

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO



**FACULTAD DE
INGENIERIA ELECTRICA**



“ ANÁLISIS DE CIRCUITOS DE ELECTRÓNICA DE POTENCIA USANDO PSPICE”

M.I. Isidro Ignacio Lázaro Castillo.



Introducción

- ✓ **El programa SPICE (“Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis”) es un programa para simulación y análisis de circuitos. PSpice es una versión de SPICE desarrollada por MicroSim Corporation para computadoras personales. Este programa es muy útil para simular los diseños de circuitos antes de construirlos.**



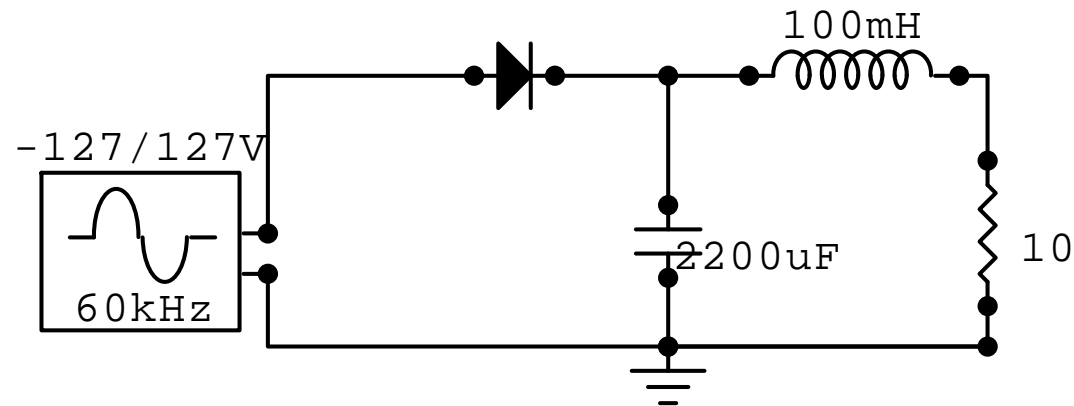
Uso de Pspice.

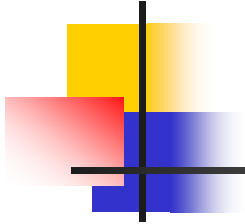
- **Procedimiento para simular circuitos.**
 - 1.- Formular el circuito a analizar
 - 2.- Descripción topológica del Circuito
 - 3.- Simulación del Circuito usando Pspice
 - 4.- Mostrar los resultados de simulación usando Probe
 - 5.- Verificar que los resultados de simulación sean correctos
 - 6.- Interpretar resultados

- Los circuitos pueden ser creados con cualquier editor de textos, pero el archivo de texto no debe tener caracteres de control (como códigos relativos a los márgenes, tipo de letra, interlineado, etc.).

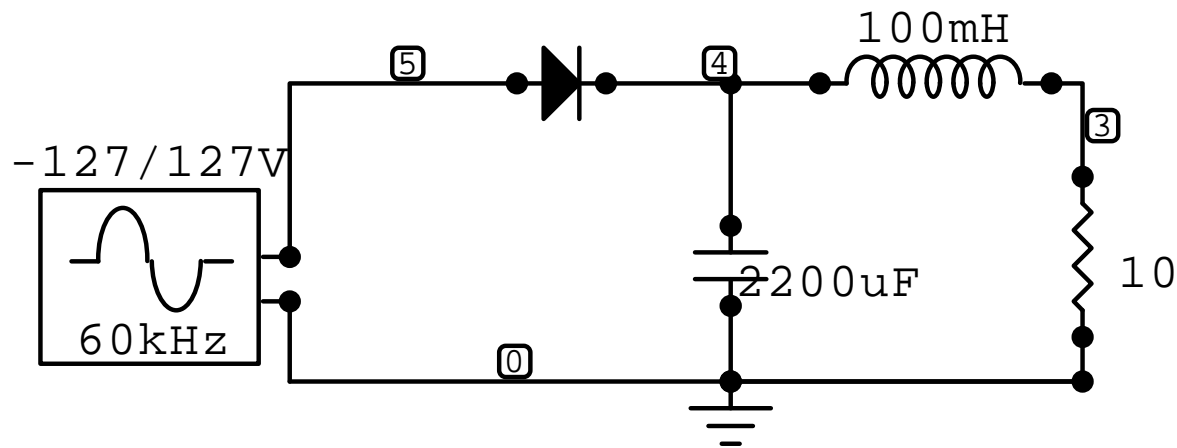
Ejemplo

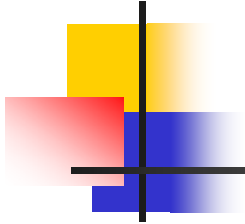
1. Primeramente se realiza sobre el papel un esquema del circuito que queremos someter a estudio. El esquema ha de estar completamente definido: es decir, con los valores de todos sus componentes.



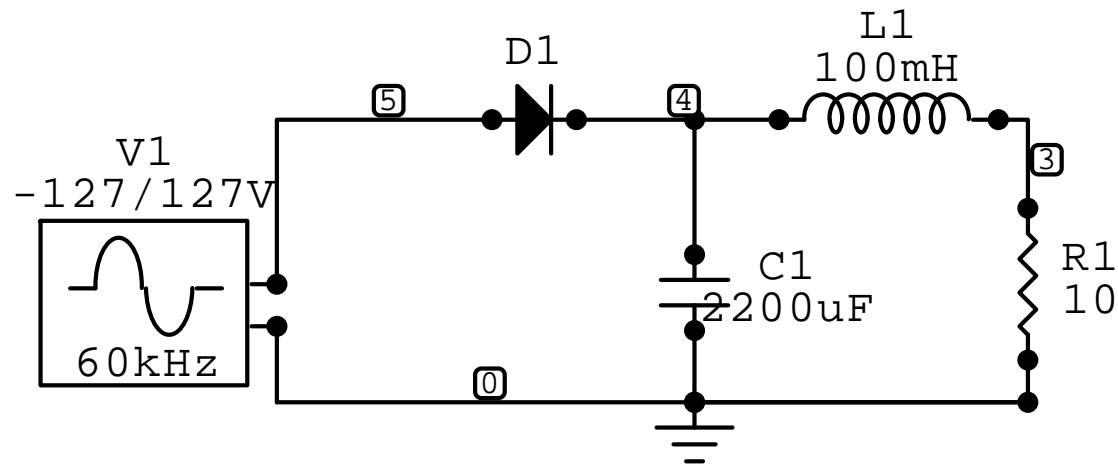


- 2.- A continuación a cada nodo del circuito se le asigna un nombre (que generalmente será un número), sin tener que seguir ningún orden especial. Solamente hay que tener en cuenta que el nodo correspondiente a tierra será siempre el número cero.





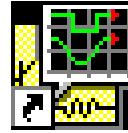
- 3.- Posteriormente a cada elemento del circuito se asigna un nombre o un número (sin tener en cuenta los números de los nodos), que nos servirá para hacer referencia a dicho elemento.





Modelado de Sistemas

- 4.- Definir el circuito a simular en un archivo de entrada el cual se crea en un editor de texto. A este archivo del circuito o archivo de entrada se le asigna un nombre con extensión '*CIR*', por ejemplo 'Ejemplo1.cir'.



PSpice AD Lite Edition (2).Ink

5.- Ejecutar el subprograma 'PSpice A/D lite Edition' de la versión de 'OrCAD Family Release 9.2 Lite Edition'.

The screenshot displays the PSpice A/D Lite Edition software interface. The main window shows a circuit simulation setup for a rectifier circuit. The circuit components and their values are:

- V1 5 0 SIN(0 127 60) ; FUENTE DE VOLTAJE, COLOCADA ENTRE LOS NODOS 1 Y TIERRA, QUE GENERA UNA SEÑAL SINUSOIDAL CON UNA TENSION DE OFFSET NULA, UNA AMPLITUD DE 127 VOLTIOS DE PICO Y UNA FRECUENCIA DE 60Hz
- D1 5 4 D1 ; DIODO RECTIFICADOR
- C1 4 0 2200UF ; CONDENSADOR DE FILTRO
- L1 4 3 100MH ; BOBINA DE FILTRO
- R1 3 0 10HM ; RESISTENCIA DE CARGA

The simulation parameters are:

- .MODEL D1 D (IS=2.2E-15 BV=1800V TT=0) ; MODELO DEL DIODO (LIBRERIA)
- .TRAN 10ms 50ms 0 ; PARA REALIZAR ANALISIS TRANSITORIO
- .PROBE ; FUNCION PARA GRIFICAR
- .END ; FIN DEL CIRCUITO

The status bar at the bottom indicates the simulation progress:

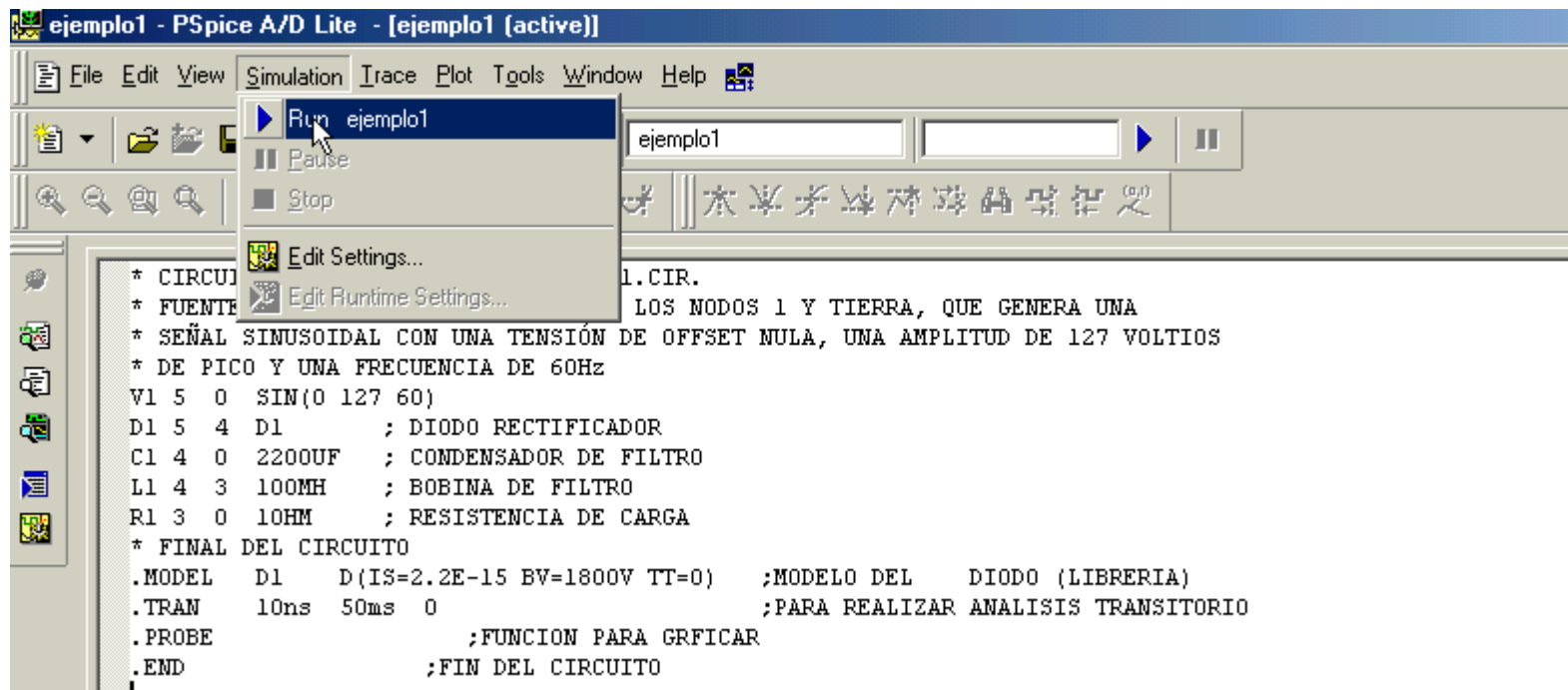
```
* CIRCUITO RECTIFICADOR EJEMPLO1.CIR.  
Reading and checking circuit  
Circuit read in and checked, no errors  
Calculating bias point for Transient Analysis  
Bias point calculated  
Transient Analysis  
Transient Analysis finished  
Simulation complete
```

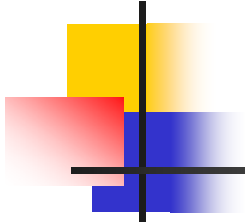
The Watch Variable table is empty:

Watch Variable	Value
----------------	-------

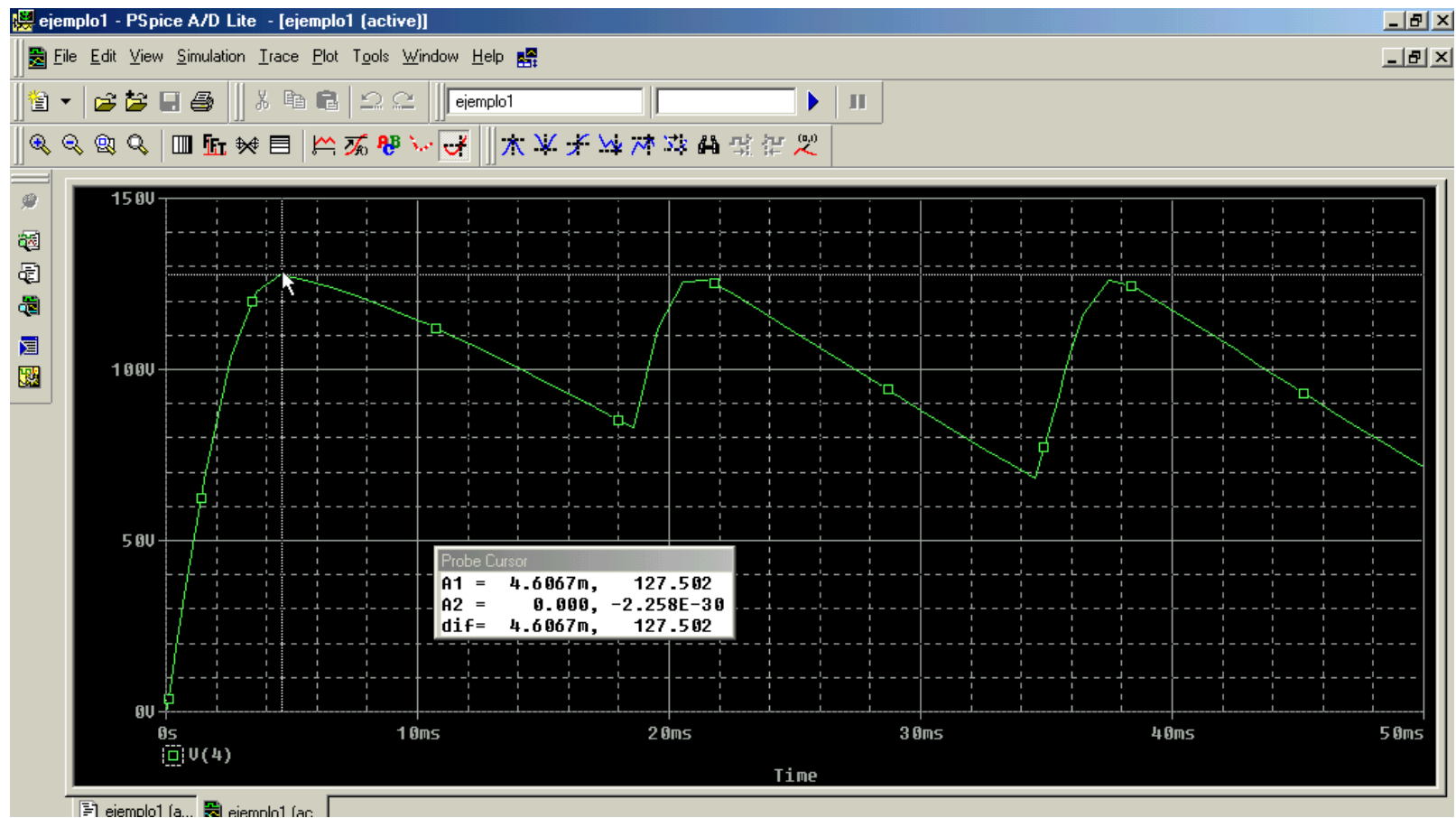
The status bar also shows the file path: C:\Program Files\OrCAD\PSpice\Capture_Samples\anasm\example\ejemplo1.cir (active), Time = .05, and 100% zoom.

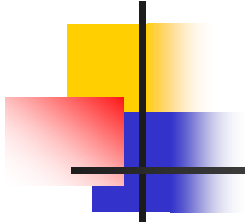
■ Corriendo la simulación



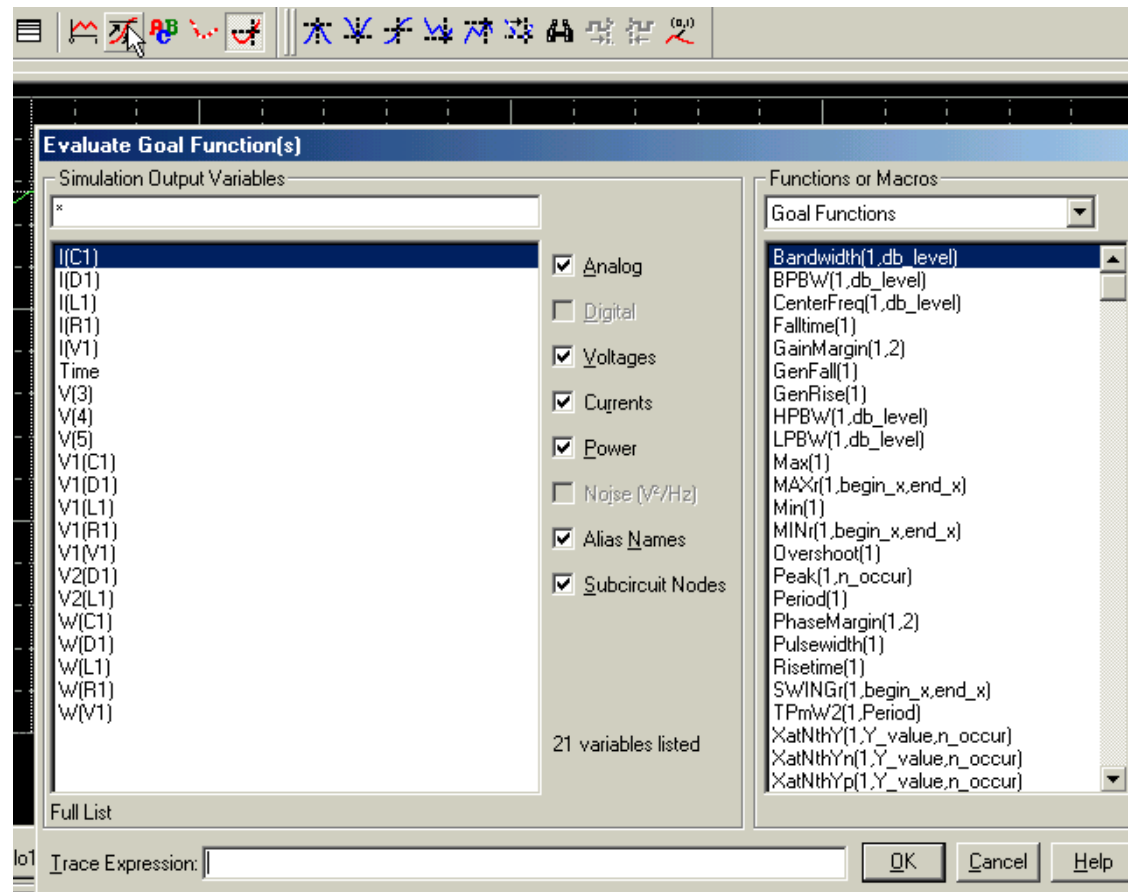


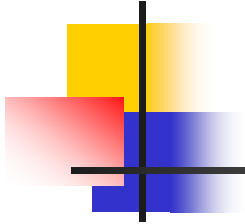
■ Explorando la salida



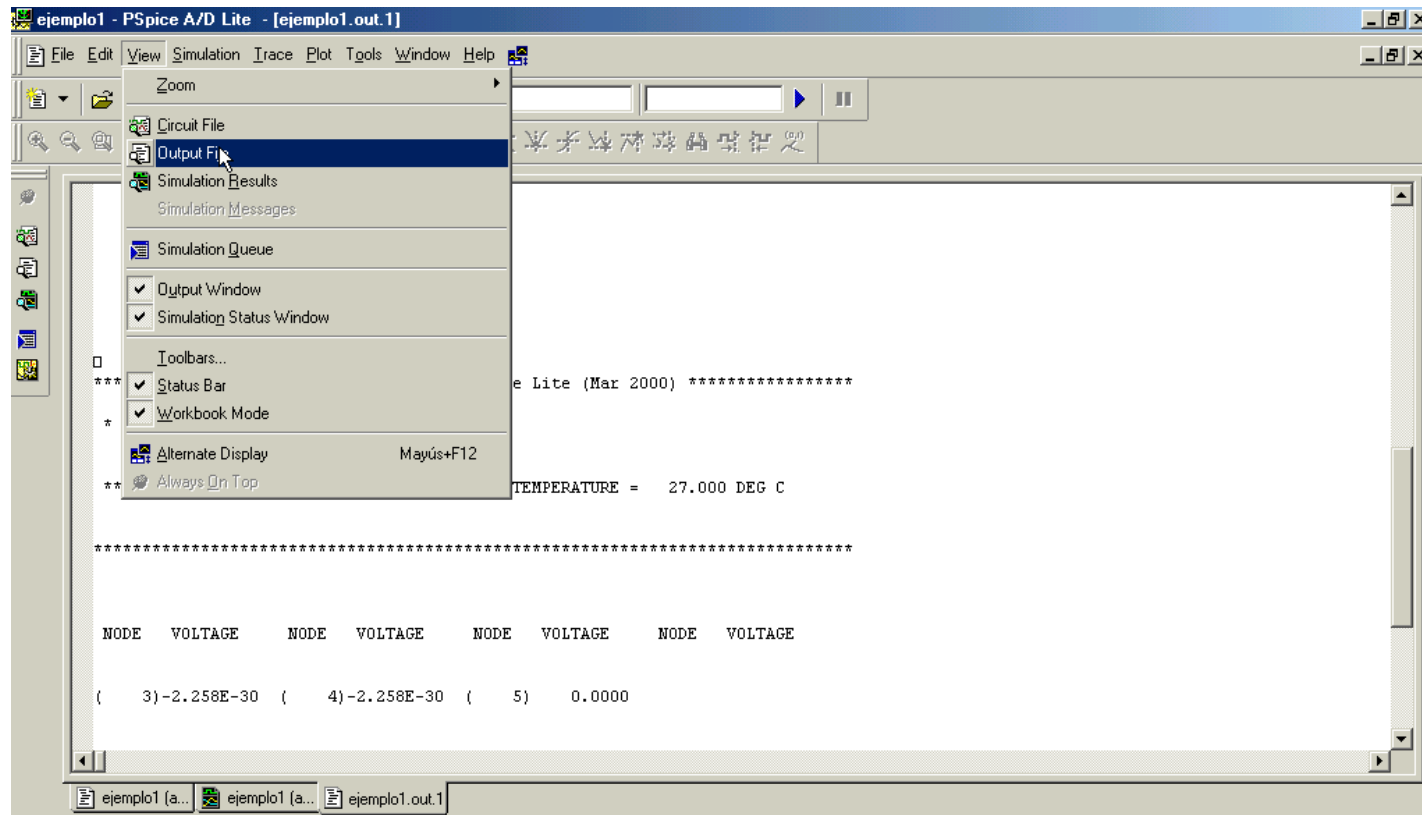


- Cambiando la variable de salida





- Explorando el archivo de salida





Reglas sobre los archivos de texto que describen los circuitos.

1. La primera línea será siempre el título y/o comentario del circuito.
2. La última línea será la sentencia `.END` (de final).
3. Las líneas que sean un comentario deben empezar con un asterisco (`*`).
4. Las líneas que sean una continuación de la sentencia de la línea anterior deben empezar con un signo de suma (`+`).
5. El orden de las líneas que describen el circuito no importa, excepto para el título, definiciones de subcircuitos y la línea con la sentencia `.END`.
6. PSpice no diferencia letras mayúsculas de minúsculas, por lo que podemos utilizar cualquiera de ellas.
7. Para separar los distintos parámetros de una sentencia, podemos utilizar espacios, tabuladores o comas, que son equivalentes y no importa cuántos se usen.



NOMBRES DE LOS ELEMENTOS Y NODOS DE CONEXIÓN

- Los nombres de los elementos deben comenzar con una letra, que identifica el tipo de elemento al que pertenecen, seguidos del nombre del elemento en sí, pudiendo ser letras, números o los caracteres \$, _, *, /, %, y aunque pueden tener hasta 131 caracteres de longitud, es aconsejable no superar los 8.

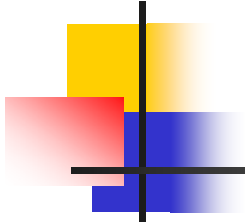
ELEMENTO DEL CIRCUITO	SÍMBOLO
Resistencias.	R
Condensadores.	C
Bobinas.	L
Acoplamientos magnéticos (transformadores).	K
Interruptores controlados por tensión.	S
Interruptores controlados por intensidad.	W
Diodos.	D
Transistores bipolares.	Q
Transistores de efecto de campo JFET.	J
Transistores de efecto de campo MOSFET.	M
Transistores de efecto de campo GaAsFET.	B
Fuentes de tensión independientes.	V
Fuentes de intensidad independientes.	I
Fuentes de tensión controladas por tensión.	E
Fuentes de intensidad controladas por intensidad.	F
Fuentes de intensidad controladas por tensión.	G
Fuentes de tensión controladas por intensidad.	H



VALORES DE LOS ELEMENTOS

- Los valores de los componentes, los escribiremos en notación de punto flotante estándar (ej. $1E-3 = 1 \times 10^{-3}$), y opcionalmente con sufijos multiplicadores y escalas, unidos al valor sin dejar espacios intermedios.
- Estos son los sufijos multiplicadores reconocidos por PSPICE:

SUFIJO	NOMBRE	POTENCIA
f	FENTO	10^{-15}
p	PICO	10^{-12}
n	NANO	10^{-9}
u	MICRO	10^{-6}
m	MILI	10^{-3}
K	KILO	10^{+3}
MEG	MEGA	10^{+6}
G	GIGA	10^{+9}
T	TERA	10^{+12}
MIL	0.001''	$25.4 * 10^{-6}$



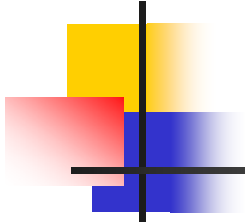
- Por ejemplo:
- $1050000 = 1.05\text{MEG} = 1.05\text{E}3\text{K} = 0.00105\text{G}$
- Todos representan el mismo valor en PSpice.
- Si los sufijos tienen otras letras, por ejemplo en 10mA y 60Hz, las letras adicionales serán ignoradas.
- Los sufijos para las unidades normalmente utilizados son:

Sufijo	Nombre
V	Voltios
A	Amperios
HZ	Hertzios
OHM	Ohmios
H	Henrios
F	Faradios
DEG	Grados



PARÁMETROS

- En ciertas aplicaciones es conveniente usar parámetros globales (es decir, una variable), en lugar de valores numéricos; así, al darle un valor a un determinado parámetro, este valor aparecerá en todos los lugares donde esté ese parámetro.
- Los parámetros pueden ser definidos usando la sentencia `.PARAM`, y serán globales a todo el circuito, incluidos los subcircuitos; es decir, se podrán utilizar en la definición de componentes en todo el circuito.
- Para definir parámetros locales, válidos sólo dentro de un subcircuito, habrá que hacerlo cuando se defina el subcircuito (esto es, en la misma sentencia) y darles un valor por defecto a cada uno. A la hora de llamar al subcircuito para insertarlo en el circuito principal, se podrán cambiar los valores por defecto de los parámetros locales. Incluso el valor de un parámetro puede ser otro parámetro.



- Cuando un valor numérico es sustituido por un parámetro, este se escribirá entre llaves, {PARÁMETRO}. Por ejemplo, si las resistencias R3 y R5 de un circuito dado tienen el mismo valor, digamos 1KW, podemos definir las mediante las sentencias:
 -
 - R3 4 6 1K; Resistencia colocada entre los nodos 4 y 6, de valor 1K.
 - R5 3 8 1K; Resistencia colocada entre los nodos 3 y 8, de valor 1K.
 -
- o bien, utilizando un parámetro, podemos definir las mediante:
 -
 - .PARAM CARGA=1K; Definición del parámetro con su valor correspondiente.
 - R3 4 6 {CARGA}
 - R5 3 8 {CARGA}
 -



EXPRESIONES Aritméticas

- Además de parámetros, los valores de los elementos se pueden sustituir por expresiones aritméticas que pueden contener parámetros.
- Siguiendo el ejemplo del apartado anterior, si la resistencia R4 tiene un valor de 4K, se puede definir como:
- R4 7 10 {4*CARGA}; Resistencia colocada entre los nodos 7 y 10, de valor 4K.
- Las expresiones deben tener una longitud máxima de una línea de texto y pueden tener contener las operaciones básicas de suma (+), resta (-), multiplicación (*) y división (/) además de los paréntesis necesarios y las funciones mostradas en la siguiente tabla:

FUNCIÓN	COMENTARIO
ABS(X)	Valor absoluto de X.
SQRT(X)	Raíz cuadrada de X.
EXP(X)	Función e^x .
LOG(X)	Logaritmo en base e de X, $\ln(X)$.
LOG10(X)	Logaritmo en base 10 de X, $\log(X)$.
PWR(X,Y)	Función $ X ^Y$.
SIN(X)	Función $\sin(X)$, expresado X en radianes.
COS(X)	Función $\cos(X)$, expresado X en radianes.
TAN(X)	Función $\tan(X)$, expresado X en radianes.
ATAN(X)	Función $\arctg(X)$, con resultado en radianes.
ARCTAN(X)	Función $\arctg(X)$, con resultado en radianes.



Sentencia .IC

- La sentencia .IC se usa para establecer las condiciones iniciales para el punto de trabajo, tanto de pequeña señal como para el análisis transitorio. La sintaxis de la sentencia es:
 -
 - .IC V(nodo) = valor
 -
 - El (valor) es una tensión asignada al (nodo) durante el cálculo del punto de trabajo. Una vez calculado el mismo, durante el análisis transitorio la tensión del (nodo) puede ir variando, dependiendo de las fuentes del circuito. Esta sentencia de establecimiento de condiciones iniciales no afecta al análisis .DC.
 - **EJEMPLO:**
 - Definir unas condiciones iniciales para el circuito, de forma que la tensión de los nodos 2, 20 y 4 sean 4V, 0V y -1.3V respectivamente, una vez calculado el punto de trabajo:
 - .IC V(2)=4 V(20)=0 V(4)=-1.3



SENTENCIAS DE LOS ANÁLISIS TRANSITORIO

- A continuación entraremos en el estudio de las sentencias de PSPICE que nos permiten especificar los análisis transitorios al circuito. Éstos son, el análisis transitorio o de respuesta a lo largo del tiempo y el análisis de la descomposición de una forma de onda en la serie de Fourier.
- ***Análisis transitorio (respuesta en el tiempo)***
- Para introducir un análisis transitorio en la descripción del circuito, usaremos la sentencia:
- `.TRAN(/OP)* (paso pres) (tiempo final) (tiempo inicial)* (paso calc)* (UIC)*`
- Paso pres.- incremento de tiempo para presentar los resultados
- Tiempo final.-Tiempo final de simulación
- Tiempo inicial.-Tiempo inicial (usado cuando es distinto de cero)
- Paso calc.- Define el paso para relizar los calculos (El paso interno para realizar los cálculos tiene un valor por defecto de (tiempo final)/50.)
- UIC.- Se utiliza paraq incluir las condiciones iniciales del capacitor e inductor
- Si incluimos en la sentencia `.TRAN` la opción `/OP`, obtendremos en la salida una información detallada sobre este punto de trabajo.



EJEMPLOS:

- Definir un análisis transitorio del circuito de forma que se presenten los resultados del mismo desde el instante inicial hasta el instante de tiempo $T=100\text{nSg}$, con un intervalo de presentación de resultados de 1nSg :
 -
 - `.TRAN 1NS 100NS`
 -
- Definir un análisis transitorio al circuito de forma que aparezcan en la salida los resultados desde el instante de tiempo $T=20\text{nSg}$ hasta el instante $T=100\text{nSg}$, con un intervalo de presentación de 1nSg , así como un listado de la información del punto de trabajo. Para el análisis se deberán utilizar las condiciones iniciales de carga de los condensadores y bobinas:
 -
 - `.TRAN/OP 1NS 100NS 20NS UIC`
 -
- Definir un análisis transitorio de forma que se presenten los resultados desde el instante de tiempo inicial hasta el instante $T=10\mu\text{Sg}$, con un intervalo de presentación de datos de 1nSg , y asegurándonos que el intervalo de tiempo entre cálculos no sobrepasa los 0.1nSg :
 -
 - `.TRAN 1N 10U 0 .1N`



ELEMENTOS PASIVOS

- Los elementos pasivos disponibles en PSPICE son: resistencias, condensadores, bobinas y transformadores ó inductancias acoladas. Estos componentes se definen con las letras **R**, **C**, **L** y **K**, respectivamente. Los cuales se modelan idealmente de la siguiente manera.

ELEMENTO	DESCRIPCION
Rxxx	RESISTENCIA
Cxxx	CONDENSADOR
Lxxx	INDUCTANCIA
Kxxx	INDUCTANCIAS MUTUAS

Donde xxx representan otras letras o números.

Los formatos para especificar cada uno de los componentes pasivos es como sigue:

R(nombre) (nodo +) (nodo -) (valor)

L(nombre) (nodo +) (nodo -) (valor) (IC = condiciones iniciales)*

C(nombre) (nodo +) (nodo -) (valor) (IC = condiciones iniciales)*



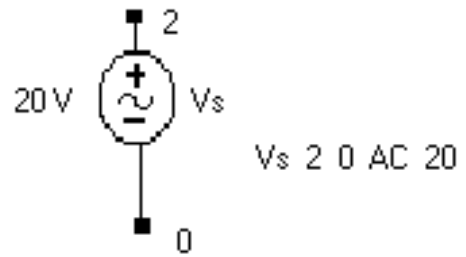
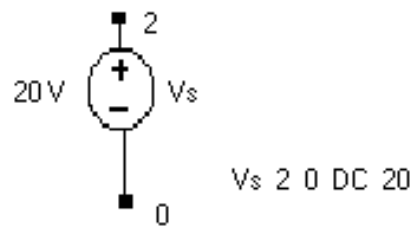
Fuentes independientes.

- La sintaxis general para definir una fuente independiente es como sigue:
 -
 - (nombre) (nodo +) (nodo -) (tipo) (especificaciones)
 -
 - Donde en la opción "tipo" contiene las siguientes opciones para una señal de directa y de alterna
 -
 - (DC (valor)) (AC (amplitud) (fase))
 -
 - La primera letra del nombre identifica a la fuente de la siguiente manera.
 - Vxxx indica una fuente independiente de voltaje.
 - Ixxx indica una fuente independiente de corriente.

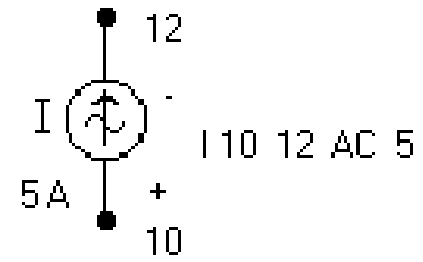
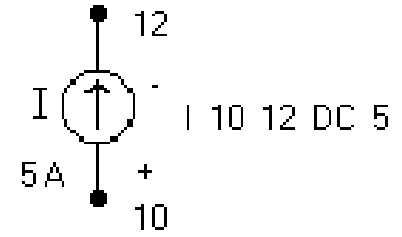


Ejemplos

Fuentes independientes de Voltaje



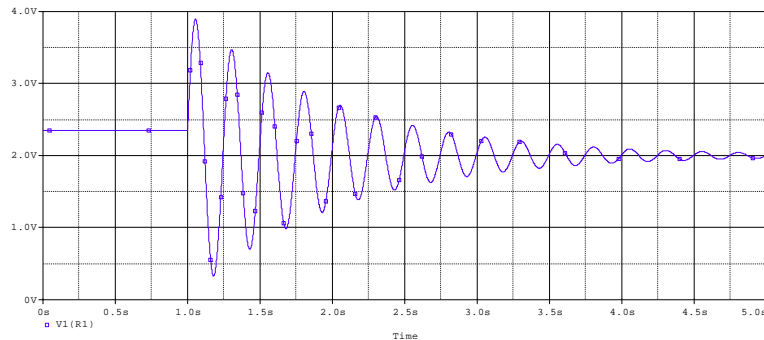
Fuentes Independientes de Corriente



Señal sinusoidal

- Una fuente de voltaje sinusoidal se describe con el término:
 - SIN((voff) (vAMPL) (freq) (td) (df) (fase))
 - ejemplo.- Vs 2 0 sin(2 2 4 1 1 10)
 - Donde aparecen los términos:

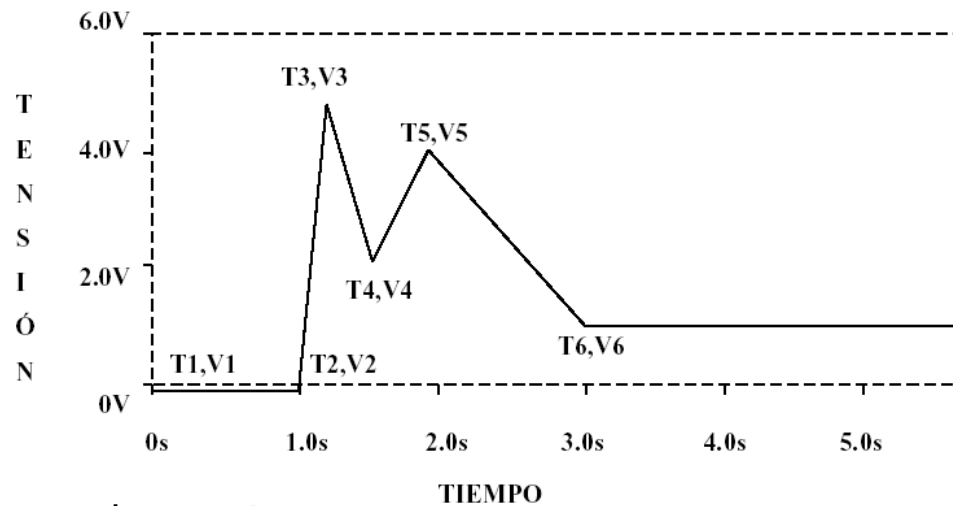
PARÁMETRO	SIGNIFICADO	VALOR POR DEFEC.
(voff)	Tensión de offset en voltios.	Ninguno.
(vAMPL)	Tensión de pico en voltios.	Ninguno.
(freq)	Frecuencia.	1/TIEMPO FINAL Hz
(td)	Tiempo de retardo.	0 Sg
(df)	Factor de amortiguamiento.	0 Sg ⁻¹
(fase)	Desfase de la señal.	0 grados



- El tiempo de retardo es el tiempo en que empieza a atenuarse la señal. Desde 0 a (td) la señal tendrá un valor constante de $voff + (1/2)(vAMPL)$.

Señal definida por tramos

- Una fuente de tensión definida por el usuario por tramos rectos, se describe mediante el término:
 $PWL((t1) \quad (v1) \quad (t2) \quad (v2) \dots\dots (tn) \quad (vn))$



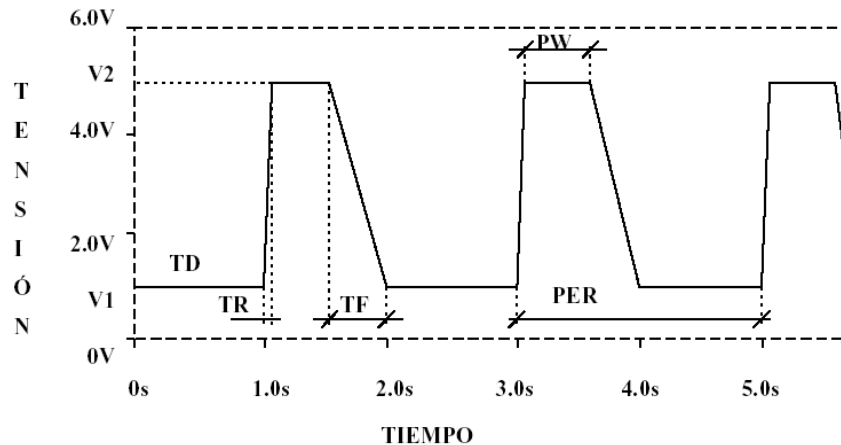
Donde aparecen los parámetros:

Parámetro	Significado
tn	Tiempo de un punto en segundos
Vn	Voltaje de un punto en volts

Señal pulsante

- Una fuente de voltaje pulsante, como la mostrada en la figura anterior, se define con el término:

PULSE ((V1) (V2) (td) (tr) (tf) (pw) (per))



Donde aparecen los siguientes parámetros:

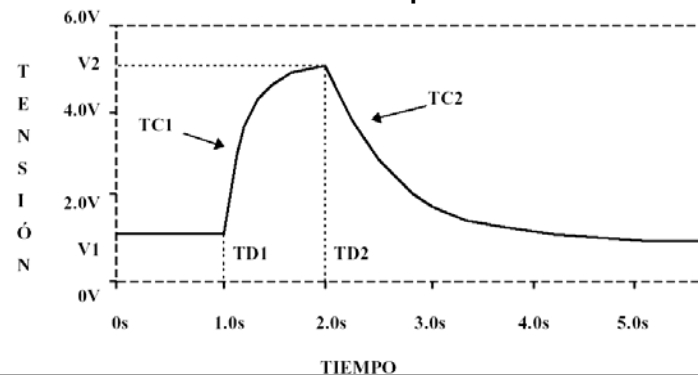
PARÁMETRO	SIGNIFICADO	VALOR POR DEFEC.
(V1)	Tensión inicial en voltios.	Ninguno.
(V2)	Tensión del pulso en voltios.	Ninguno.
(td)	Tiempo de retardo.	0 Sg
(tr)	Tiempo de subida.	PASO PRES Sg
(tf)	Tiempo de bajada.	PASO PRES Sg
(pw)	Duración del pulso (estado alto).	TIEMPO FINAL Sg
(per)	Periodo de la señal.	TIEMPO FINAL Sg

Señal exponencial

- Una fuente de voltaje exponencial, como la mostrada en la figura anterior, se define con el siguiente término:

EXP((V1) (V2) (TD1) (TC1) (TD2) (TC2))

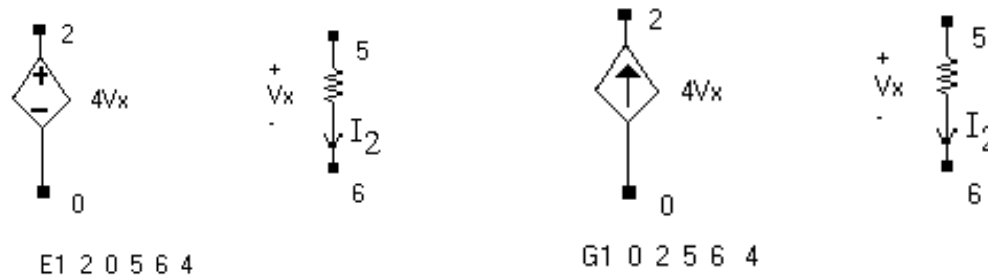
- Donde los términos mostrados aparecen en la siguiente tabla:



PARÁMETRO	SIGNIFICADO	VALOR POR DEFEC.
(V1)	Tensión inicial en voltios.	Ninguno.
(V2)	Tensión de pico en voltios.	Ninguno.
(TD1)	Tiempo de retardo para la subida.	0 Sg.
(TC1)	Constante de tiempo de subida.	PASO PRES Sg.
(TD2)	Tiempo de retardo para la bajada.	(td1)+PASO PRES Sg.
(TC2)	Constante de tiempo de bajada.	PASO PRES Sg.

FUENTES CONTROLADAS

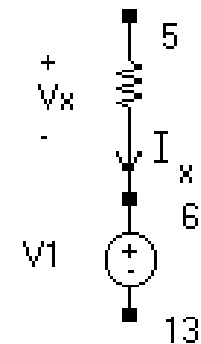
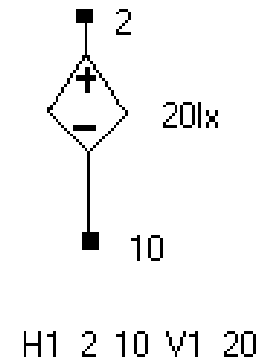
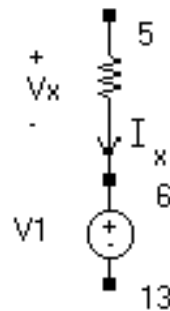
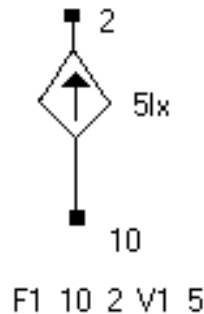
- *Fuentes de tensión y de corriente controladas por tensión*
- Para introducir una fuente de tensión controlada por tensión en la descripción del circuito, utilizaremos una de las siguientes sentencias:
- E(nombre) (nodo+) (nodo-) (nodo control+) (nodo control-) (ganancia)



- Para introducir una fuente de corriente controlada por voltaje se antepone la letra G envés de la E del nombre de la fuente.

Fuentes de corriente y de voltaje controladas por corriente

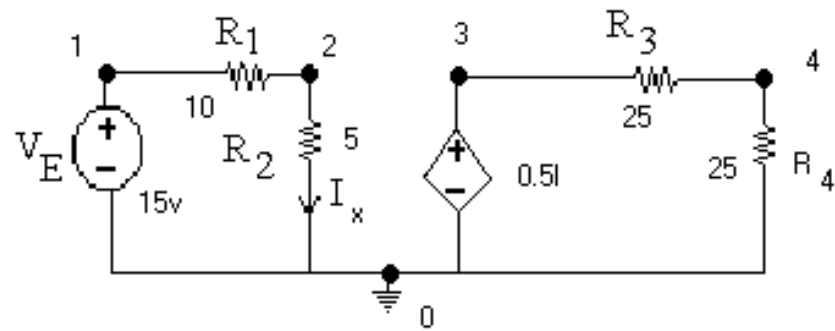
- Para introducir en la descripción del circuito una fuente de corriente controlada por corriente, utilizaremos una de las siguientes sentencias:
- F(nombre) (nodo+) (nodo-) (fuente de control) (ganancia)



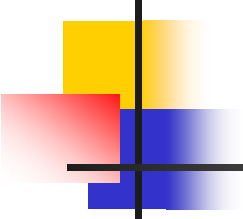
- Para introducir una fuente de voltaje controlada por corriente se antepone la letra H envés de la F del nombre de la fuente controlada.

Ejemplo

- *Ejemplo de circuito



```
*Ejemplo de  
VE 1 0 15V  
H 3 0 VX 0.5  
R1 1 2 10  
R2 2 0 5  
R3 3 4 25  
R4 4 0 25  
VX 20 0 0  
.OP  
.END
```



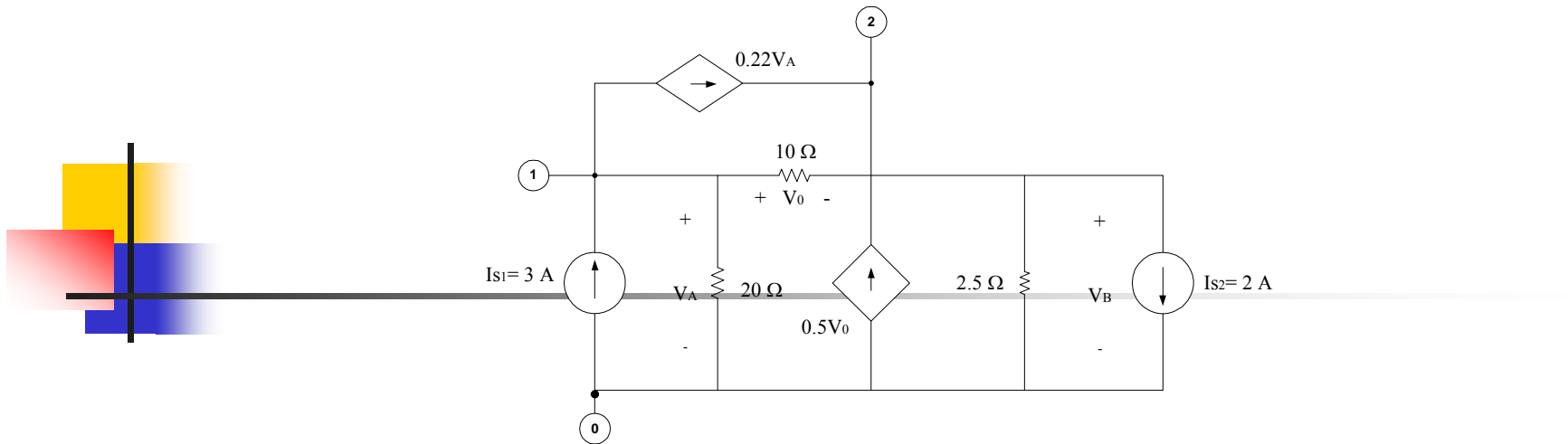
**** SMALL SIGNAL BIAS SOLUTION TEMPERATURE = 27.000 DEG C

NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE
(1)	15.0000	(2)	5.0000	(3)	.5000	(4)	.2500
(20)	0.0000						

VOLTAGE SOURCE CURRENTS
NAME CURRENT

VE	-1.000E+00
VX	1.000E+00

TOTAL POWER DISSIPATION 1.50E+01 WATTS

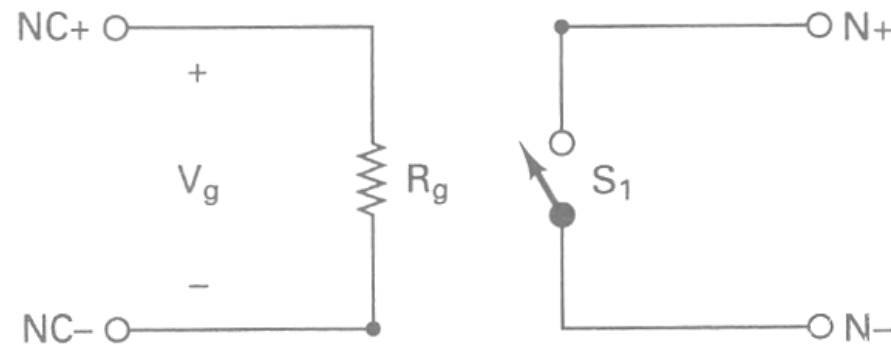


```

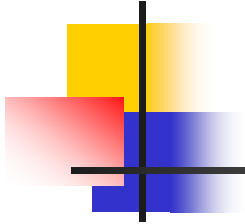
■ El circuito editado en PSpice y los voltajes nodales se muestra a continuación.
■ **** 09/26/05 12:17:04 **** PSpice Lite (Mar 2000) ****
■ *tarea 3
■ **** CIRCUIT DESCRIPTION
■ *****
■ I1 2 0 2
■ I2 0 1 3
■ G1 1 2 1 0 0.22
■ G2 0 2 1 2 0.5
■ R1 1 0 20
■ R2 1 2 10
■ R3 2 0 2.5
■ .tran 1ms 1
■ .PROBE
■ .END
■ **** 09/26/05 12:17:04 **** PSpice Lite (Mar 2000) ****
■ *tarea 3
■ **** INITIAL TRANSIENT SOLUTION TEMPERATURE = 27.000 DEG C
■ *****
■ NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE
■ ( 1) 9.7222 ( 2) 5.9722
■ VOLTAGE SOURCE CURRENTS
■ NAME CURRENT
■ TOTAL POWER DISSIPATION 0.00E+00 WATTS
■ JOB CONCLUDED
■ TOTAL JOB TIME .25

```

Modelo de un interruptor controlable por voltaje



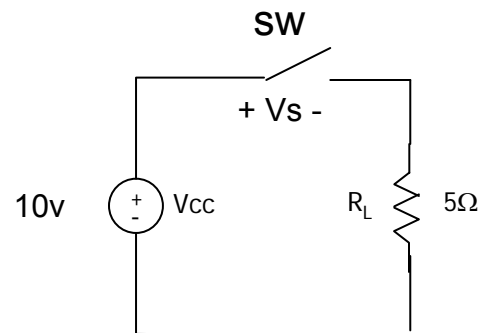
- Se modela como una resistencia controlada por voltaje, la resistencia entre el nodo + y el nodo - depende del voltaje entre la entrada + y la entrada -.
- Formato
- SXXX... N+ N- NC+ NC- nombre
- Para definir el modelo
.model nombre del modelo vswitch (parámetro=valor)



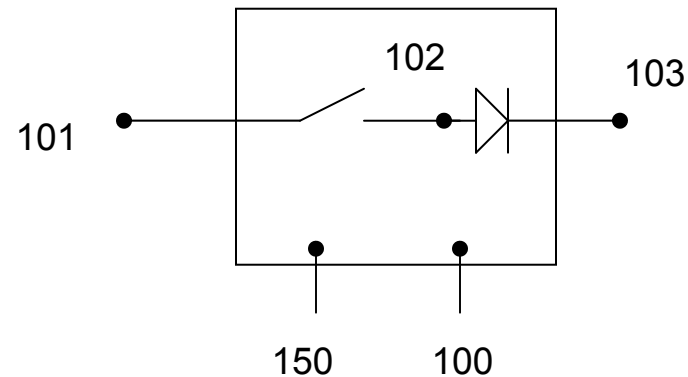
Parámetro	Significado	Valor por default
Ron	Resistencia de conducción	1 Ω
Roff	Resistencia de apagado	1 M Ω
Von	Voltaje de control para encendido	1 V
Voff	Voltaje de control para apagado	0 V

Ejemplo

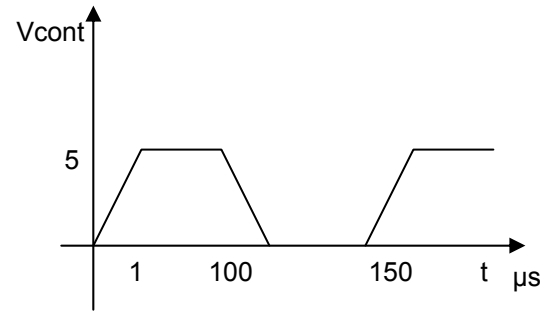
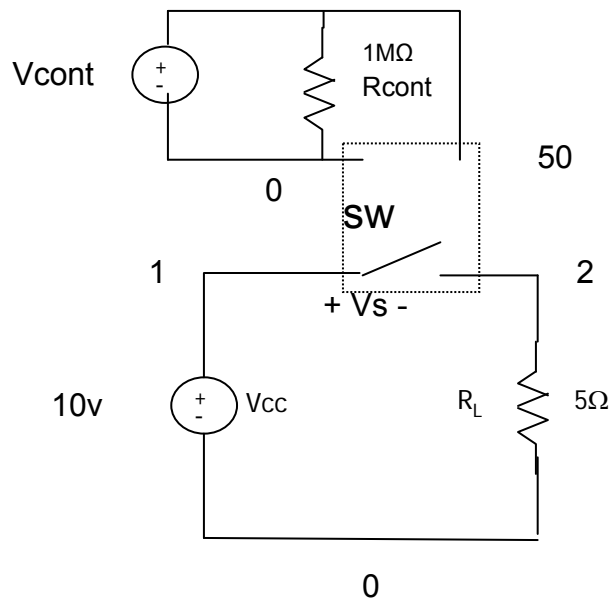
- Considere el siguiente circuito y simular que el interruptor se cierra en $t=0$ y se abre en $t=100 \mu\text{s}$ y se vuelve a cerrar en $t=150 \mu\text{s}$.



modelo del interruptor



Circuito para pspice



V_{cont} se usan para accionar el interruptor, utilizando una fuente tipo pulso.

Pulse (v1 v2 TD TR TF PW PER)



*Circuito de CD con interruptor y carga resistiva

```
.subckt switch 101 103 150 100
```

*definición del interruptor controlable

```
sw 101 102 150 100 AC_switch
```

```
DSW 102 103 power_diode
```

```
.model AC_switch Vswitch (Ron 0.01)
```

```
.model power_diode D(CJO=0.001ff IS=1E-6 RS=0.01)
```

```
.ENDS
```

```
Vcont 50 0 pulse (0 5 0 1u 1u 99u 150u)
```

```
Rcont 50 0 1MEG
```

```
Vcc 1 0 DC 100
```

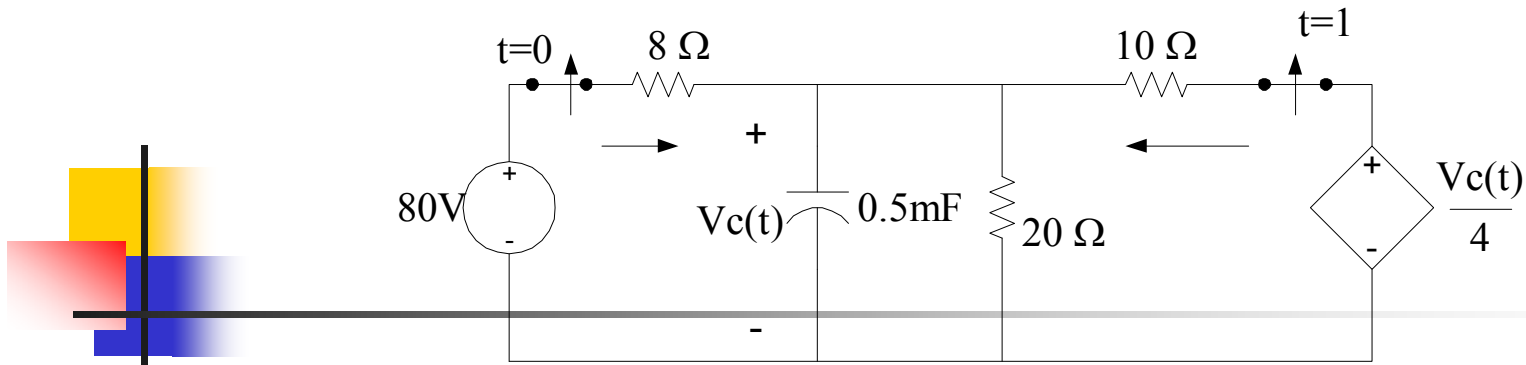
```
XSW 1 2 50 0 switch
```

```
RL 2 0 5
```

```
.tran 0.5us 200us 0s 0.5us
```

```
.probe
```

```
.end
```

*circuito RC ejemplo 3

Vs1 1 0 80

E1 5 0 3 0 0.25

R1 2 3 8

R2 3 0 20

R3 3 4 10

C1 3 0 0.5m IC=40

* definición del interruptor que abre en t=0

Sa 1 2 a 0 Smod

Va a 0 pwl(0,1 1u,0)

* Definición del interruptor que opera en t=1

Sb 4 5 b 0 Smod

Vb b 0 pwl(1,1 1.000001,0)

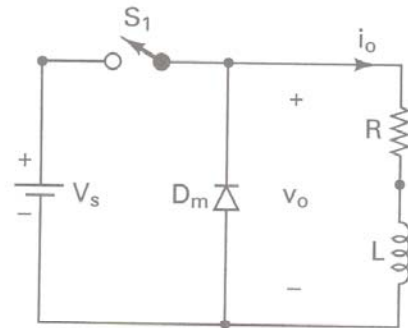
.model Smod Vswitch

.tran 30m 30m

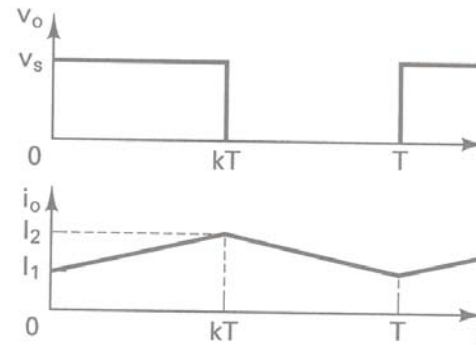
.probe

.end

CONVERTIDOR DC-DC

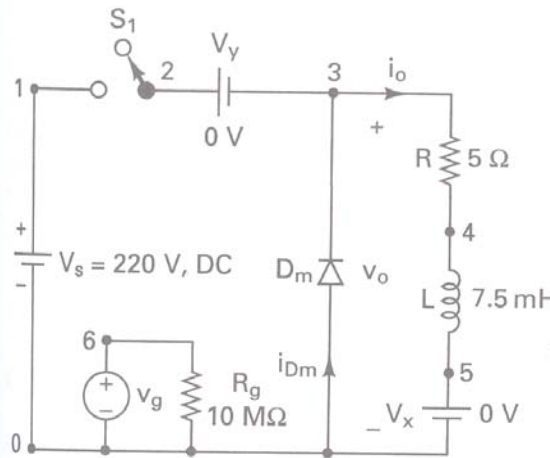


(a) Circuit

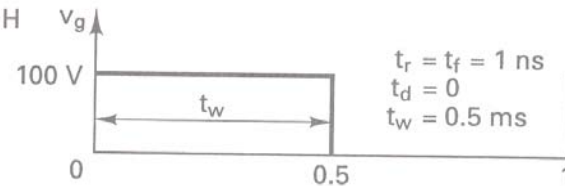


(b) Output voltage and current

Figure 11-1 Dc switch chopper.



(a) Circuit



(b) Gate voltage