

SIMULACIÓN DE CIRCUITOS MEDIANTE LTSPICE

ÍNDICE

1. CREACIÓN E EDICIÓN DE ESQUEMAS.....	2
1.1. XESTIÓN DE FICHEIROS.....	2
1.2. ENGADIR COMPOÑENTES AO ESQUEMÁTICO.....	2
1.3. ESTABLECER VALORES OU MODELOS DE COMPOÑENTES.....	3
1.4. CONEXIÓN DE COMPOÑENTES.....	3
1.5. REFERENCIA DE TENSIÓN E ETIQUETAS.....	3
1.6. CONTROL DA VISUALIZACIÓN.....	4
1.7. TEXTOS.....	4
1.8. EDICIÓN DE SÍMBOLOS.....	5
2. SIMULACIÓNS CON LTSPICE.....	5
2.1. ANÁLISE DO PUNTO DE OPERACIÓN (OPERATING POINT).....	5
2.2. ANÁLISE TRANSITORIO(TRANSIENT).....	7
2.2.1. ENGADIR CURVAS AO PANEL DE DEBUXO.....	8
2.2.2. TRAZADO DE CÁLCULOS.....	9
2.2.3. MEDIDA DE VALORES SOBRE AS CURVAS (CURSORES).....	10
2.2.4. CONTROL DA VISUALIZACIÓN E DOS EIXOS.....	10
2.2.5. CONFIGURACIÓN AVANZADA DOS XERADORES.....	11
2.2.6. REPRESENTACIÓN EN FRECUENCIA DAS CURVAS.....	13
2.3. VALORES INICIAIS NAS SIMULACIÓNS, A DIRECTIVA “.IC”.....	13
2.4. ANALISE AC. VARRIDO EN ALTERNA.....	14
2.5. A DIRECTIVA SPICE “.STEP”. VARRIDO PARAMÉTRICO.....	15
2.5.1. VARRIDO DO VALOR DUN COMPOÑENTE “.STEP PARAM”.....	16
2.5.2. OUTROS VARRIDOS.....	17
2.6. ANALISE DC SWEEP. VARRIDO DE CONTINUA.....	17
3. ENGADIDO DE COMPOÑENTES.....	19
3.1. ENGADIDO DE MODELOS DE COMPOÑENTES SINXELOS.....	19
3.2. ENGADIDO DE COMPOÑENTES COMPLEXOS CON SÍMBOLO.....	20
3.3. ENGADIDO DE COMPOÑENTES COMPLEXOS SEN SÍMBOLO.....	21
3.3.1. XERACIÓN AUTOMÁTICA DE SÍMBOLOS.....	22
3.3.2. EDICIÓN DUN SÍMBOLO EXISTENTE.....	23

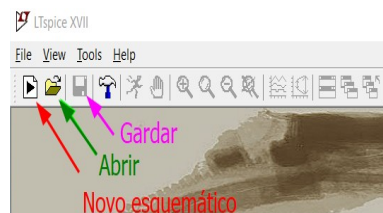
Este manual foi elaborado por antonrmella@gmail.com e ten
licenza **CC BY-NC-SA**



1. CREACIÓN E EDICIÓN DE ESQUEMAS

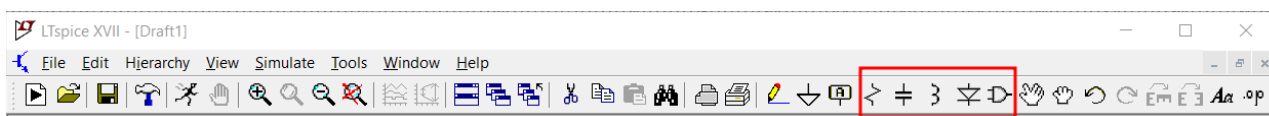
1.1. XESTIÓN DE FICHEIROS

Unha vez aberto o programa LTspice os tres primeiros botóns da barra de ferramentas permiten **crear un novo esquemático**, **abrir un esquemático gardado** previamente e **gardar** o esquemático sobre o que se está traballando.

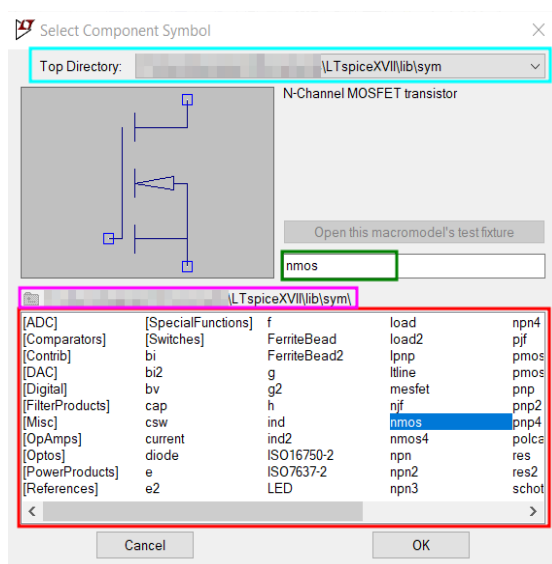


1.2. ENGADIR COMPOÑENTES AO ESQUEMÁTICO

Unha vez creado o esquemático, xa podemos comezar a engadir compoñentes ao mesmo. Na barra de ferramentas hai unha zona de botóns que permiten engadir os diferentes compoñentes ao esquema.



Estes botóns permiten, respectivamente, engadir un resistor (atallo 'R'), un condensador (atallo 'C'), unha bobina (atallo 'L'), un diodo (atallo 'D') e calquera compoñente (atallo 'F2'). Ao premer no botón calquera compoñente ábrese a ventá que aparece na figura da dereita, na que se pode explorar a libaría de compoñentes. No **cadro vermello** pódese navegar a biblioteca de compoñentes empregando o rato, no **cadro maxenta** amosase o directorio que se está navegando, no **cadro celeste** aparece o cartafol no que se atopan as librarías de Ltspice que se están navegando. Alternativamente pode empregarse o **cadro de busca** para atopar compoñentes introducindo os primeiros caracteres do seu nome.

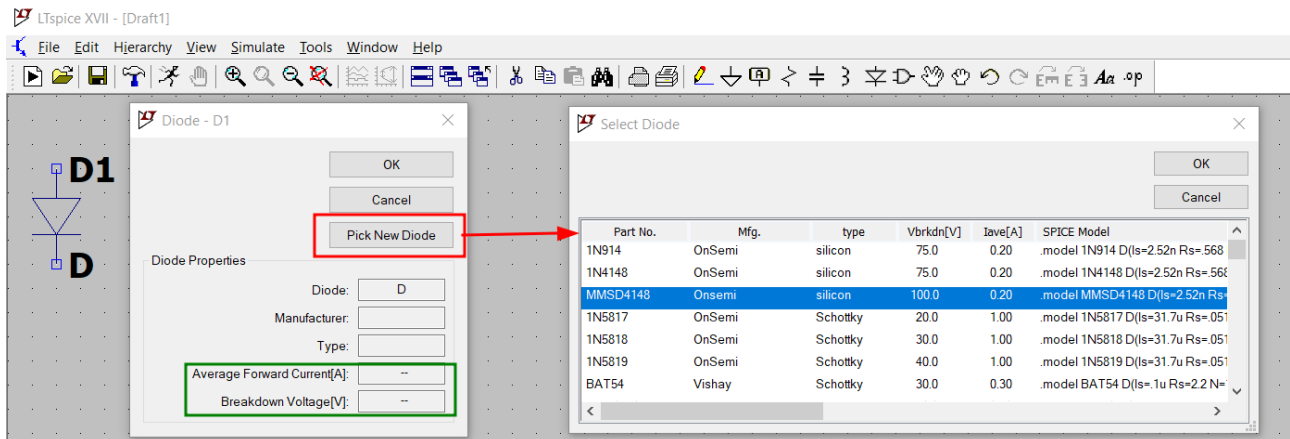


Unha vez seleccionado o compoñente situámolo no punto que queiramos movendo o rato e colocámolo premendo o botón esquerdo, para deixar de colocar compoñentes dese tipo haberá que premer o botón dereito. Antes de colocar un compoñente é posible xirallo (atallo 'CTRL+R') ou voltealo (atallo 'CTRL+E') mediante os botóns

Unha vez colocado un compoñente é posible eliminalo (atallo 'F5') ou duplicalo (atallo 'F6') mediante os botóns . Tamén é posible movelo (atallo 'F7') ou arrastralo (atallo 'F8') mediante os botóns . A diferenza entre estas operacións é que o movemento despraza o compoñente só, sen manter as conexións que poida ter con outros, mentres que no arrastre mantéñense as conexións. Estas catro operacións poden aplicarse a un só compoñente premendo sobre el co botón esquerdo ou sobre un conxunto de compoñentes mantendo pulsado o botón esquerdo e seleccionando unha area co rato.

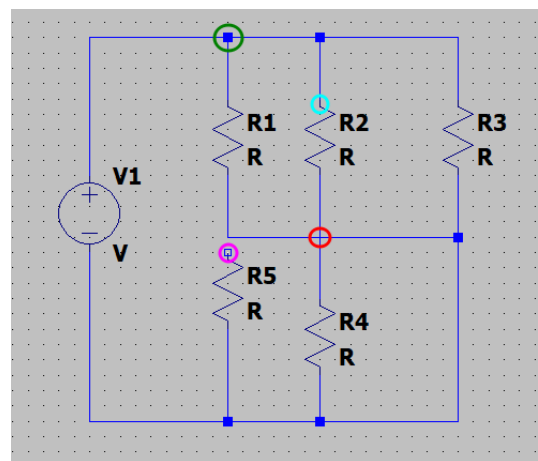
1.3. ESTABLECER VALORES OU MODELOS DE COMPOÑENTES

Unha vez colocados os compoñentes no esquemático haberá que introducir os parámetros dos mesmos para a simulación. Para os compoñentes nos que aparece un modelo xenérico (resistores, condensadores transistores e díodos) ao premer co botón dereito sobre o compoñente ábrese unha ventá na que se pode darlle valores aos **parámetros básicos do compoñente** que aparecen no recadro de propiedades. Outra opción é seleccionar un modelo existente de entre os que están recollidos na librería de LTspice, isto faise na ventá que se abre ao premer nun botón que se chama **Select <nome>** ou **Pick New <nome>** dependendo do tipo de compoñente.



1.4. CONEXIÓN DE COMPOÑENTES

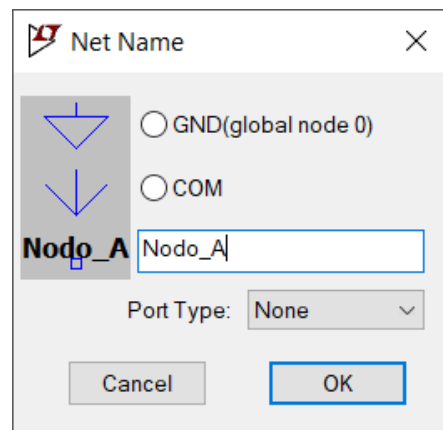
Para engadir un fío (atallo 'F3') pódese empregar o botón . Cando un compoñente está conectado a un cable desaparece o cadrado do terminal (pad). Cando se quere que o fío pase por un punto concreto, xeralmente facendo un xiro de 90°, prémese co botón esquerdo no punto. Para conectar un fío que se está trazando con outro que xa existe hai que premer sobre o punto do primeiro fío no que quere o punto de conexión, se a conexión esta feita aparecerá un cadro no punto de conexión. Na figura ilustrase diferentes situacións: **pad conectado**, **pad sen conectar**, **cruce sen conexión** e **cruce con conexión**.



1.5. REFERENCIA DE Tensión E ETIQUETAS

As etiquetas son cadeas de caracteres alfanuméricos que se asocian a un ou varios nodos do circuito. Todos os puntos do circuito que comparten a mesma etiqueta están conectados entre si sen necesidade de unilos mediante fíos. Tamén permiten darlle nomes a nodos relevantes do circuito o que facilita a súa identificación e a das tensións asociadas aos mesmos. Unha situación común é empregar a mesma fonte de tensión para polarizar varios compoñentes sen ter que tirar fíos por todo o deseño.

Para engadir unha etiqueta (atallo 'F4') pódese empregar o botón . Na ventá que aparece hai que inserir a cadea de caracteres que se vai empregar coma etiqueta, non se pode utilizar espazos. Na figura da dereita amósase a ventá cunha nova etiqueta co texto *Nodo_A*. Unha vez pulsado o botón OK aparece a etiqueta no canto do punteiro do rato, situámola no punto que queiramos movendo o rato e colocámola premendo o botón esquerdo, para deixar de colocar etiquetas haberá que premer o botón dereito. As etiquetas poden eliminarse e duplicarse da mesma maneira que os compoñentes.



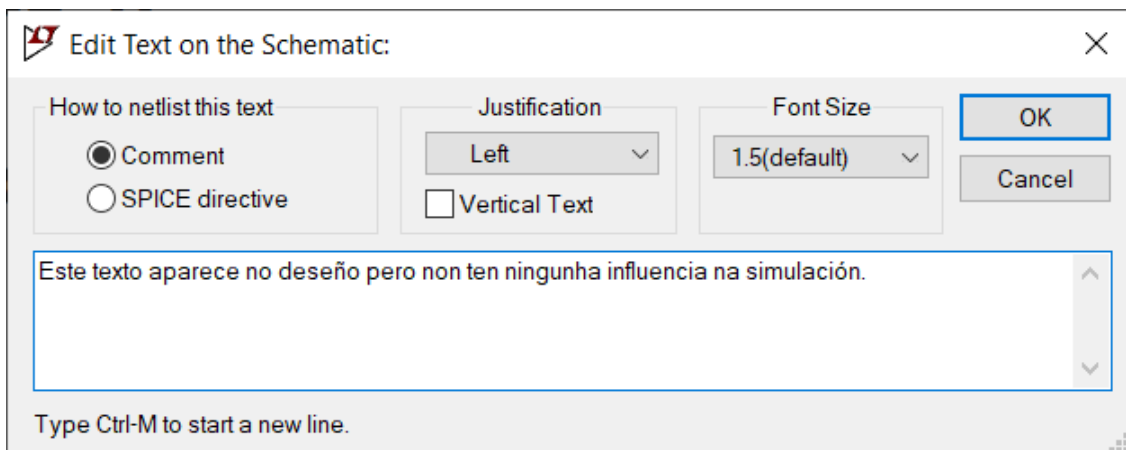
Hai unha etiqueta especial denominada GND que nos permite establecer o punto de referencia para as tensións do circuío. A etiqueta GND engádese co botón  (atallo 'G'). A etiqueta GND é necesario colocala antes de realizar simulacións.

1.6. CONTROL DA VISUALIZACIÓN

Para modificar a parte do esquemático que se ve na pantalla abonda con manter pulsado o botón esquerdo sobre un punto do esquemático e arrastralo. Ademais a roda do rato permite controlar o zoom ampliando ou reducindo a área visible do circuío. Os seguintes botóns  da barra de ferramentas tamén permiten controlar o zoom. O primeiro permite achegar a visualización ao punto no que se aplica, o terceiro afasta a visualización e o último establece o tamaño da visualización de xeito que se vexan todos os elementos que hai no esquemático.

1.7. TEXTOS

Existe a posibilidade de engadir liñas de texto no esquemático para achegar calquera información que consideremos precisa. Este texto non inflúe de ningunha maneira nas simulacións. Para engadir un texto (atallo 'T') pódese empregar o botón . É importante que na ventá que se abre estea seleccionada a opción **comment**, a opción **SPICE directive** permite engadir textos especiais que si inflúen na simulación.

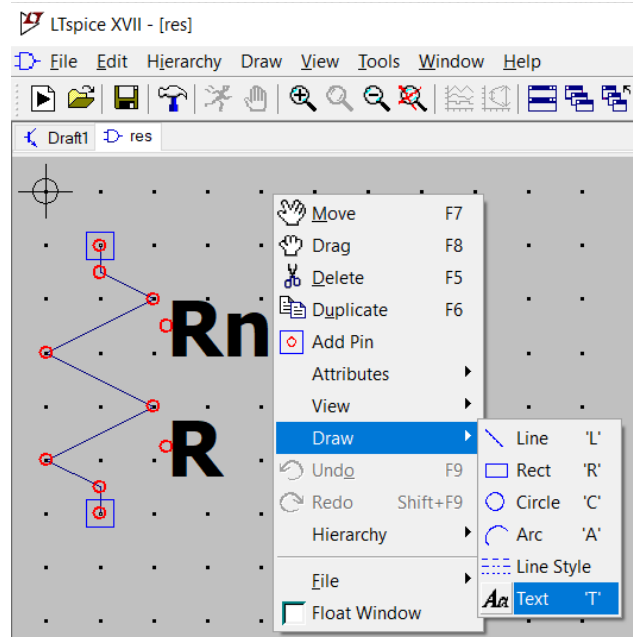
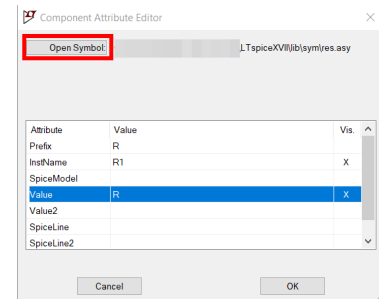


1.8. EDICIÓN DE SÍMBOLOS

En ocasións pode ser interesante modificar os símbolos gráficos asociados aos compoñentes. Para facelo cómpre acceder ao editor de atributos do compoñente, para iso é preciso premer co botón dereito do rato sobre o compoñente mentres se mantén premido o botón CTRL. Na ventá que se abre pódense editar todos os parámetros do compoñente, ademais, no botón **Open Symbol** ábrese o editor de símbolos.

No editor de símbolos pódese modificar o símbolo dun compoñente determinado. Para engadir liñas, debuxos ou textos ao símbolo do compoñente empregase o menú contextual que se abre premendo o botón dereito do rato fora do compoñente. No menú contextual, dentro do ítem *Draw*, pódese engadir liñas, rectángulos, circunferencias, arcos ou textos ao símbolo.

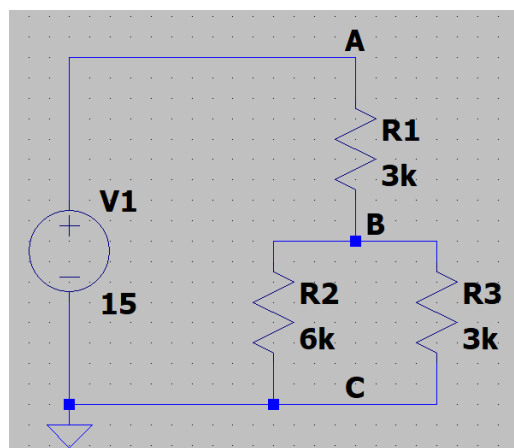
En algúns símbolos en LTspice non se identifican os nodos dos compoñentes, resulta útil modificar os símbolos de xeito que si aparezan identificados os nodos para interpretar axeitadamente o sentido das intensidade que os atravesa.



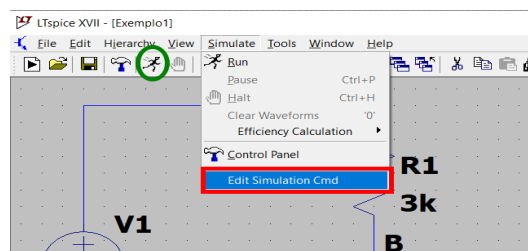
2. SIMULACIÓNS CON LTSPICE

2.1. ANÁLISE DO PUNTO DE OPERACIÓN (OPERATING POINT)

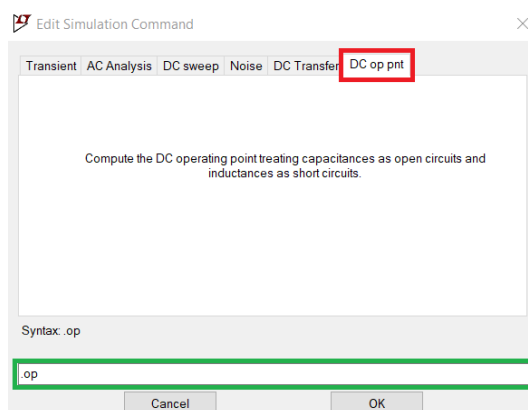
Este tipo de análise permite obter os valores das tensións e correntes debidas ás fontes de continua presentes no circuío, as bobinas consideranse circuíos pechados e os condensadores circuíos abertos. Desenvolveremos un exemplo sinxelo no que obteremos as tensións e intensidades nun circuío básico que consiste na asociación mixta de 3 resistores. O circuío é o seguinte:



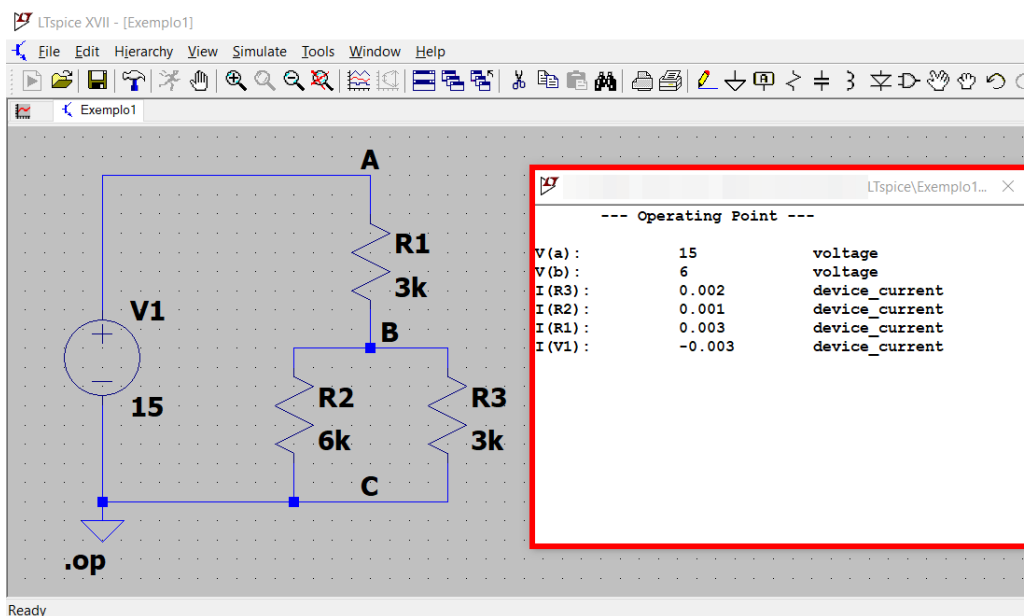
Para crear un novo perfil de simulación pódese empregar a opción **Edit Simulation Cmd** do menú *Simulate*, na barra de menús. Tamén pode empregarse o botón **Run** que, se non existe un perfil de simulación creado, abre a ventá de edición de perfís de simulación.



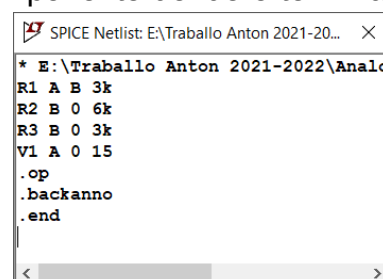
Na venta de edición de perfís de simulación deberemos seleccionar o tipo de simulación a realizar, en este caso tratase dunha simulación tipo **Operating Point (DC op pnt)**. A directiva SPICE que especifica os parámetros da análise aparece no **cadro da parte inferior da ventá**, este texto aparecera no esquemático e pode editarse para modificar as características da simulación. Para esta simulación é simplemente “.op” o punto ao comezo identifica como unha directiva SPICE.



Para lanzar a simulación a execución emprégase o botón . Ao correr a simulación aparecerá unha **nova ventá** cos resultados da simulación, que son as tensións nos nodos e as intensidades nos diferentes compoñentes.

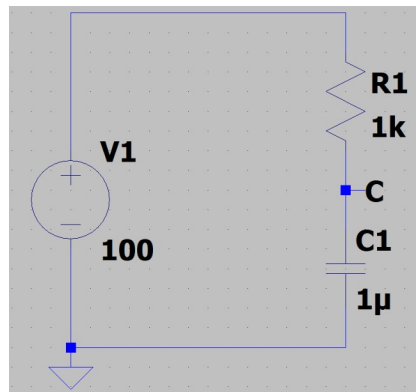


Un problema típico cos resultados en LTspice é como interpretar os signos das intensidades nos compoñentes pasivos coma as resistencias. En este tipo de compoñentes a intensidade será positiva cando atravesa o compoñente dende o terminal 1 cara ao terminal 2. Este é o caso no circuíto da figura como podemos ver no *NETLIST* que se amosa na figura da dereita. Para obter o *NETLIST* dun circuíto empregamos a opción *SPICE Netlist* do menú *View*. No caso das fontes a intensidade será positiva se entra polo terminal ‘+’ e sae polo ‘-’ e negativa en caso contrario, se a fonte aporta intensidade, como é o caso, será negativa.



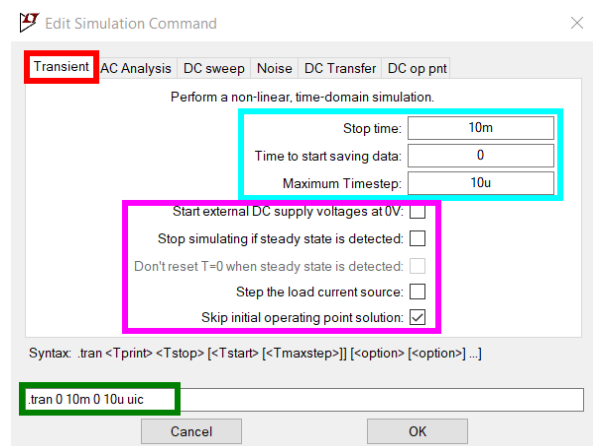
2.2. ANÁLISE TRANSITORIO(TRANSIENT)

Este tipo de análise permite obter os valores instantáneos das tensións e correntes no circuíto ao longo do tempo. Desenvolveremos un exemplo sinxelo no que obteremos as tensións e intensidades durante a carga dun condensador nun circuíto RC alimentado por unha fonte de continua. O circuíto é o seguinte:



Para crear un novo perfil de simulación procedemos coma no exemplo anteriores, pódese empregar a opción **Edit Simulation Cmd** do menú *Simulate* na barra de menús ou o botón **Run** que, se non existe un perfil de simulación creado, abre a ventá de edición de perfís de simulación.

Na venta de edición de perfís de simulación deberemos seleccionar o tipo de simulación a realizar, en este caso tratase dunha simulación tipo **Transient**. Haberá que configurar parámetros da simulación. Os parámetros fundamentais son que se poden ver no **cadro celeste** da figura. O seu significado e os valores para esta simulación son:



- x **Stop time:** A simulación comezará no instante 0 e rematará no instante que se indique en este campo. Para esta simulación tomaremos 10ms.
- x **Time to start saving data:** En ocasións só interesaran os datos a partir de un certo tempo. Podese indicar en este campo a partir de que instante deberán gardarse os valores da simulación para que se poidan visualizar. Para esta simulación tomaremos 0 xa que queremos visualizar os valores dende o inicio.
- x **Maximum Timestep:** Mediante este parámetro indicase a máxima separación que admitimos entre os puntos da simulación. Para esta simulación tomaremos 10μs.

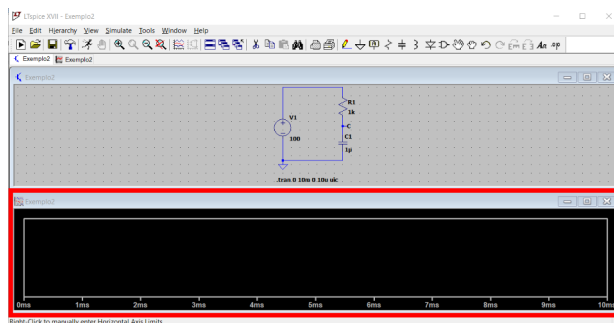
Ademáis existen unha serie de opcións avanzadas que se amosan no **cadro maxenta**, en este exemplo só marcaremos o último de eles como se amosa na figura. O significado destas opcións é:

- x **Start DC supply voltages at 0V:** Cando se marca esta opción as fontes de tensión comezan con tensión 0 no instante inicial e aumentan progresivamente ata o seu valor final nos primeiros 20μs da simulación.

- x **Stop simulating if steady state is detected:** Detén a simulación cando o circuío chega a un comportamento estacionario (que non varia).
- x **Step the load current source:** Permite realizar varias veces a simulación para diferentes valores de corrente dunha fonte de intensidade que se emprega coma carga. O mesmo resultado pode obterse mediante a directiva **“.step”** que estudaremos máis adiante.
- x **Skip initial operating point solution:** Normalmente realizase de xeito automático una análise de punto de operación antes de arrancar a análise transitoria, ao comezo da análise transitoria os compoñentes atópanse xa no punto de operación determinado polas fontes de continua. Esta directiva suprime esta análise de xeito que todas as tensións comezan en 0. É posible establecer condicións iniciais mediante a directiva SPICE **“.ic”**. Cómpre marcala en este caso xa que se non a simulación comezará co condensador xa cargado.

Neste caso a directiva SPICE que especifica os parámetros da análise, que aparece no **cadro da parte inferior da ventá**, será **“.tran 0 10m 0 10u uic”**. A directiva aparecerá no esquemático e pode editarse para modificar as características da simulación ou para eliminar o perfil de simulación.

Para lanzar a simulación a execución emprégase o botón . Ao correr a simulación aparecerá unha **nova ventá denominada panel de debuxo** sobre a que poderemos visualizar graficamente os resultados da simulación.



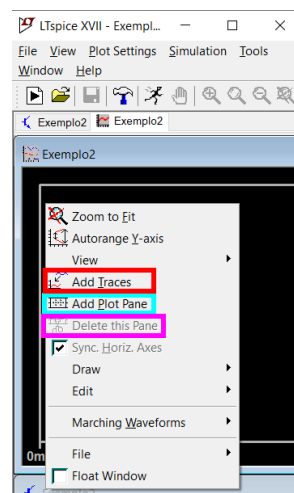
2.2.1. ENGADIR CURVAS AO PANEL DE DEBUXO

Para engadir curvas emprégase a opción **Add Traces** do menú contextual do panel de debuxo, que se abre premendo o botón dereito do rato sobre o propio panel de debuxo. Tamén é posible dividir o panel de debuxo para facer varios gráficos mediante a opción **Add Plot Pane** ou eliminar divisións con **Delete this pane**.

Outra opción é empregar **sondas virtuais**, estes son os tipos de sondas e o seu uso:

SONDA DE VOLTAXE

Para medir a voltaxe nun nodo débese premer co botón esquerdo do rato sobre o nodo. A sonda de voltaxe () aparecerá como cursor do rato cando este estea situado sobre un nodo. Do xeito indicado medirase a diferenza de potencial entre o nodo e a referencia de tensión (). Para medir diferenza de potencial entre dous puntos do circuío (VAB) débese premer o botón dereito sobre o primeiro punto(A) e, mantendo o botón dereito premido, levar o rato ao segundo punto(B) e liberar o botón. Neste caso a sonda de voltaxe voltárase negra ao situar o rato sobre un nodo que poida servir coma referencia ().



SONDA DE INTENSIDADE



Para medir a intensidade a través dun compoñente, hai que levar o rato sobre o compoñente e premer o botón dereito. A sonda de intensidade () aparecerá como cursor do rato cando este estea situado sobre un compoñente.

SONDA DE POTENCIA



Para medir a potencia instantánea disipada ou fornecida por un compoñente débese premer co botón esquerdo do rato sobre o compoñente ao tempo que se preme a tecla **ALT**. A sonda de potencia () aparecerá como cursor do rato cando este estea situado sobre un compoñente mantendo premida a tecla **ALT**.

Cando se coloca calquera sonda, un clic só engadirá a curva á ventá, mentres que un dobre clic borrará todas as curvas e engadirá unicamente a curva correspondente.

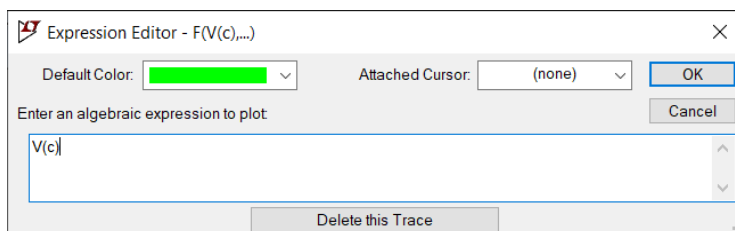
VALORES MEDIOS E EFICACES

Premendo co botón esquerdo do rato sobre o nome dunha medida de tensión ou intensidade no panel de debuxo ao tempo que se preme a tecla **CTRL** ábrese unha ventá na que aparecen os valores medio e efectivo. No caso de que a medida sexa de potencia aparecerán a potencia media e a enerxía disipada ou fornecida no compoñente.

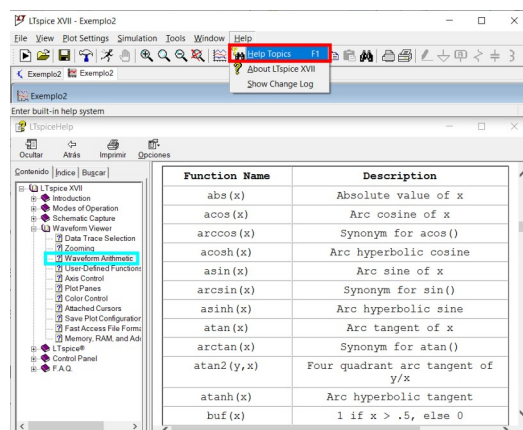
Para eliminar unha curva do panel de debuxo hai que pulsar **SUPR, F5** ou o botón  e despois premer o botón esquerdo sobre o nome da curva que se desexa eliminar.

2.2.2. TRAZADO DE CÁLCULOS

Premendo co botón dereito do rato sobre o nome dunha curva no panel de debuxo aparece a ventá **Editor de expresións** que se amosa na seguinte figura.

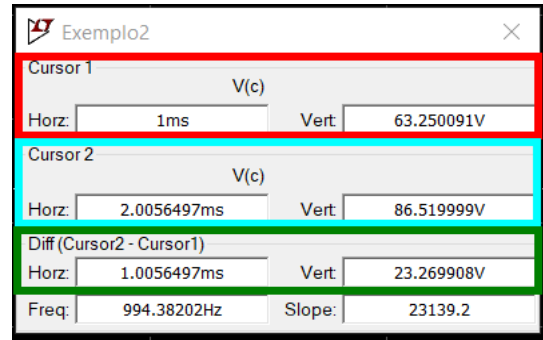


Nesta ventá pódese modificar a cor da curva e tamén realizar operacións matemáticas empregando os nomes das tensións e intensidades do circuito, operadores aritméticos e funcións matemáticas. Un listado completo das funcións e operadores soportados pode verse na axuda do programa que se abre no menú **Help > Help Topics**. Na ventá de axuda hai que ir ao apartado **LTspice XVII > Waveform Viewer > Waveform Arithmetic**. Tamén poden empregarse constantes notables coma " **π** " ou " **E** ".



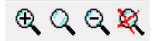
2.2.3. MEDIDA DE VALORES SOBRE AS CURVAS (CURSORES)

Premendo co botón esquerdo do rato sobre o nome dunha curva no panel de debuxo aparece o cursor “1” sobre a curva e a ventá de medicións. Cando desprazamos o rato sobre o cursor aparece o símbolo **1**, mantendo premido o botón esquerdo do rato pode desprazarse o cursor sobre a curva. A ventá de medicións amosará **os valores correspondentes á posición do cursor “1”**.



Premendo de novo co botón esquerdo do rato sobre o nome dunha curva no panel de debuxo aparece o cursor “2” sobre a curva e a ventá de medicións. O cursor “2” pode moverse pola curva do mesmo xeito que o “1”, o seu símbolo é **2**. A ventá medicións amosará tamén **os valores correspondentes á posición do cursor “2”** e **a diferenza entre os valores de ambos cursores**.

2.2.4. CONTROL DA VISUALIZACIÓN E DOS EIXOS

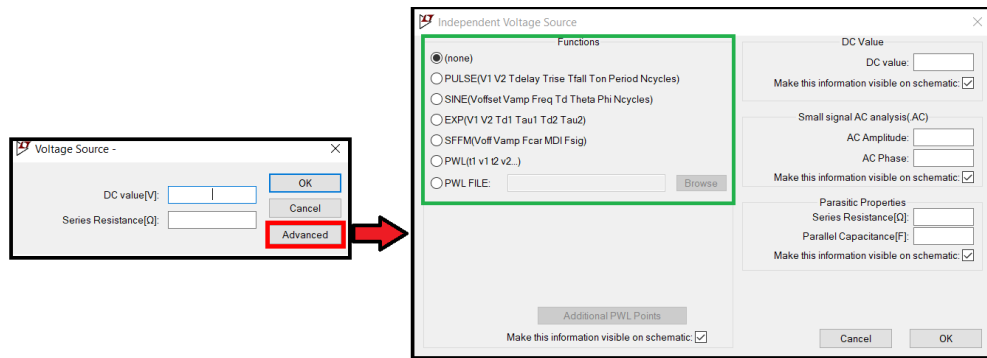
Para modificar a parte da curva poden empregarse os seguintes botóns  da barra de ferramentas. O primeiro permite achegar a visualización ao punto no que se aplica, o segundo permite seleccionar unha área completa mantendo premido o botón esquerdo do rato e arrastrando ate seleccionar a zona, o terceiro afasta a visualización e o último establece o tamaño da visualización de xeito que se vexa a curva completa.

Con todo, en moitas ocasións será mellor seleccionar exactamente o intervalo de valores que se debe amosar en cada un dos eixos. Ao situar o rato sobre un dos eixos aparecerá unha regra () , premendo co botón dereito abrírase a ventá de configuración do eixo. En esta ventá poderemos configurar: **o valor inicial do eixo**, **o valor final do eixo** e **a distancia entre as subdivisións do eixo**. Tamén se pode establecer que o eixo se represente en escala logarítmica marcado o **cadro Logaritmico**.



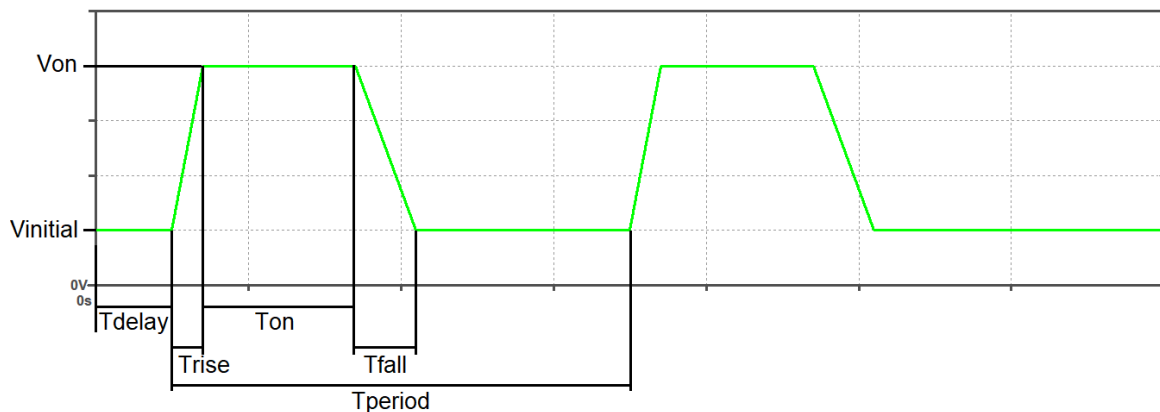
2.2.5. CONFIGURACIÓN AVANZADA DOS XERADORES

As fontes, tanto as de voltaxe coma as de corrente, permiten xerar sinais complexos para as simulacións. Para configuralas hai que premer co botón dereito sobre a fonte e premer o botón **Advanced** na ventá que se abre. Deste xeito ábrese a ventá de configuración avanzada da fonte onde podemos axustar o sinal da saída a un dos tipos que se amosan no **cadro verde**. En cada caso haberá que configurar unha serie de valores, veremos a continuación os casos máis importantes.

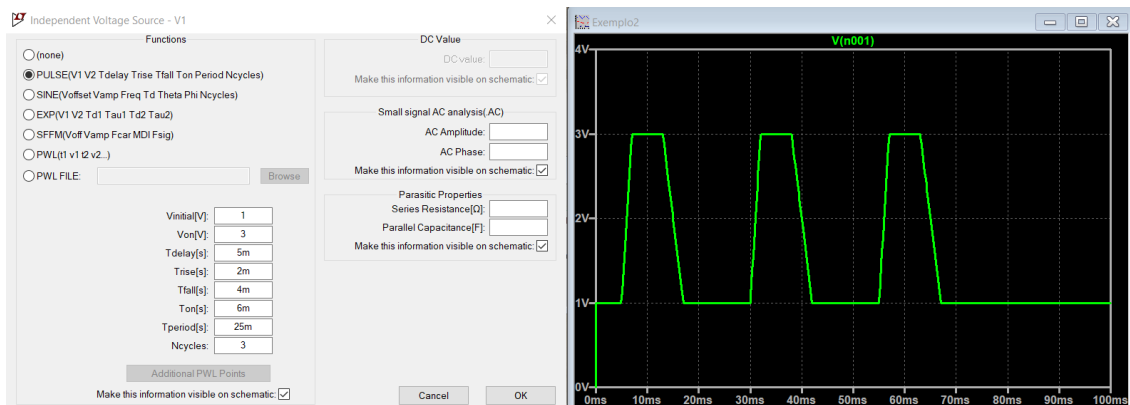


XERADOR DE PULSOS

A función PULSE permite xerar un tren de pulsos. Na seguinte figura ilústrase o significado de cada un dos parámetros que se poden configurar excepto o último, **Ncycles**, que permite establecer o número de veces que se repetira o pulso. Con valor cero en **Ncycles** terase infinitos ciclos.



Na seguinte imaxe amósanse a ventá de configuración e o resultado do sinal:



XERADOR SINUSOIDAL

A función SINE permite xerar sinais sinusoidais. Os parámetros que se poden configurar e os seus significados son os seguintes:

DC offset: Permite establecer un valor de continuo que se sumará ao sinal.

Amplitude: O valor de pico do sinal.

Freq: A frecuencia do sinal en Hertz

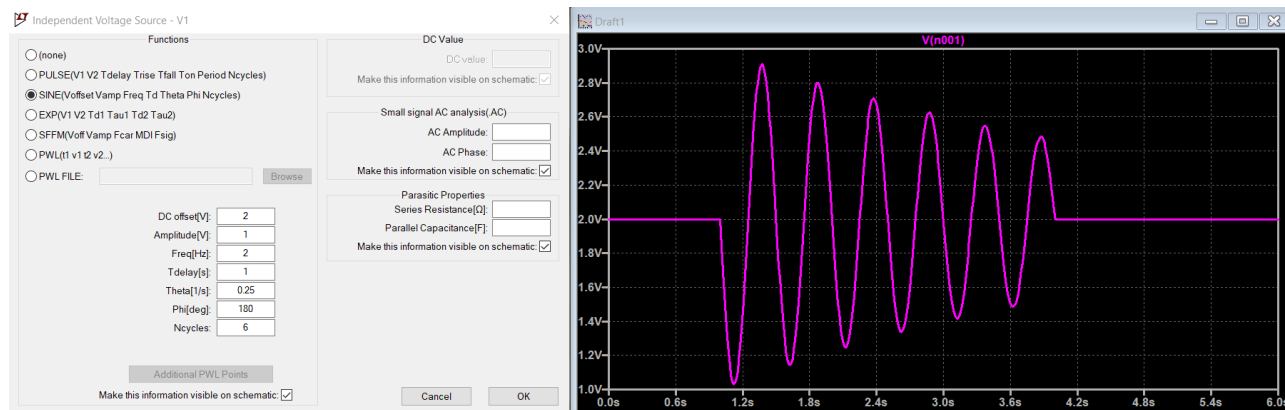
Tdelay: Establece o instante a partir do que comeza o sinal.

Theta: Permite establecer unha envolvente exponencial de xeito que a amplitude do sinal decaiga ao longo do tempo. O valor é a constante de tempo de esta exponencial. Co valor 0 a amplitude será constante.

Phi: Permite establecer a fase inicial do sinal.

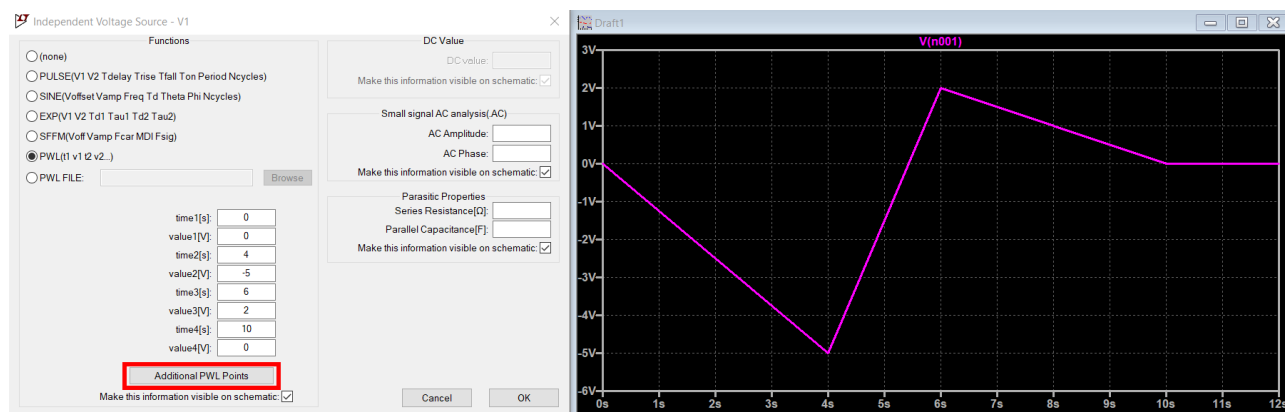
Ncycles: É o número de ciclos do sinal, co valor cero terase infinitos ciclos.

Na seguinte imaxe amósanse a ventá de configuración e o resultado do sinal:



XERADOR DE SINAIS ARBITRARIOS

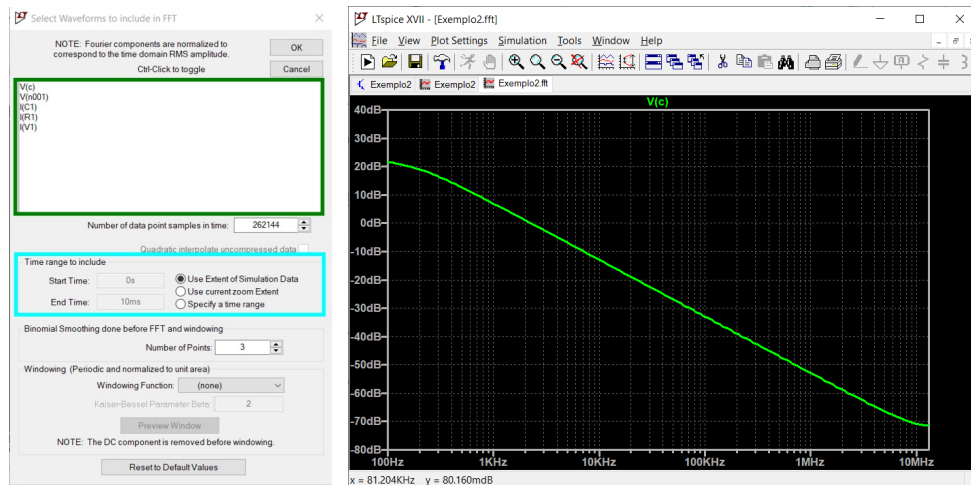
A función PWL permite xerar sinais arbitrarios nos que a magnitude varíe linearmente respecto do tempo. Os parámetros que se poden configurar son pares de valores de voltaxe e tempo, o sinal xerase unindo eses puntos con liñas rectas. Na seguinte imaxe amósanse a ventá de configuración e o resultado do sinal:



No botón **Additional PWL Points** ábrese un menú onde se pode engadir máis puntos.

2.2.6. REPRESENTACIÓN EN FRECUENCIA DAS CURVAS

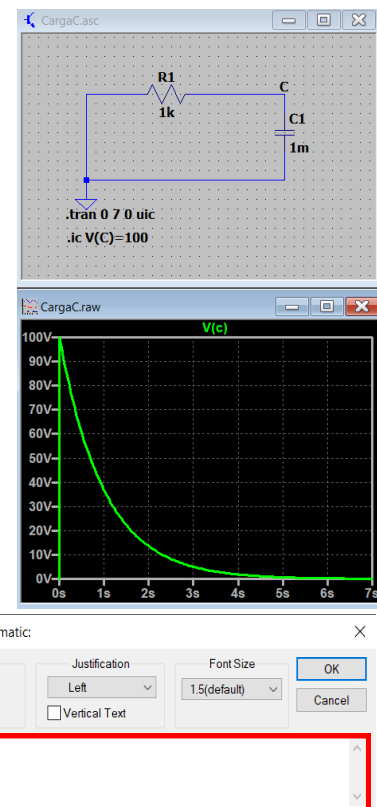
LTspice permite obter tamén a representación en frecuencia das curvas mediante a transformada rápida de Fourier (FFT). Para obtela emprégase a opción **FFT** do menú **View**. Ao empregala ábrese a ventá de configuración que se amosa na figura a continuación. Cómpre seleccionar o sinal do que se desexa obter a resposta en frecuencia no **cadro verde**, ademais as opcións no **cadro celeste** permiten configurar se a FFT se aplica á totalidade da curva, á zona que se está visualizando no panel de debuxo ou a un intervalo especificado no propio cadro. Ao premer o botón **OK** aparece un novo panel de debuxo coa representación en frecuencia do sinal.



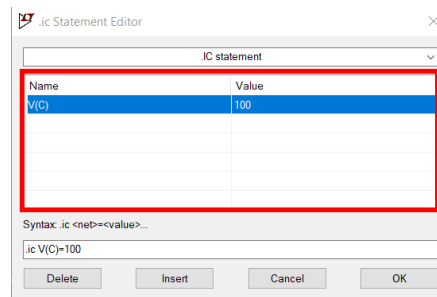
2.3. VALORES INICIAIS NAS SIMULACIÓNS, A DIRECTIVA “.IC”

En ocasións é preciso establecer valores iniciais para algún dos valores de tensión ou intensidade do circuíto. Isto é particularmente interesante na simulación de osciladores sinusoidais xa que sen un valor inicial o oscilador non arrancará. A directiva SPICE “.ic” permitirá establecer valores iniciais para as tensións en nodos do circuíto e para as intensidades a través de bobinas. Para ilustrar o proceso emprégase un exemplo no que simularemos a descarga dun condensador dende unha tensión inicial de 100V.

Para engadir a directiva hai que premer o botón **op** (Atallo “S”) para abrir a ventá que permite engadir directivas. Na ventá compróbase que esta seleccionada a opción **SPICE directive** e engádese o texto da directiva no **cadro vermello** o texto “.ic nome1=valor1 nome2=valor2...”. Os nomes serán os nomes que utiliza LTspice para as tensións ou intensidades, V(NomeNodo) ou I(NomeBobina), e os valores serán os valores que se quere que tomen ao inicio da simulación. En este exemplo a directiva será “.ic V(c)=100”.

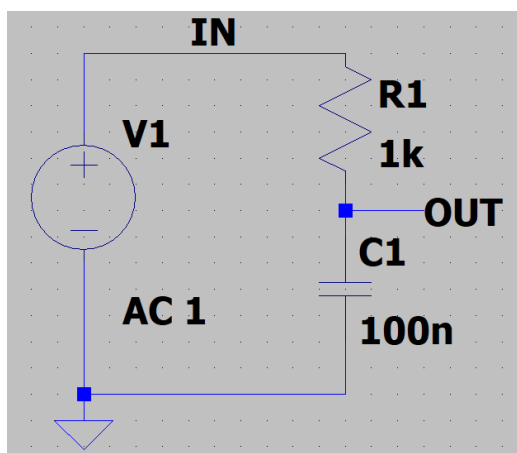


Alternativamente pódese configurar os valores iniciais nunha táboa, para iso haberá que introducir a directiva **“.ic” sen valores e a** continuación premer co botón dereito enriba da directiva, ao facelo ábrese a ventá de configuración dos valores iniciais na que se pode engadir as parellas nome/valor que se desexe nunha **táboa**.

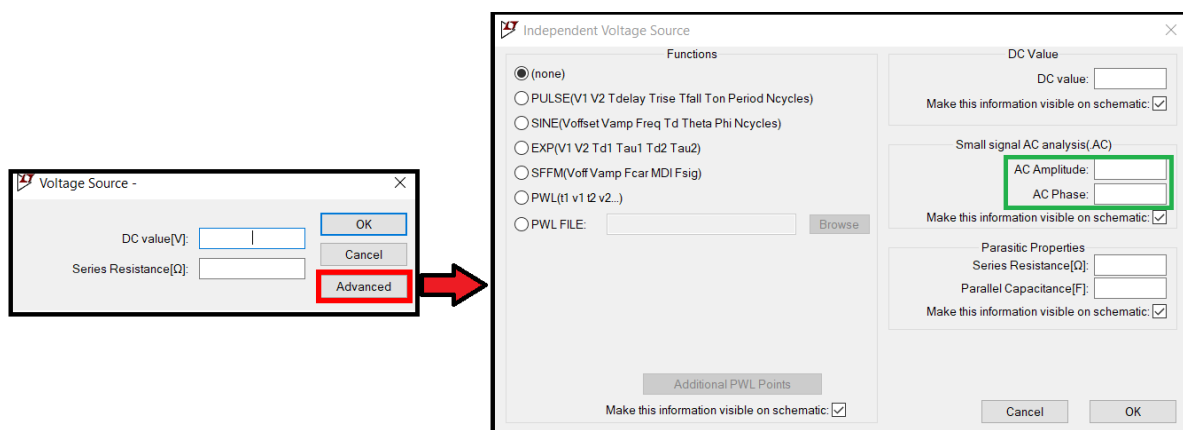


2.4. ANALISE AC. VARRIDO EN ALTERNA.

Este tipo de análise permite analizar o comportamento do circuío ao alimentalo con sinais sinusoidais puros de diferentes frecuencias. Desenvolveremos un exemplo sinxelo no que analizaremos a resposta en frecuencia dun circuío RC. O circuío amosase na figura a continuación.



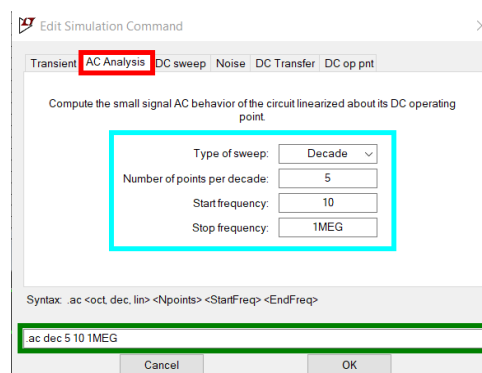
Para establecer o valor da tensión en AC da fonte hai que premer co botón dereito sobre e premer o botón **Advanced** na ventá que se abre. Na ventá de configuración avanzada da fonte os valores que afectan a esta simulación son os que aparecen no **cadro verde** e que establecen as referencias de amplitude e fase para as magnitudes que se calcularan na simulación. Xeralmente só encheremos o campo **AC Amplitude** co valor 1.



Para crear un novo perfil de simulación procedemos coma no exemplo anteriores, pódese empregar a opción **Edit Simulation Cmd** do menú **Simulate** na barra de menús ou o botón **Run** que, se non existe un perfil de simulación creado, abre a ventá de edición de perfís de simulación.

Na vista de edición de perfís de simulación deberemos seleccionar o tipo de simulación a realizar, en este caso tratase dunha simulación tipo **AC Analysis**. Haberá que configurar parámetros da simulación que aparecen no **cadro celeste** da figura. O seu significado é:

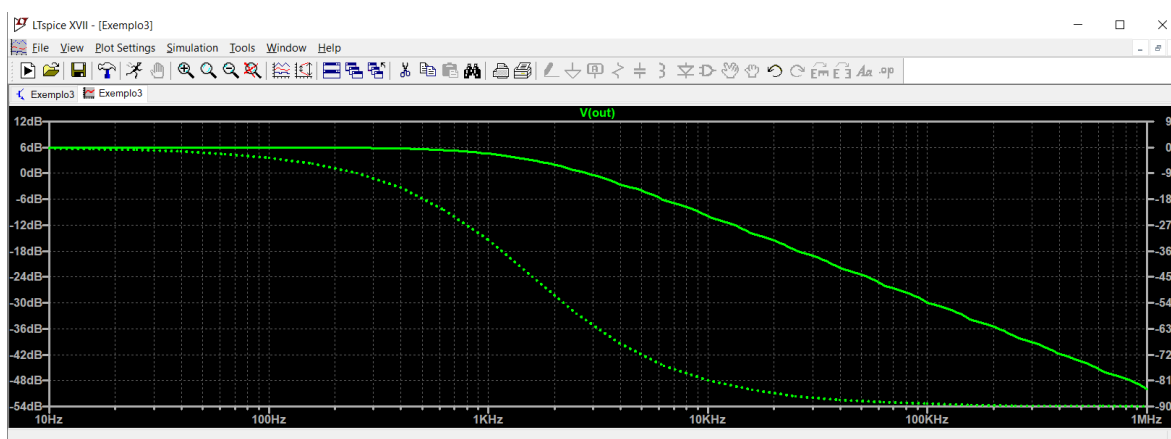
- x **Type of sweep**: Este parámetro permite configurar como se van escoller as frecuencias que o programa vai analizar. Coas opcións década ou oitava tomarase a mesma cantidade de valores cada década/oitava, na opción liñar tomarase un conxunto de frecuencias equiespaciadas.
- x **Number of points...**: Permite escoller o número de valores de frecuencia que se analizarán en cada década, oitava ou o número total de puntos se o varrido é liñar.
- x **Start frequency**: Permite escoller a frecuencia inicial do varrido.
- x **Stop frequency**: Permite escoller a frecuencia final do varrido.



Para esta análise a directiva SPICE, que aparece no **cadro da parte inferior da ventá**, será **“.ac dec 5 10 1MEG”**. A directiva aparece no esquemático e pode editarse para modificar as características da simulación ou para eliminar o perfil de simulación.

Para lanzar a simulación a execución emprégase o botón . Ao correr a simulación aparecerá un panel de debuxo sobre o que poderemos visualizar graficamente os resultados da simulación. En este tipo de simulación as magnitudes represéntanse en dB, para calculalas tómasse coma referencia o parámetro **AC Amplitude** da fonte, establecido antes da simulación.

Na seguinte figura amosase o resultado da simulación coa curva de V_{OUT} en dB respecto de 1V fronte á frecuencia cos valores recollidos en este apartado.

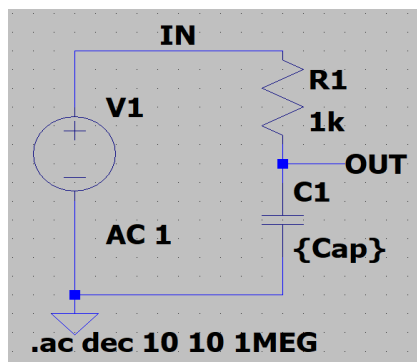


2.5. A DIRECTIVA SPICE “.STEP”. VARRIDO PARAMÉTRICO.

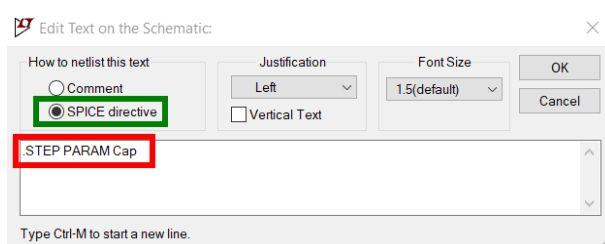
Mediante a directiva .STEP pódese repetir de xeito automático unha simulación tomando múltiples valores de calquera parámetro. O parámetro pode ser o valor dun compoñente, ou un parámetro de configuración dun xerador. Cando se tracen as curvas aparecerá unha por cada valor do parámetro.

2.5.1. VARRIDO DO VALOR DUN COMPOÑENTE “.STEP PARAM”

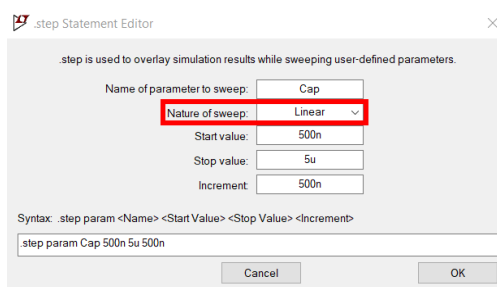
Desenvolveremos un exemplo sinxelo no que analizaremos a resposta en frecuencia do circuíto RC do exemplo anterior para diferentes valores da capacidade do condensador. O circuíto amosase na figura a continuación, a única diferenza con respecto a un varrido en alterna simple é que **cómpre substituír o valor da capacidade polo nome do parámetro que imos empregar entre chaves**.



A continuación premese o botón  (Atallo “S”) para abrir a ventá que permite engadir directivas. Na ventá compróbase que esta seleccionada a opción **SPICE directive** e engádesse o texto da directiva no **cadro vermello** o texto **“.STEP PARAM”** seguido do nome do parámetro, en este exemplo: **“.STEP PARAM Cap”**



A continuación para configurar os valores do varrido hai que premer co botón dereito enriba da directiva **“.STEP PARAM Cap”**, ao facelo ábrese a ventá de configuración do varrido paramétrico que se amosa a continuación.



O primeiro elemento **Name of parameter to sweep** permite escoller o nome do parámetro ao que se van a dar valores, normalmente non se modifica. O segundo elemento **Nature of sweep** determina o tipo de varrido así coma o contido dos seguintes campos, pode tomar os seguintes valores:

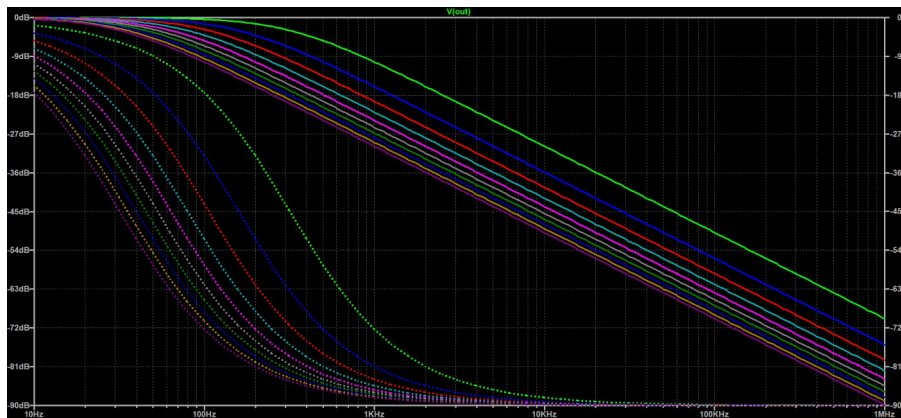
- x **Linear**: Os valores calculanse para estar equiespaciados nunha escala linear. Hai que establecer os valores inicial e final e o incremento.
- x **Octave**: Os valores calculanse para estar equiespaciados nunha escala

logarítmica. Hai que establecer os valores inicial e final e o número de valores por oitava.

x **Decade**: Os valores calculanse para estar equiespaciados nunha escala logarítmica. Hai que establecer os valores inicial e final e o número de valores por década.

x **List**: Especificase unha lista de valores.

En este exemplo farase un varrido linear de 500nF a 5uF en intervalos de 500nF. Para lanzar a simulación a execución emprégase o botón . Ao correr a simulación aparecerá un panel de debuxo e ao debuxar curvas sobre el aparecerá unha por cada un dos valores do parámetro como se pode ver na seguinte figura.



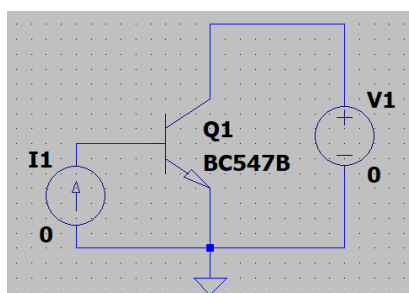
Para identificar a que valor do parámetro corresponde unha curva hai que poñer un cursor sobre a mesma e premer o botón dereito sobre a mesma, ao facelo ábrese unha ventá onde aparece o valor do parámetro. Para mover o cursor entre as curvas empréganse as frechas arriba e abaixo do teclado.

2.5.2. OUTROS VARRIDOS

Tamén é posible realizar varridos de temperatura coa directiva **“.STEP temp”** ou do valor dun parámetro dun modelo dun compoñente con **“.STEP <TipoDeModelo> <NomeDoModelo>(<nomeDoParametro>)”**, por exemplo para facer un varrido variando a I_s do diodo 1N4148 sería **“.STEP D 1N4148(Is)”**.

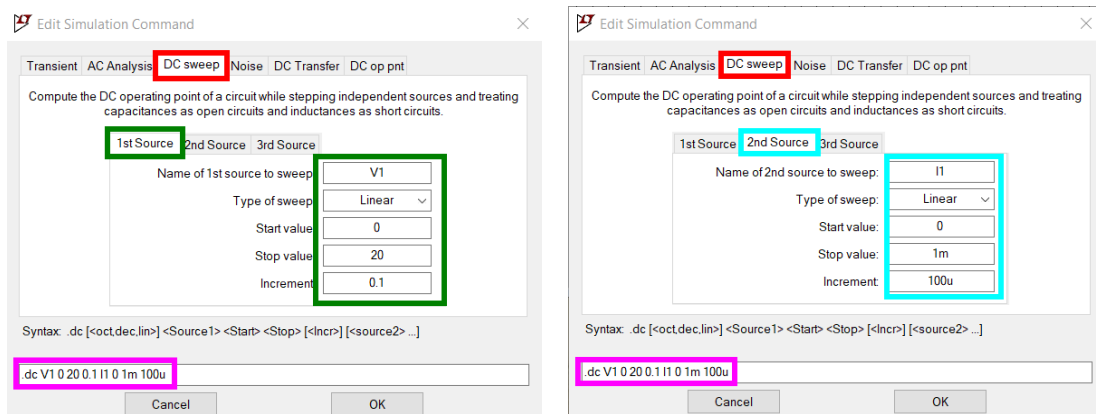
2.6. ANALISE DC SWEEP. VARRIDO DE CONTINUA.

Este tipo de análise permite realizar un varrido do valor de unha ou varias fontes de tensión ou corrente continua. Desenvolveremos un exemplo sinxelo no que trazaremos as curvas características dun BJT. O circuío amosase na figura a continuación.



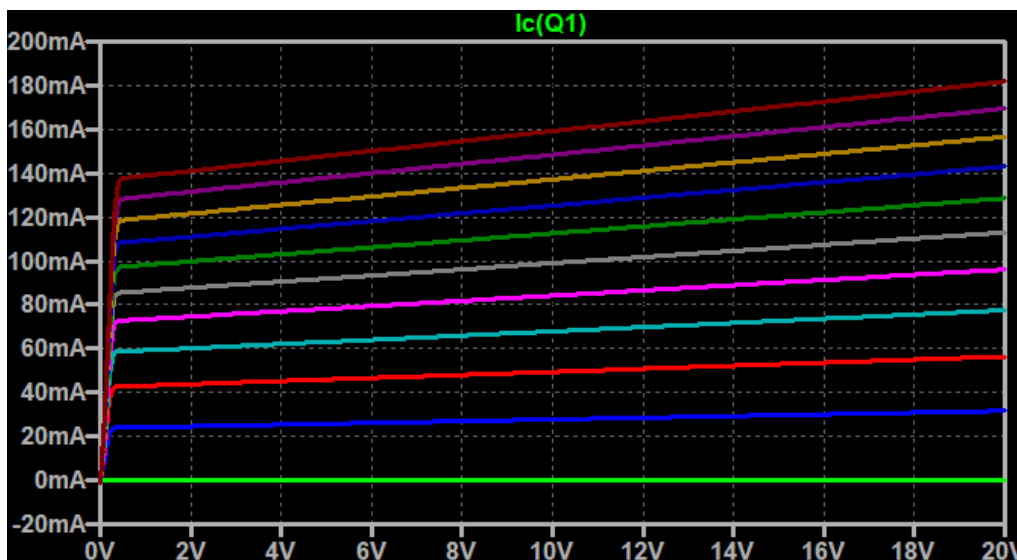
Cómpre establecer os valores da tensións e intensidades das fontes aínda que non se van empregar, neste caso poñeremos “0” en ambas. A continuación hai que crear un novo perfil de simulación, procedemos coma no exemplo anteriores mediante a opción **Edit Simulation Cmd** do menú **Simulate** na barra de menús ou o botón **Run** que, ao non existir un perfil de simulación, abre a ventá de edición de perfís de simulación.

Na venta de edición de perfís de simulación deberemos seleccionar o tipo de simulación a realizar, en este caso tratase dunha simulación tipo **DC sweep**. Haberá que configurar parámetros da simulación para as fontes, a fonte de tensión configurarémola coma **primeira fonte** e a de corrente coma **segunda fonte**



Para esta análise a directiva SPICE, que aparece no **cadro da parte inferior da ventá**, será **“.dc V1 0 20 0.1 I1 0 1m 100u”**. A directiva aparece no esquemático e pode editarse para modificar as características da simulación ou para eliminar o perfil de simulación.

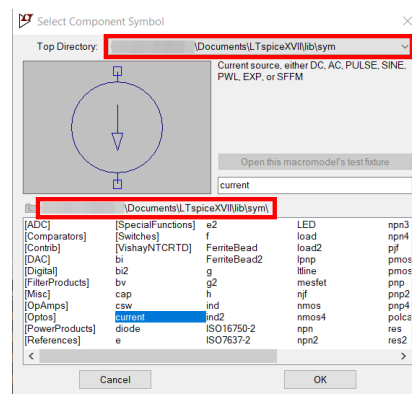
Para lanzar a simulación a execución emprégase o botón . Ao correr a simulación aparecerá un panel de debuxo sobre o que poderemos visualizar graficamente os resultados da simulación. Na seguinte figura amosase o resultado da simulación representando a intensidade de colector no BJT respecto da tensión da fonte para as diferentes intensidades de base. Ao seleccionar a fonte de tensión coma primeira fonte do varrido o seu valor aparece automaticamente no eixo horizontal, se non fose así poderíamos escollelo mediante o menú do eixo que se abre situando o rato sobre o eixo de modo que apareza unha regra () e premendo co botón dereito.



3. ENGADIDO DE COMPOÑENTES

En ocasións queredes empregar compoñentes que non aparecen na librería estándar de Ltspice, moitos fabricantes proporcionan modelos SPICE para os seus compoñentes que poderemos empregar nas nosas simulacións. Cómpre primeiramente distinguir os compoñentes sinxelos que teñen un modelo SPICE estándar dos compoñentes complexos requiren descrições máis complexas. Os sinxelos engádense a unha simulación mediante unha directiva “**.MODEL**” mentres que os segundos requiren unha directiva tipo “**.SUBCKT**” e, polo xeral, un símbolo. Aínda que é posible engadir estas directivas directamente no esquemático o máis habitual é engadilas ás bibliotecas de LTspice de xeito que se podan colocar e empregar do mesmo xeito que os compoñentes que veñen incluídos nas librerías do programa.

As librarías de compoñentes atópanse polo xeral no cartafol de documentos do usuario, na ruta **“CartafolDoUsuario\Documents\LTspiceXVII\lib”**. A **ruta completa** pódese ver tamén ao abrir a ventá de engadir compoñentes (D ou F5). Dentro do cartafol das librarías hai tres cartafoles:



- x **cmp:** Contén os modelos dos compoñentes sinxelos.
- x **sub:** Contén as definicións dos compoñentes complexos.
- x **sym:** Contén os símbolos.

3.1. ENGADIDO DE MODELOS DE COMPOÑENTES SINXELOS

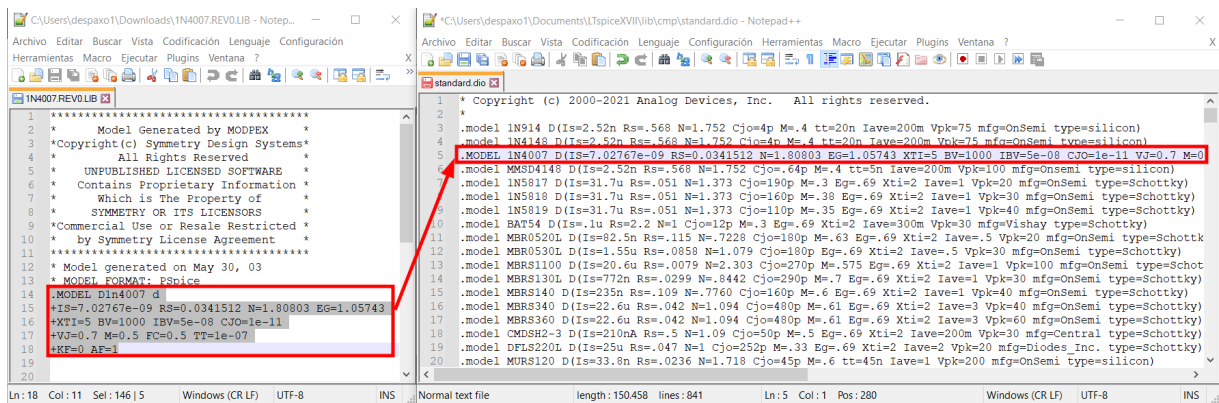
Un modelo dun compoñente sinxelo será unha directiva tipo “**.MODEL**” cos parámetros propios do modelo SPICE do compoñente concreto. Por exemplo o diodo 1N4007 que é moi habitual non aparece na librería de LTspice pero podemos atopar o seu [modelo SPICE na web de Onsemi](#). Ao descargar o modelo pSpice e abrir o ficheiro .lib cun editor de texto verase que contén unha directiva “**.MODEL**” para díodo que se identifica porque despois do nome do modelo leva a letra “**d**” que identifica os modelos de díodos, se fose por exemplo un BJT poría “**NPN**” ou “**PNP**” en lugar de “**d**”.

Dentro do cartafol **cmp**, que está en “*CartafolDoUsuario\Documents\LTspiceXVIII\lib*”, hai unha serie de ficheiros que conteñen os modelos dos compoñentes, hai un ficheiro para cada un dos tipos de compoñentes que teñen modelos SPICE que se identifica facilmente pola extensión do ficheiro e pola súa icona. Os ficheiros e os modelos que contén cada un poden verse na figura da dereita. Cada un de estes ficheiros é un arquivo de texto que conteñen as directivas “**.MODEL**” de todos os compoñentes do tipo correspondente incluídos na libraría.

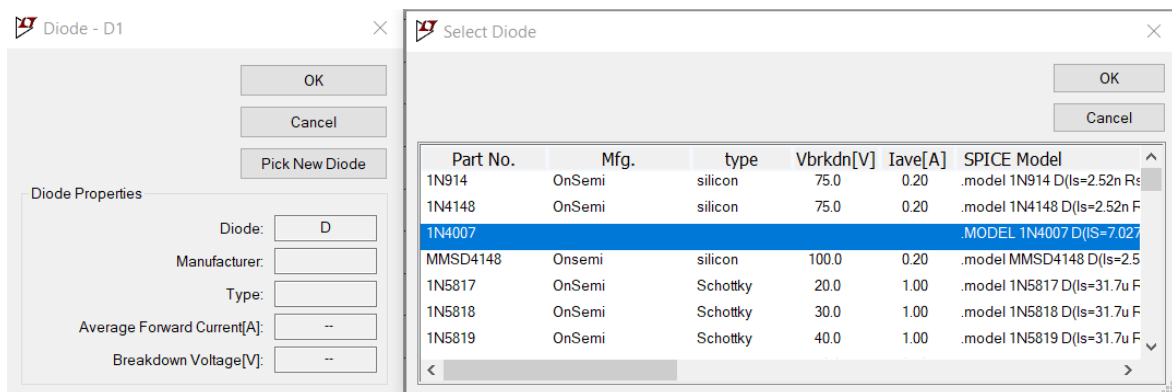
Filtros de ferrita	→	FB	standard.bead
			standard.bead.bak
Transistores bipolares	→	Q	standard.bjt
			standard.bjt.bak
Condensadores	→	C	standard.cap
			standard.cap.bak
Diodos	→	D	standard.dio
			standard.dio.bak
Bobinas	→	L	standard.ind
			standard.ind.bak
Transistores JFET	→	J	standard.jft
			standard.jft.bak
Transistores MOSFET	→	M	standard.mos
			standard.mos.bak
Resistencias	→	R	standard.res
			standard.res.bak

Para engadir o modelo do díodo 1N4007 teremos que abrir editar o ficheiro ***standard.dio*** e engadir a directiva “***.MODEL***” do ficheiro que descargamos, é posible que teñamos que

adaptar o formato. Na seguinte figura ilustrase este proceso no que se eliminou o “D” ao inicio do nome, se puxo o “D” maiúsculo no canto do minúsculo, se engadiron os parénteses e se puxeron todos os parámetros nunha liña eliminando os signos “+”.



Unha vez feito isto xa poderemos asociar o modelo 1N4007 a un díodo nos nosos circuítos do mesmo xeito que cos modelos que viñan incluídos e empregalo nas nosas simulacións. Se quixésemos que aparecesen o fabricante e o tipo deberíamos telos engadido como nos outros modelos mediante os parámetros *mgf* e *type*.

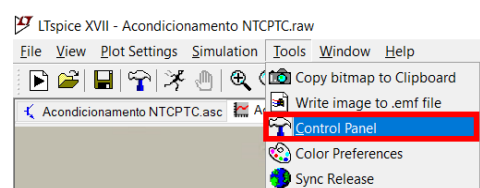


3.2. ENGADIDO DE COMPOÑENTES COMPLEXOS CON SÍMBOLO

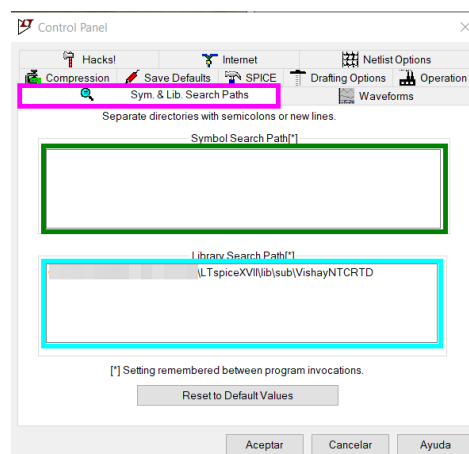
Un modelo dun compoñente complexo será unha directiva tipo **“.SUBCKT”** coa definición do compoñente, pode atoparse en un ficheiro con extensión **“lib”**, **“cir”**, **“sub”** ou calquera outra. En calquera caso tratarase de un ficheiro de texto. Se o fabricante proporciona o tamén o símbolo haberá un ficheiro con extensión **“asy”** que contén, tanto o símbolo como a asignación de pines de o símbolo e o modelo.

O procedemento en este caso é moi sinxelo, só haberá que engadir o símbolo ao cartafol **“sym”** e o modelo ao cartafol **“sub”**. Feito isto poderase empregar o compoñente sen máis que buscar o seu símbolo no menú engadir compoñentes (D ou F5) do mesmo xeito que cos demais compoñentes.

En ocasións será axeitado crear cartafoles dentro da librería para manter ordenados os modelos engadidos. Para facelo cómpre abrir o Panel de control, isto faise dende o menú na opción **Tools>Control Panel**.

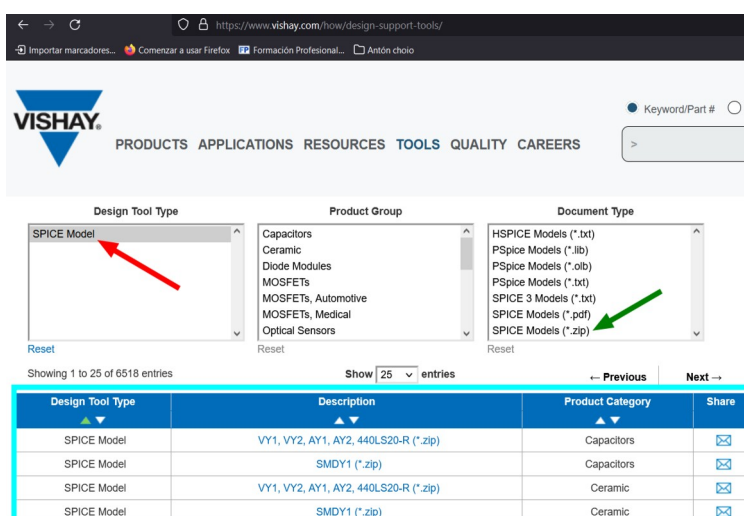


No panel de control existe unha lapela chamada **Sym. & Lib. Search Paths** na que se poden engadir cartafoles á librería do programa. Para facelo hai que engadir a ruta absoluta dos cartafoles que se desexa engadir, os cartafoles de modelos débense engadir no **cadro celeste** mentres que os cartafoles con símbolos engádense no **cadro verde**.



Os cartafoles de símbolos non será preciso engadilos cando se atopen dentro do cartafol **“sym”** xa que no menú engadir compoñentes (D ou F5) pódese navegar os cartafoles que se atopan dentro de sym. No caso dos modelos de compoñentes complexos será preciso engadir as rutas sempre, aínda que se atopen dentro do cartafol **“sub”**.

Por exemplo na [páxina web de Vishay](https://www.vishay.com/how/design-support-tools/), no apartado de ferramentas (TOOLS) pódense descargar modelos de moitos compoñentes. Para atopalos hai que buscar **modelos SPICE**, os que conteñen os símbolos veñen sempre en **ficheiros zip** onde se atopan os símbolo e as definicións dos compoñentes. Os modelos que cumpren os criterios seleccionados nos cadros de búsqueda poden verse no **cadro celeste**.

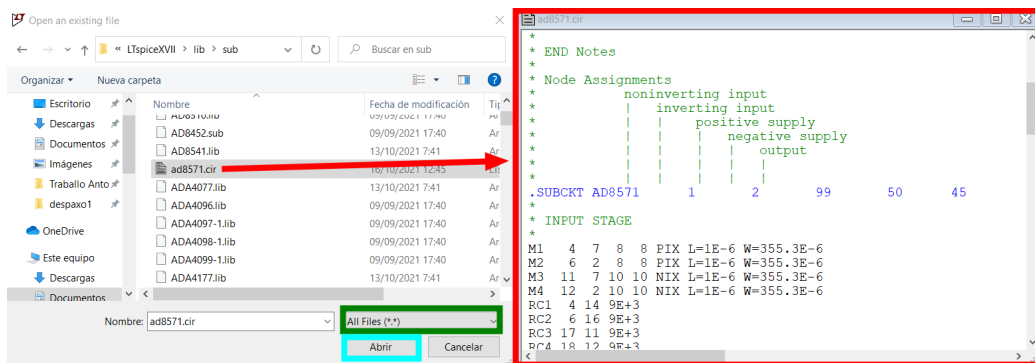


Outros fabricantes coma ANALOG DEVICES tamén proporcionan modelos SPICE dos seus dispositivos na súa [páxina web](https://www.analog.com/).

3.3. ENGADIDO DE COMPOÑENTES COMPLEXOS SEN SÍMBOLO

En ocasións o fabricante so nos proporcionará o ficheiro de texto co modelo. En este caso deberase engadir este ficheiro ao cartafol **“sub”**, ou a calquera outro que se teña engadido na lapela chamada **Sym. & Lib. Search Paths** do **Panel de control**. Feito iso haberá que crear un símbolo para o compoñente, existen dúas opcións: modificar un símbolo existente ou xerar un símbolo automaticamente. A continuación explicaranse ambos procesos empregando como exemplo o [modelo do amplificador AD8571](#) proporcionado por ANALOG DEVICES, o ficheiro que contén a información chámase **“ad8571.cir”**.

En ambos casos o primeiro será copiar o ficheiro **“ad8571.cir”** ao cartafol **“sub”** e abri-lo para ver a información que contén. Para abri-lo haberá que empregar o botón , seleccionar na ventá que se abre **All Files no cadro verde** para que amose todos os ficheiros e navegar polos cartafoles do sistema ate o cartafol **“sub”**, unha vez atopado o ficheiro prémese en **Abrir** e ábrese unha **ventá na que se pode ver o contido**.

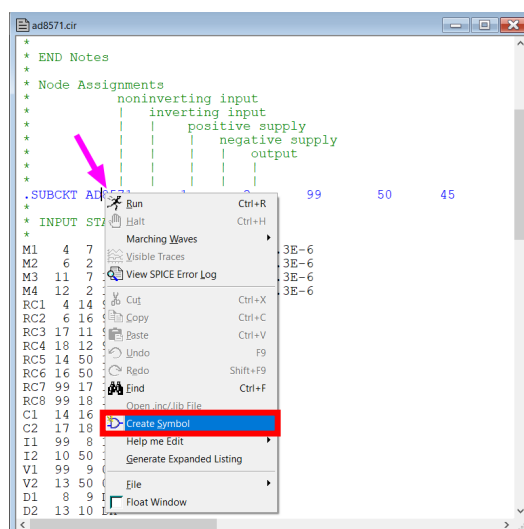


3.3.1. XERACIÓN AUTOMÁTICA DE SÍMBOLOS

Para crear un símbolo de xeito automático hai que premer co botón dereito sobre o **nome do compoñente** que se declara mediante a directiva **“.SUBCKT”**, neste caso **“AD8571”**, e seleccionar a opción **Create Symbol** no memú contextual.

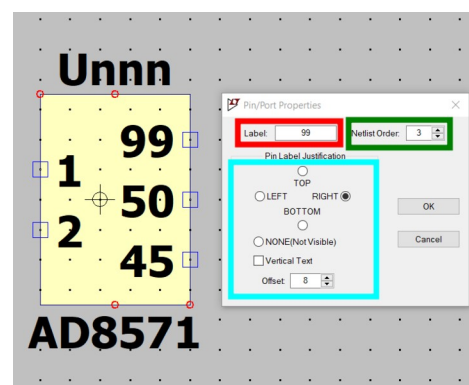
Ao facelo abrírase o editor de símbolos cun símbolo rectangular cos terminais correspondentes aos nodos declarados na a directiva **“.SUBCKT”**, despois do nome, en este caso chamados 1, 2, 99, 50 e 45.

No editor de símbolos poderase face as modificacións engadindo debuxos ou textos como se explica no apartado 1.8 de este manual .



Ademais, no editor de símbolos pódese modificar os nomes asociados aos diferentes terminais do compoñente, así coma a posición na que aparecen. Para mover un terminal empregase o botón (Atallo “F7”) e móvese o terminal premendo co botón esquerdo do rato sobre o cadro azul que identifica o terminal do mesmo xeito que se facía cos compoñentes nun esquemático. Para modificar a etiqueta de un terminal ou o nodo do modelo ao que está conectado haberá que abrir o menú de propiedades do terminal, para abrílo hai que premer co botón dereito do rato sobre o cadro azul que identifica o terminal. A ventá de propiedades do terminal pode verse na figura á dereita, en ela pódese configurar:

- x A etiqueta de texto que identifica ao terminal no **cadro vermello**.
- x A posición da etiqueta de texto que identifica ao terminal no **cadro celeste**.
- x O nodo do modelo ao que vai conectado o terminal no **cadro verde**. O nodo identifícase por un número que coincide coa posición do nodo na definición do compoñente na directiva **“.SUBCKT”** despois do nome. Neste exemplo trátase do nodo 99 que ocupa a terceira posición.



Rematada a edición do símbolo poderase empregar o compoñente sen máis que buscar o seu símbolo no menú engadir compoñentes (D ou F5) normalmente.

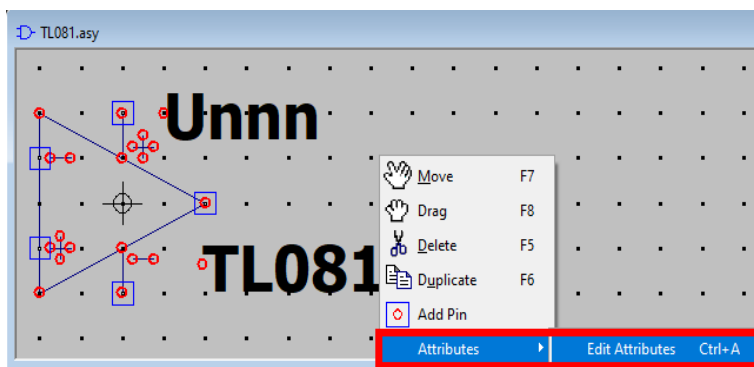
Se se coñece un compoñente cun símbolo que resulte axeitado para o compoñente que se está engadindo é posible facer unha copia do seu símbolo, editala segundo corresponda e asocia-la ao modelo engadido. Para o caso do exemplo, como o compoñente **TL081** é un amplificador operacional buscarase un símbolo de amplificador operacional. Ao observar a definición do compoñente vese que nos comentarios enriba da directiva identifícase os cinco terminais do compoñente de xeito que o primeiro corresponde á entrada non inversora, o segundo á entrada inversora, o terceiro á alimentación positiva, o cuarto á alimentación negativa e o quinto á saída.

Para buscar o símbolo axeitado o mellor é empregar o menú engadir compoñentes ( ou F5) para localizar o símbolo na libaría e despois abrílo co botón . Un símbolo axeitado pode ser o do **UniversalOpamp** que se atopa no cartafol “**sym/OpAmps**”. Para abrílo na ventá que se abre co botón  é importante seleccionar no **cadro verde** “**Symbols(*.asy)**” ou “**All Files(*.*)**” para que aparezan os símbolos.

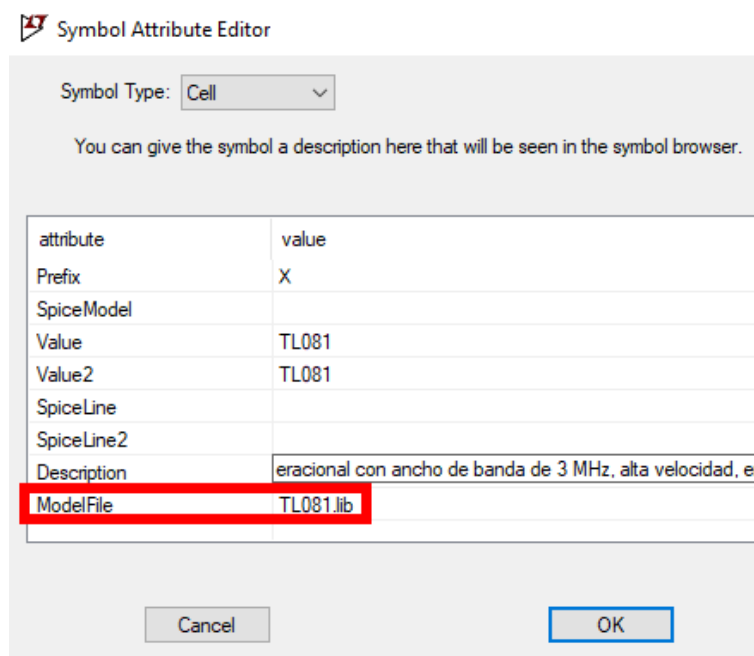


En este caso abrir o símbolo pódese comprobar que a asignación dos terminais coincide polo que non será preciso modificar a asignación de ningún dos terminais. O que si haberá que modificar é a etiqueta para que se corresponda co nome do noso compoñente **TL081**. Ademais é moi importante gravalo empregando a opción **“Save As...”** do menú **“File”** para gardar o novo símbolo cun novo nome e non modificar o símbolo que tomamos como padrón.

Unha última operación moi importante é asociar este novo símbolo ao modelo, para iso cómpre abrir os atributos do símbolo premendo o botón dereito do rato fora do compoñente, no menú contextual que se abre hai que usar a opción **Attributes>Edit Attributes** (Atallo “Ctrl+A”).



No editor de atributos hai que especificar o ficheiro que contén o modelo no campo **ModelFile**. É preciso que o ficheiro se atope no cartafol **“sub”** ou en calquera outro que se teña engadido na lapela **Sym. & Lib. Search Paths** do **Panel de control** xa que se non producírase un erro ao tratar de correr as simulacións. O resto dos campos non é necesario modificalos para que as simulacións funcionen. Con todo, é convinte poñer valores axeitados nos campos Value e Description.



Rematada a edición do símbolo poderase empregar o compoñente normalmente a través do menú engadir compoñentes (D ou F5).