming...
Set Display Level... Editor Configuration... Pan & Zoom...
Restricted Operations... Translators...

Display Options: permite la configuración de los diferentes parámetros que corresponden a la presentación de la pantalla. Al seleccionar Display Options aparece el siguiente cuadro:



Las opciones más importantes son:

- **Grid On:** activa el dibujo de una rejilla sobre la pantalla que puede usarse como guía para colocar los componentes y el conexionado.
- **Snap to Grid:** permite mover los componentes por cualquier punto de la ventana de dibujo; de lo contrario sólo permite mover los objetos a intervalos fijados por la grilla.
- **Orthogonal:** cuando está activa sólo permite dibujar los hilos de conexión en forma horizontal y vertical. Cuando está desactivada permite dibujar conexiones en cualquier ángulo.
- **Stay on Grid:** cuando está activa permite colocar los componentes sólo en puntos determinados por la rejilla.
- **Status Line:** suministra información en la parte inferior de la ventana de trabajo.
- **Cursor X e Y:** muestra las coordenadas del cursor en la parte inferior de la ventana de trabajo.
- **Toolbar:** activa o desactiva la barra de herramientas.
- **Grid Spacing:** permite ajustar la separación entre los puntos de la grilla

Page Size: permite establecer el tamaño de la página, seleccionar el formato de un conjunto disponible o crear uno nuevo.

Auto- Repeat: cuando está activa coloca en forma automática un componente idéntico al último seleccionado y a la distancia especificada en los campo horizontal y vertical.

Auto-Naming: asigna automáticamente un nombre a cada componente colocado. Al activarse presenta un cuadro de opciones.

Set Display Level: permite seleccionar opciones de presentación del esquema de trabajo por pantalla o en copia de impresión.

Editor Configuration: permite configurar las características del capturador de esquemas. Pueden indicarse librerías, especificando los nombres y localización de las mismas.

Pan & Zoom: controla la pantalla y las posibilidades de ampliación o reducción (zoom).

7- Menú Analysis

Este menú es el que permite generar un archivo de texto que será el que utilice el simulador PSPICE para realizar el análisis del circuito.

<u>E</u> lectrical Rule Check <u>C</u> reate Netlist
<u>E</u> dit Stimuli <u>S</u> etup <u>L</u> ibrary and Include Files ... <u>S</u> imulate F11
<u>P</u> robe Setup ... Run <u>P</u> robe F12
Examine <u>N</u> etlist Examine <u>O</u> utput

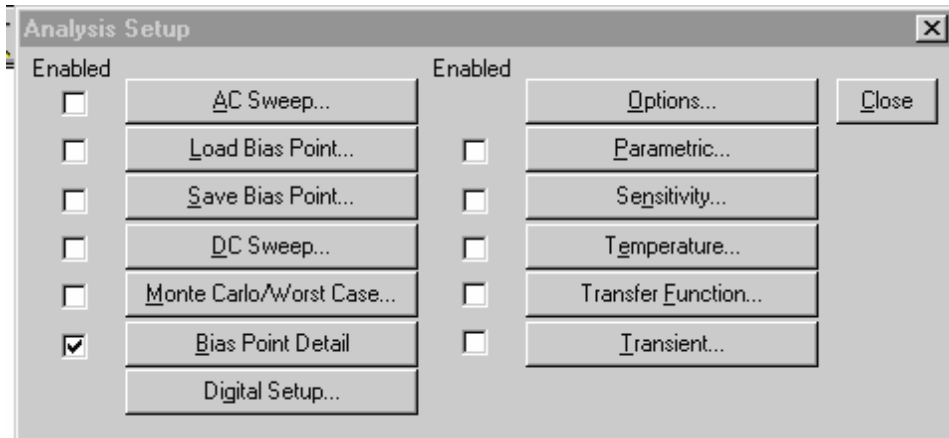
Electrical Rule Check: Realiza una revisión de las conexiones eléctricas del circuito. Si detecta algún error dá una indicación del mismo.

Create Netlist: Genera un archivo con extensión .NET de descripción del circuito (listado de componentes y conexiones). Además genera un archivo con extensión .CIR utilizado por el simulador.

Edit Stimuli: Permite editar formas de onda de tensión y de corriente analógicas y digitales.

Setup: Es el archivo de configuración donde se especifican los diferentes tipos de análisis a realizar sobre el circuito.

Cuando se selecciona este submenú se abre una ventana que muestra los diferentes tipos de análisis disponibles. Se describe a continuación:



AC Sweep: Permite calcular la respuesta en frecuencia en pequeña señal.

Load/Save Bias Point: Permite almacenar información en el archivo de salida acerca del punto de operación para diferentes análisis.

DC Sweep: Permite realizar un barrido (variación del valor) de una fuente de tensión, de corriente, un parámetro de un modelo o de la temperatura. El análisis se realiza en un determinado rango de valores definido por el usuario y el programa calcula para cada valor del barrido el punto de operación. También permite usar una variable anidada.

Monte Carlo/Worst Case: Permite realizar, para un determinado tipo de análisis especificado (DC, AC, TRAN), variaciones aleatorias del valor de los elementos en función de las tolerancias especificadas para los mismos.

Bias Point Detail: Muestra o suprime en el archivo de salida la información que corresponde al punto de operación del circuito.

Options: Permite configurar aspectos del programa referido a la precisión de la presentación de los resultados. (Debe modificarse con precaución)

Parametric: Permite realizar múltiples ejecuciones de un análisis variando: el valor de un parámetro de un modelo, una fuente o la temperatura.

Sensitivity: Permite obtener la sensibilidad (variaciones) de la salida respecto a variaciones en elementos seleccionados del circuito.

Temperature: Vuelve a realizar los análisis seleccionados para diferentes valores de la temperatura.

Transfer Function: Calcula la función de transferencia para pequeña señal en torno al punto de operación (modelo linealizado). Del análisis se obtienen tres características: ganancia de salida respecto a una fuente considerada como entrada, impedancia de entrada e impedancia de salida.

Transient: Permite obtener el comportamiento del circuito a lo largo del tiempo y realizar además un análisis de Fourier.

Library and Include Files: Permite especificar archivos de librerías de modelos o de estímulos que pueden ser incluidos en la simulación.

Simulate: Ejecuta el programa PSPICE que realiza la simulación del circuito.

Probe Setup: Permite configurar las opciones del analizador gráfico PROBE.

Run Probe: Ejecuta el analizador gráfico PROBE permitiendo la visualización de las diferentes formas de onda del circuito una vez que éste ha sido simulado sin errores.

Examine Netlist: Permite editar el archivo .NET de descripción circuital.

Examine Output: Permite visualizar el archivo de salida .OUT una vez que se ha simulado el circuito.

8- Menú Markers

Mark <u>V</u> oltage/Level Ctrl+M
Mark Voltage <u>D</u> ifferential
Mark <u>C</u> urrent into Pin
Mark <u>A</u> vanced...
Clear All
<u>S</u> how All
<u>S</u> how Select

Mark Voltage/Level: Permite colocar, en un hilo de conexión o en el terminal de un componente, un marcador simbolizado con V, para conocer la forma de onda de tensión de ese punto respecto de tierra.

Mark Voltage Differential: Permite colocar dos marcadores entre dos nodos para conocer la caída de tensión entre ellos.

Mark Current into Pin: Permite colocar un marcador, simbolizado con I, en un terminal de un componente de dos o tres terminales, para conocer la forma de onda de corriente que circula.

Mark Advanced: Permite colocar otro tipo de marcadores que constituyen opciones más avanzadas.

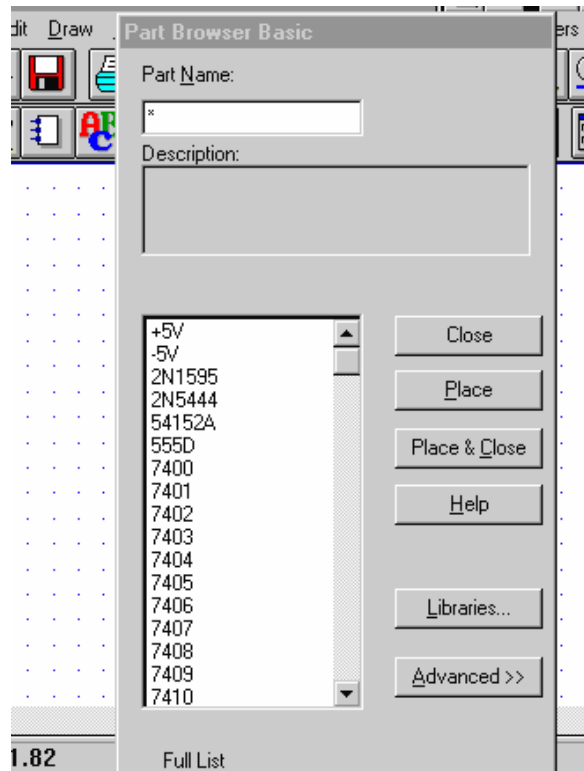
Clear All: Permite borrar todos los marcadores en todas las páginas asociadas al circuito dibujado.

Show All: Permite actualizar el graficador PROBE de modo que puedan representarse en él todas las formas de onda asociadas a los marcadores incorporados al dibujo.

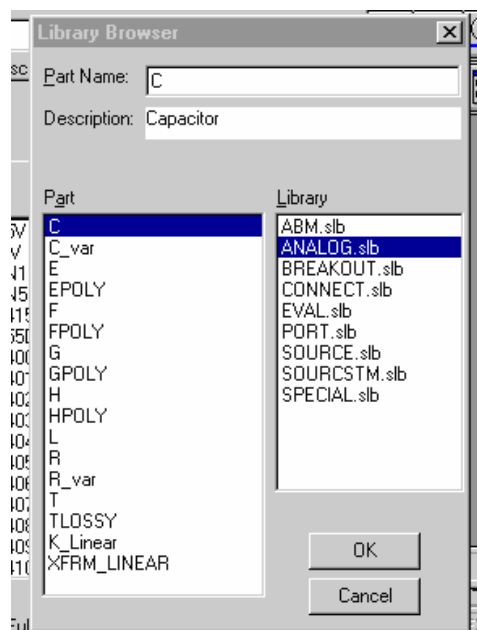
Show Select: Permite actualizar el graficador PROBE de modo que puedan representarse en él todas las formas de onda asociadas a los marcadores seleccionados en el dibujo.

Cómo se trabaja con el capturador de esquemas: dibujo de un circuito

Para colocar los componentes del circuito sobre la pantalla, una vez ingresada a la pantalla de Schematics, seleccionamos el menú DRAW y de él el menú Get New Part. Se abrirá una ventana como la indicada en la siguiente figura:



Podemos elegir un componente directamente de la lista, pero es más recomendable abrir la ventana Libraries, que muestra el conjunto de archivos de librerías con que cuenta el programa.



El programa suministra una serie de Librerías con los modelos y subcircuitos de gran cantidad de componentes comerciales.

Los archivos de librería pueden aparecer en tres formatos, que se diferencian por su extensión: .LIB, .IND ó .SLB.

Los archivos con extensión .LIB son archivos de librería propiamente dichos en los cuales se encuentran descritos los modelos y subcircuitos de componentes comerciales.

Los archivos con extensión .IND son de tipo índice y son utilizados por PSPICE para encontrar rápidamente el modelo o subcircuito de un determinado componente.

Los archivos con extensión .SLB son los que utiliza el capturador de esquemas y contiene los símbolos de los elementos a ser colocados en la hoja de trabajo.

Según puede verse en la figura anterior la librería contenida en el capturador de esquemas consta de los siguientes archivos:

ABM.SLB : Contiene varios tipos de fuentes y filtros

ANALOG.SLB: Contiene capacitores, inductores, resistencias, fuentes controladas de tensión y de corriente, líneas de transmisión y transformadores

BREAKOUT.SLB: Contiene elementos pasivos y elementos semiconductores con sus correspondientes modelos, que tienen asignados en sus parámetros valores predefinidos.

CONNECT.SLB: Contiene distintos tipos de conectores.

EVAL.SLB: Contiene componentes comerciales con sus correspondientes modelos.

PORT.SLB: Contiene elementos de conexión de interfaces, marcadores y conexiones a tierra.

SOURCE.SLB: Contiene todo tipo de fuentes de tensión y de corriente independientes.

SOURCSTM.SLB: Contiene fuentes de tensión y de corriente asociadas con la opción edición Stmd. (Estímulo).

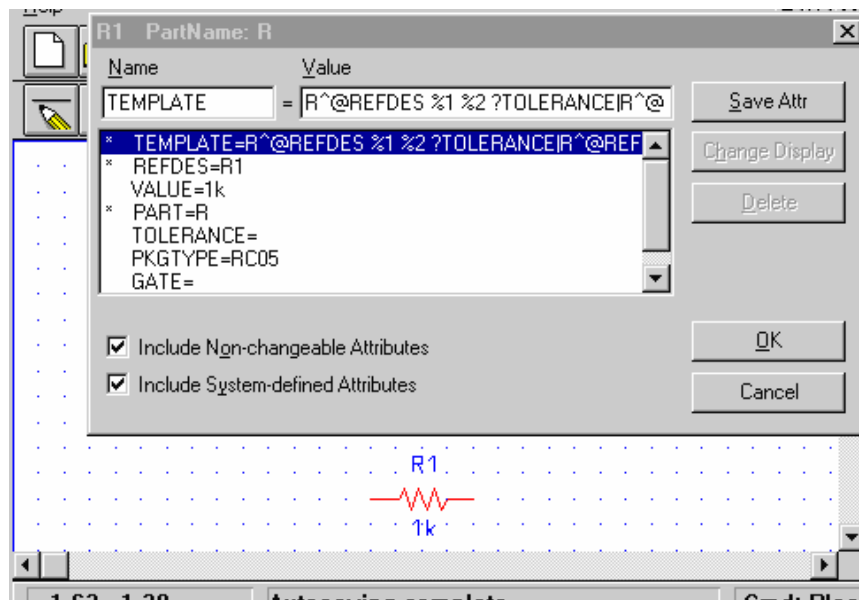
SPECIAL.SLB: Contiene algunos componentes especiales que permiten incluir ciertas opciones más avanzadas.

La biblioteca indicada en la figura anterior "Analog", muestra diferentes tipos de elementos analógicos: capacidades (C), resistores (R), inductores (L), etc. Una vez seleccionado el elemento, por ejemplo R, la opción "Place & Close" permite, por medio del mouse, colocar el elemento seleccionado en la 'hoja de dibujo'. Una vez ubicado en el lugar elegido, el botón izquierdo del mouse permite fijarlo. También se permite hacer copias del mismo elemento en diferentes lugares, a conveniencia. El botón derecho del mouse permite terminar con la selección.

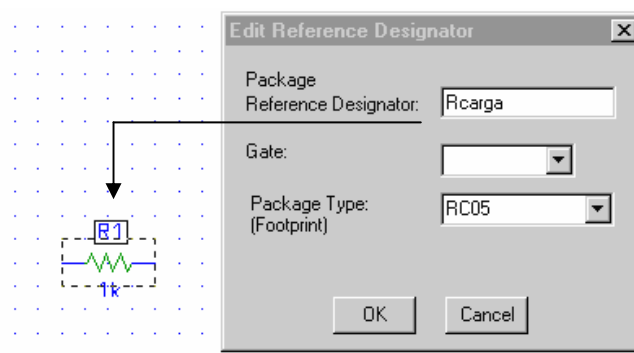
Es de notar, que en la barra de herramientas se guardan las selecciones realizadas, permitiendo acceder a ellas en cualquier momento, por medio de la flecha.



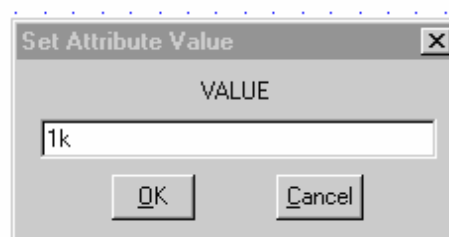
Una vez colocado el componente podremos asignarle su valor y otras características. Haciendo doble click sobre el componente aparecerá una ventana como la mostrada que permite editar alguno de sus atributos. Las opciones indicadas con asterisco no están accesibles. Cualquier cambio realizado debe ser asegurado con la opción Save Attr.



Una forma sencilla de cambiar la denominación de un componente es hacer doble click sobre la misma; se abre una ventana como la siguiente en la cual podemos cambiar la denominación R1 por Rcarga, por ejemplo.



Del mismo modo, haciendo doble click sobre el valor 1K (valor asignado por defecto) se abre una ventana como la siguiente que permite colocar el valor elegido:



Cuando el componente seleccionado es un capacitor o un inductor, al hacer doble click sobre el elemento la ventana que se abre contiene la opción IC (Initial Conditions) por medio de la cual se pueden establecer condiciones iniciales: tensión en el capacitor o corriente en el inductor.

La repetición de los pasos realizados permite la colocación de todos los componentes circuitales y sus valores.

Conexión entre componentes: Una vez colocados los componentes la unión entre los mismos se realiza a través de la opción Wire del menú DRAW ó también puede hacerse seleccionando en la barra de herramientas el lápiz que se encuentra a la izquierda:



Al seleccionar esta opción la punta del mouse se convierte en un lápiz que permite dibujar líneas manteniendo apretado el botón izquierdo. Se desactiva apretando el botón derecho.

Selección de un elemento: Debemos colocarnos sobre él y apretar el botón izquierdo del mouse. El componente cambia a color rojo indicando que fue seleccionado y quedando habilitado para efectuar diferentes funciones: rotación, borrado, copia, etc.

Si se desean seleccionar varios componentes juntos puede formarse un rectángulo que los contenga. Primero colocamos el puntero en uno de los vértices y manteniendo el botón izquierdo apretado movemos el cursor hasta el vértice opuesto y soltamos. De esta forma aparecerá un rectángulo donde todos los elementos contenidos en él aparecerán como seleccionados.

Rotación un elemento: Se realiza seleccionando el elemento apuntando sobre el mismo con el botón izquierdo del mouse, luego seleccionamos el menú EDIT y en él la opción Rotate. También puede hacerse desde el teclado pulsando simultáneamente "Ctrl" + "R".

Borrado de un componente: Se realiza seleccionando el elemento apuntando sobre el mismo con el botón izquierdo del mouse, luego seleccionamos el menú EDIT y en él la opción Delete. También puede hacerse desde el teclado pulsando "Delete".

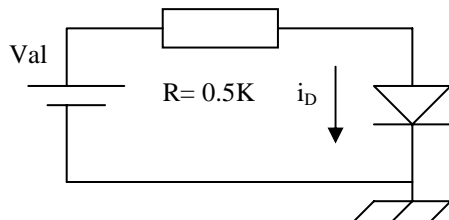
Colocación de una referencia: Para poder realizar cualquier tipo de análisis es necesario que el circuito tenga un nodo de referencia, de lo contrario el programa no opera. Si se examinan las bibliotecas se hallará una denominada "PORT.slb" donde se encuentra el elemento denominado EGND (earth ground)

Guardar el circuito: Antes de realizar el análisis es necesario guardar el circuito dibujado. Esto se realiza seleccionando del menú FILE de la barra de herramientas la opción Save As (si lo guardamos por primera vez, para lo cual debemos darle un nombre) o Save (para un archivo ya existente sobre el que se han realizado modificaciones).

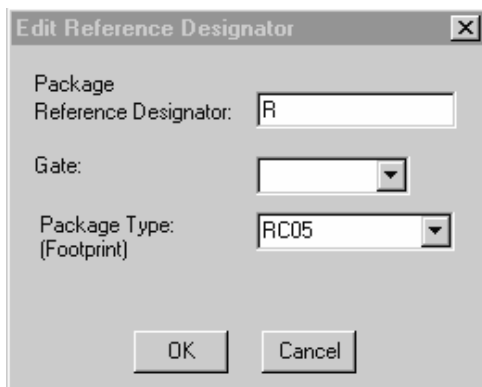
Con lo explicado hasta aquí puede realizarse un ejemplo y a partir de él continuar la explicación del funcionamiento del programa.

Ejemplo 1: Visualización de la característica I-V de un diodo

Para representar la característica I-V del diodo podemos usar un circuito como el siguiente:

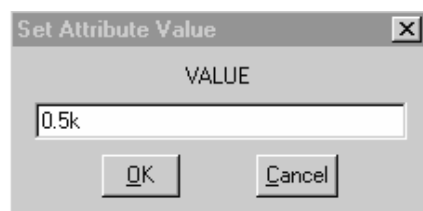


Variando en forma progresiva el valor de V_{al} variarán en forma simultánea la tensión y la corriente por el dispositivo. Con la ayuda de Probe observaremos la curva resultante. Elegiremos el diodo comercial 1N4002, que encontraremos en la librería EVAL.slb. Comenzamos abriendo el editor de esquemas y dibujando el circuito. Para colocar la resistencia R al seleccionar Get New Part del menú Draw se abre un menú llamado Part Browser Basic. En él la opción Libraries muestra el conjunto de archivos de librerías del programa, como ya se ha explicado antes. Abrimos la librería ANALOG y seleccionamos R . Luego presionando sobre Place & Close el elemento seleccionado podrá ser ubicado sobre la hoja de trabajo. Cuando esté en el lugar elegido hacemos click con el botón derecho del mouse para evitar repeticiones del elemento. Para seleccionar el valor hacemos doble click sobre el nombre del elemento, aparecerá el siguiente cuadro:



La opción Reference Designator permite cambiar el nombre del elemento. Por ejemplo, cambiamos $R1$ por R . Luego salvamos el nuevo nombre apretando OK.

Para cambiar el valor del elemento hacemos doble click sobre el valor y aparecerá el siguiente cuadro:



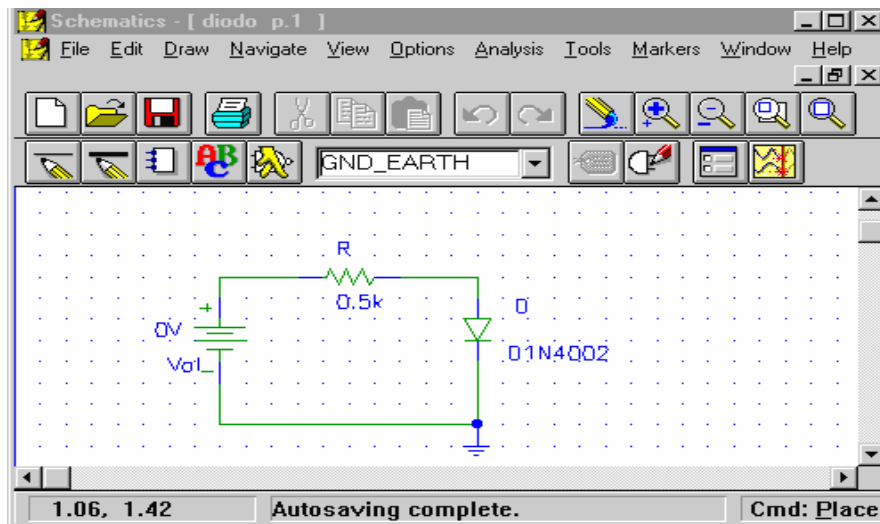
Precediendo de la misma forma cambiamos el valor a 0.5K.

Para colocar el diodo procedemos de una forma similar, salvo que seleccionamos la librería EVAL.slb y de allí extraemos el dispositivo D1N4002 (en SPICE la primera letra indica el tipo de componente: D: diodo, las letras que siguen identificarán el tipo comercial de que se trate).

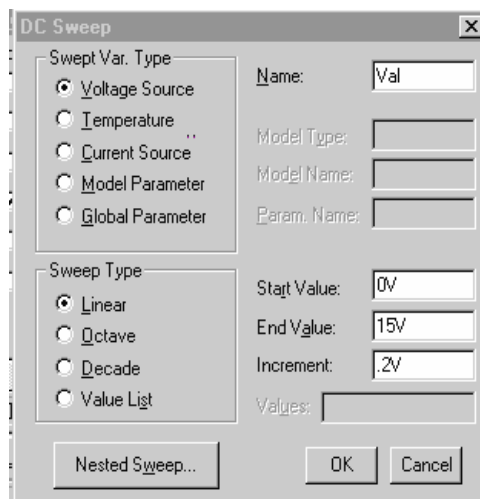
Una vez colocado sobre la hoja de trabajo podemos rotarlo para ubicarlo en la posición deseada. Para ello lo seleccionamos con el botón izquierdo del mouse (quedará en color rojo) y con la opción Rotate del menú Edit le daremos la posición deseada.

Por último colocamos la fuente de alimentación. Como ésta es una fuente de tensión continua la ubicaremos en la librería SOURCE.slb con el nombre VDC. Siguiendo los pasos anteriores cambiamos su nombre a Val. Su valor lo definiremos en función del tipo de análisis a realizar, puesto que será el elemento variable.

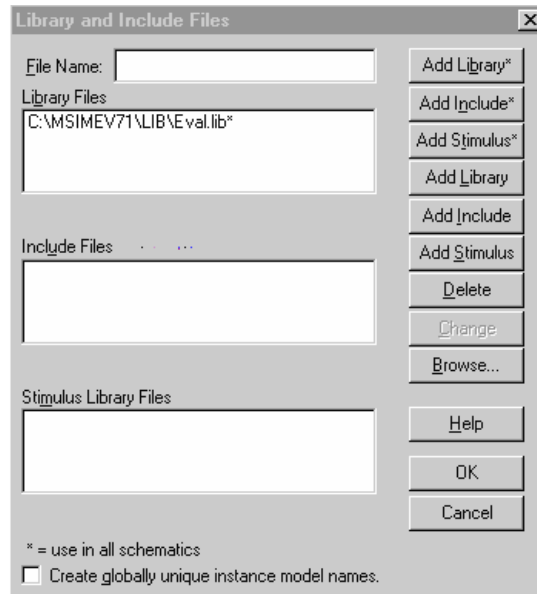
Cuando los componentes han sido colocados en las posiciones elegidas deberá realizarse la conexión entre los mismos. Esto se hará con la opción Wire del menú DRAW. Por último deberá adicionarse la referencia o nodo de tierra que se ubicará en la librería PORT.slb con el nombre GND_EARTH. Luego salvamos el circuito dibujado con un nombre que lo identifique, con el menú File, opción Save As. Por ejemplo lo llamamos diodo. El circuito resultante quedará como se indica:



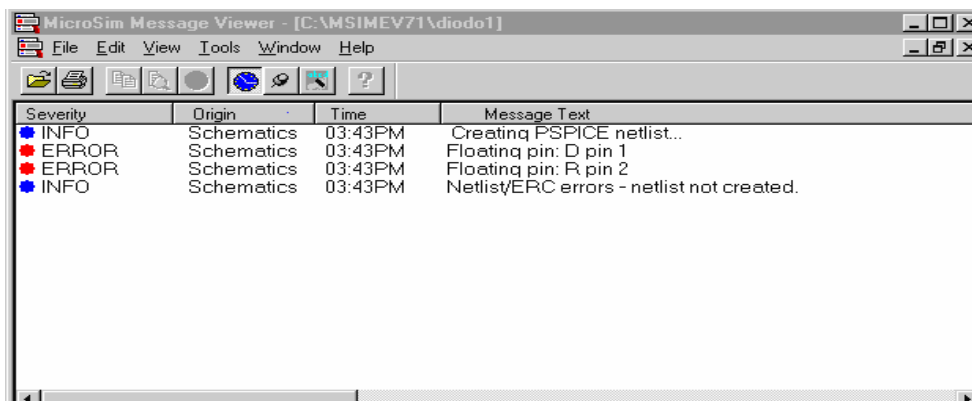
Como para obtener la característica I-V debemos variar la corriente por el circuito haremos que la fuente de alimentación (Val) realice un barrido en tensión desde 0V hasta 15V con pasos de 0.2V. Ello lo indicaremos abriendo el menú Analysis y dentro de él invocamos el menú Setup, eligiendo la opción DC Sweep. En el menú correspondiente colocaremos los valores deseados



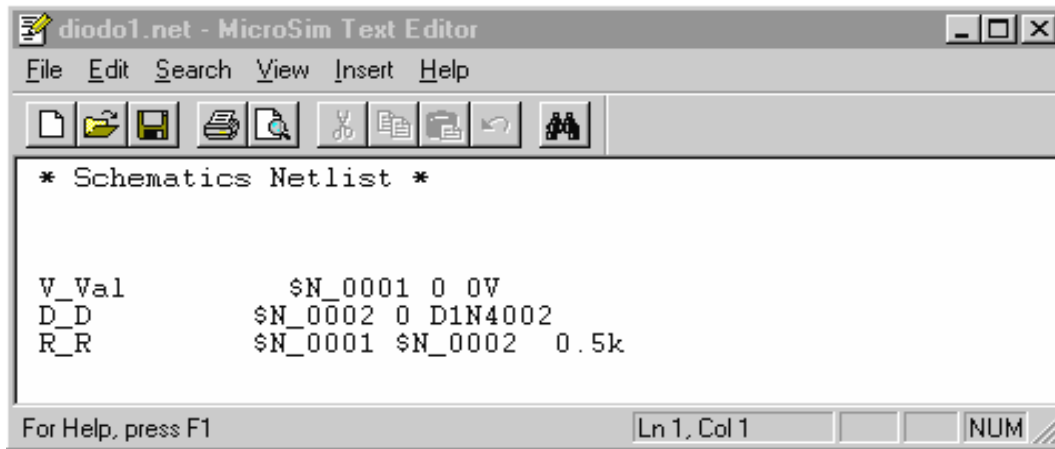
Luego, debemos indicarle al programa donde encontrará los datos del dispositivo utilizado, en este caso el diodo comercial 1N4002. Sabemos que el mismo se encuentra en la librería EVAL.slb. Entramos al menú Analysis y seleccionamos el submenú Libraries and Include Files. Dentro de este submenú elegimos Browse, éste abrirá una ventana desde la cual podemos acceder a la carpeta Lib. Al abrir dicha carpeta aparecen algunos archivos de librerías, de ellos seleccionamos Eval. Al confirmar esta selección se retorna al menú principal. En él observamos que la opción File Name contiene el paso que nos lleva a la librería seleccionada: C:\MSIMEV71\LIB\Eval.lib. Incluimos este archivo de librería con la opción Add Library*, que colocará el paso anterior en la opción Library Files, luego, confirmamos con OK y volvemos al esquemático.



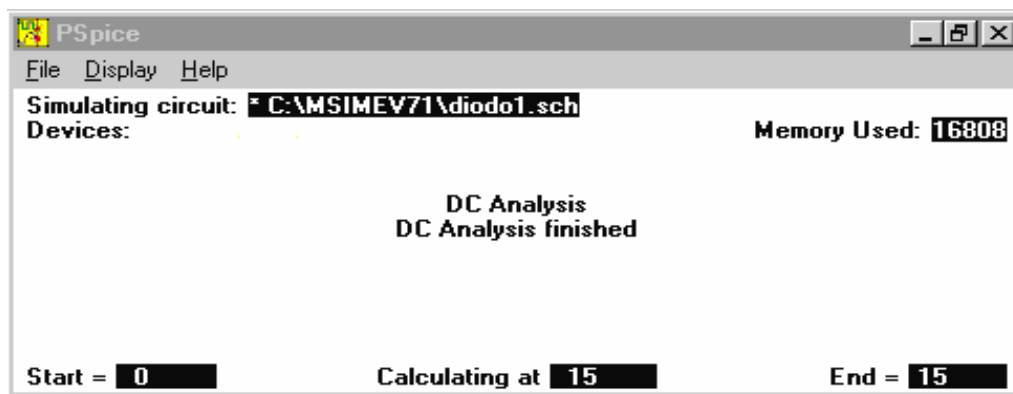
Ahora estamos casi listos para realizar la simulación. Comenzamos creando el archivo diodo.NET de descripción del circuito mediante la opción Create Netlist del menú Analysis. Esta acción hará que el capturador de esquemas cree automáticamente los archivos necesarios para que PSPICE pueda simular el circuito. En el caso de que se detecten errores en la descripción de los componentes o análisis, aparecerá una ventana que nos indica los errores detectados. Luego de corregirlos volvemos a repetir los pasos anteriores hasta que el programa nos dé una indicación de que todo está en orden. Como ejemplo, modificamos intencionalmente el circuito abriendo la conexión entre la resistencia y el diodo, obtendremos una ventana como la siguiente que indica los errores



Una vez que el archivo .NET ha sido creado podemos examinarlo con la opción Examine Netlist del menú Analysis, obtendremos una ventana como la mostrada:



Ahora estamos en condiciones de simular el circuito. Para ello entramos en el menú Analysis y seleccionamos la opción Simulate. Esta acción abrirá la pantalla principal del simulador y comenzará el análisis del circuito, como indica la figura siguiente:

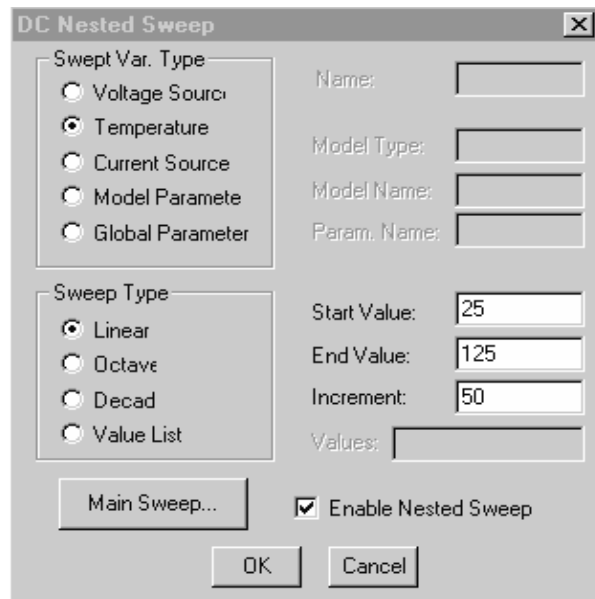


Si la simulación fue realizada con éxito, sin errores, se ejecutará automáticamente el analizador gráfico Probe, que nos permitirá observar las formas de onda del circuito. También podemos observar los resultados de la simulación a través de la opción Examine Output, desde PSPICE abriendo el menú File o desde el esquemático abriendo el menú Analysis.

Podemos visualizar la característica V-I del diodo en Probe, tomando como eje X la tensión en el diodo y como eje Y la corriente por el mismo. Para ello entramos al menú Plot, al submenú X Axis Settings y elegimos la opción Axis Variable. Se abre una ventana con todas las opciones disponibles, elegimos V1(D), confirmamos con OK y retornamos al menú principal. Para seleccionar la corriente entramos al menú Trace y abrimos Add. Este nos presenta todas las posibles variables para el eje Y, elegimos I(D) y confirmamos con OK. Luego, la pantalla nos mostrará la característica buscada.

Ejemplo 2: Análisis de la característica I-V de un diodo en función de la temperatura.

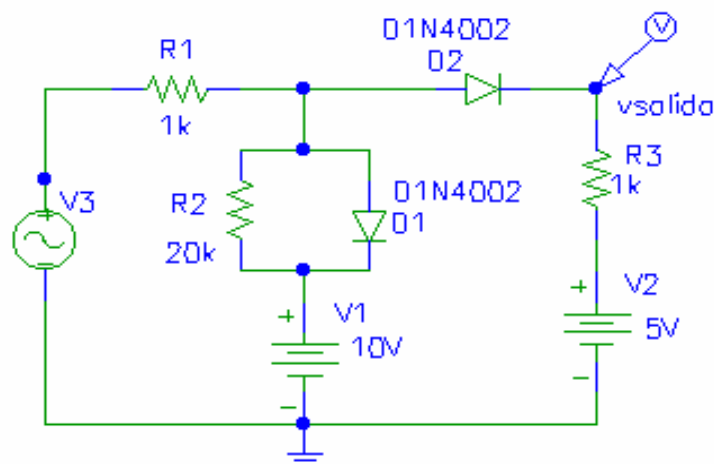
Utilizamos el mismo circuito del Ejemplo 1, pero queremos ver cómo se modifica la característica tensión-corriente por el diodo cuando la temperatura aumenta. Para ello usamos la posibilidad de realizar barridos anidados (DC Sweep, Nested Sweep). Es decir, le pedimos al programa que realice el barrido de Val para tres valores de temperatura comenzando en 25°C y terminando en 125°C con un incremento de 50°C, tal como indica la siguiente figura.



Procediendo de una forma similar al Ejemplo 1 visualizaremos el resultado en Probe:

Ejemplo 3: Obtener la característica de transferencia $v_{salida}=f(V3)$ del siguiente circuito.

(V3 es una onda senoidal de 15V de amplitud pico y de frecuencia = 1KHz)



Primero dibujamos el circuito en el esquemático y colocamos los valores de todos sus componentes. En el nodo donde queremos observar la tensión de salida colocamos un marcador (que hemos llamado vsalida). Para ello entramos al menú Markers y elegimos la opción Mark Voltage/Level que permitirá colocar un marcador para obtener la tensión de ese punto respecto de tierra.

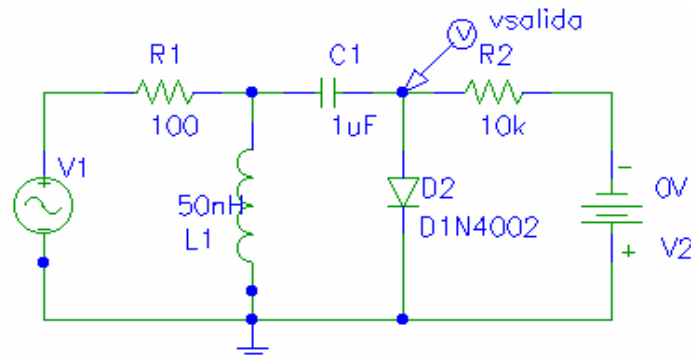
Una vez simulado el circuito sin errores y dentro de Probe habrá que cambiar la variable del eje X, cambiando la variable tiempo por la variable de entrada, que es la fuente V3 (este procedimiento ya fue explicado al analizar el programa Probe). Una vez realizado el cambio de variables, representamos la tensión vsalida con respecto a la entrada V3, como se muestra en la figura correspondiente.

Ejemplo 4: Análisis de un circuito con diodo usado como varicap.

Como se vio al estudiar junturas PN, puede usarse el efecto de la variación de la capacidad de transición con la tensión inversa aplicada a la unión para sintonizar un circuito. Los diodos usados en estas aplicaciones se denominan diodos varactores o varicaps.

A partir del siguiente circuito y realizando un análisis en frecuencia (AC) se propone visualizar la frecuencia de resonancia del circuito variando la tensión continua aplicada al diodo.

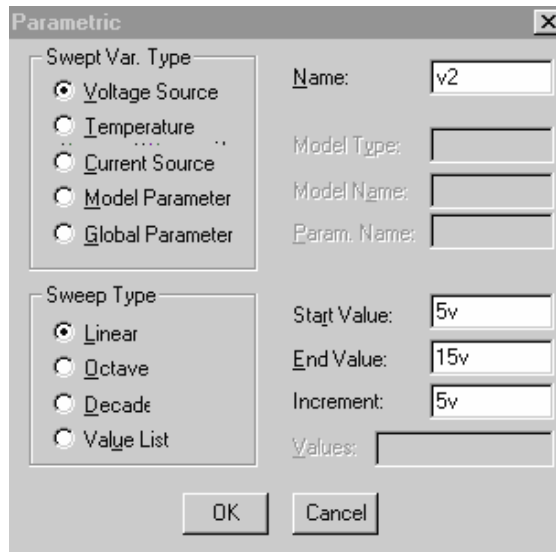
Primero dibujamos el circuito en el esquemático, colocando un marcador en el punto donde queremos ver la salida.



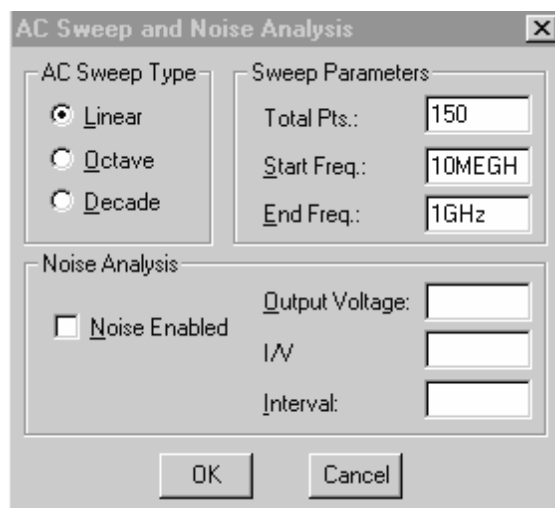
La fuente V1 la consideramos de amplitud fija (50 mV) pero de frecuencia variable (rango 10MHz a 1GHz). La fuente V2, que polariza inversamente al diodo, será de valor variable por pasos de a 5V comenzando en 5V y terminando en 15 V. Entrando a Analysis, en el submenú Setup habilitamos la opción Parametric que abrirá una ventana, en la cual colocaremos los datos correspondientes.

(El análisis Parametric permite realizar un barrido de una variable especificada (una fuente, un parámetro de un modelo, la temperatura, etc.) para todos los tipos de análisis incluidos en el circuito (DC, AC, TRAN, etc.). El análisis elegido se repetirá para cada valor de la variable durante el barrido. Los resultados se presentarán para cada valor del barrido, de modo que en Probe se visualizarán los resultados como familias de curvas).

La figura que sigue muestra la ventana que permite introducir las instrucciones para realizar el análisis paramétrico.



Luego habilitamos la opción AC Sweep (submenú Setup dentro de Analysis) que nos permitirá realizar el barrido en frecuencia. Elegimos un barrido lineal de 150 puntos con un rango de frecuencias entre 10MHz y 1 GHz, como se indica en la figura que sigue.



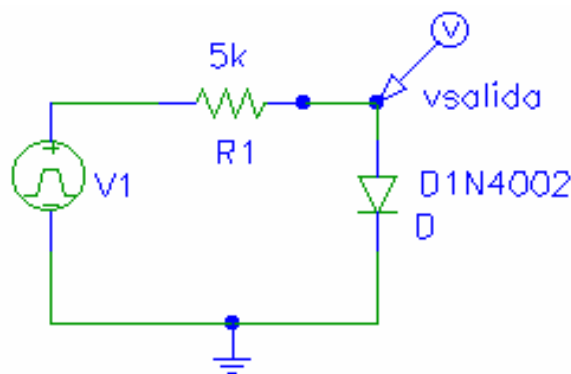
Simulamos el circuito y la ventana de Probe nos mostrará un gráfico donde podremos apreciar la variación de la frecuencia de resonancia del circuito en función de la tensión inversa aplicada al diodo.

Para una mejor visualización de las curvas se ha cambiado la escala del eje X. Con el procedimiento explicado en párrafos anteriores se elige un rango entre 50MHz y 500 MHz.

Ejemplo 5: El diodo en conmutación.

Para estudiar la conmutación en el diodo utilizamos un circuito muy simple como el mostrado en la figura. En este circuito la fuente V1 será del tipo PULSE con una amplitud que varía entre +5V y -5V. Se realizará un análisis del tipo .TRANSIENT y se compararán resultados observando vsalida para $f= 10 \text{ KHZ}$, $f= 100\text{KHz}$ y $f= 1 \text{ MHz}$. Luego, para este último valor de frecuencia cambiamos el diodo 1N4002 (de propósitos generales para aplicación en pequeña señal) por el diodo 1N914 (diodo de conmutación) y comparamos las formas de onda. Analizamos los resultados y observamos que se produce, al aumentar la frecuencia, un aumento en el tiempo que transcurre entre que conmuta la fuente V1 de +5V a -5V el diodo (1N4002) se corta.

Por otra parte al comparar la vsalida en los diodos 1N4002 y 1N914, puede verse que éste último está mejor preparado para trabajar a frecuencias elevadas.



Parámetros usados en PULSE de acuerdo a la frecuencia de trabajo:

f	T	TR	TF	PW	PER
10 KHz	10^{-4} s	$1 \mu\text{s}$	$1 \mu\text{s}$	$4.8 \mu\text{s}$	$10 \mu\text{s}$
100KHz	10^{-5} s	$0.1 \mu\text{s}$	$0.1 \mu\text{s}$	$0.48\mu\text{s}$	$1 \mu\text{s}$
1MHz	10^{-6} s	$0.01 \mu\text{s}$	$0.01 \mu\text{s}$	$0.048 \mu\text{s}$	$0.1 \mu\text{s}$

Bibliografía de referencia:

- MicroSim DesignLab Eval 7.1
- SPICE a Guide Circuit Simulation and Analysis Using PSPICE - P. Tuinenga
- Introducción a PSPICE - J. Nilsson, S. Riedel
- Introduction to Microelectronic Devices - D. Pulfrey, N. Tarr
- Pspice and Circuit Analysis - J. Keown
- Simulating with Spice - L. Meares, Ch. Hymowitz
- Introduction to device modeling and circuit simulation - T. Fjeldly, M. Shur
- Simulación electrónica con PSPICE - J. Aguilar Peña, A. D. Martínez, J. G. Sánchez

Trabajo realizado para la cátedra Dispositivos Electrónicos por la Ing. Mónica L. González. (Actualizado Curso 2000)
