

FFI Labs

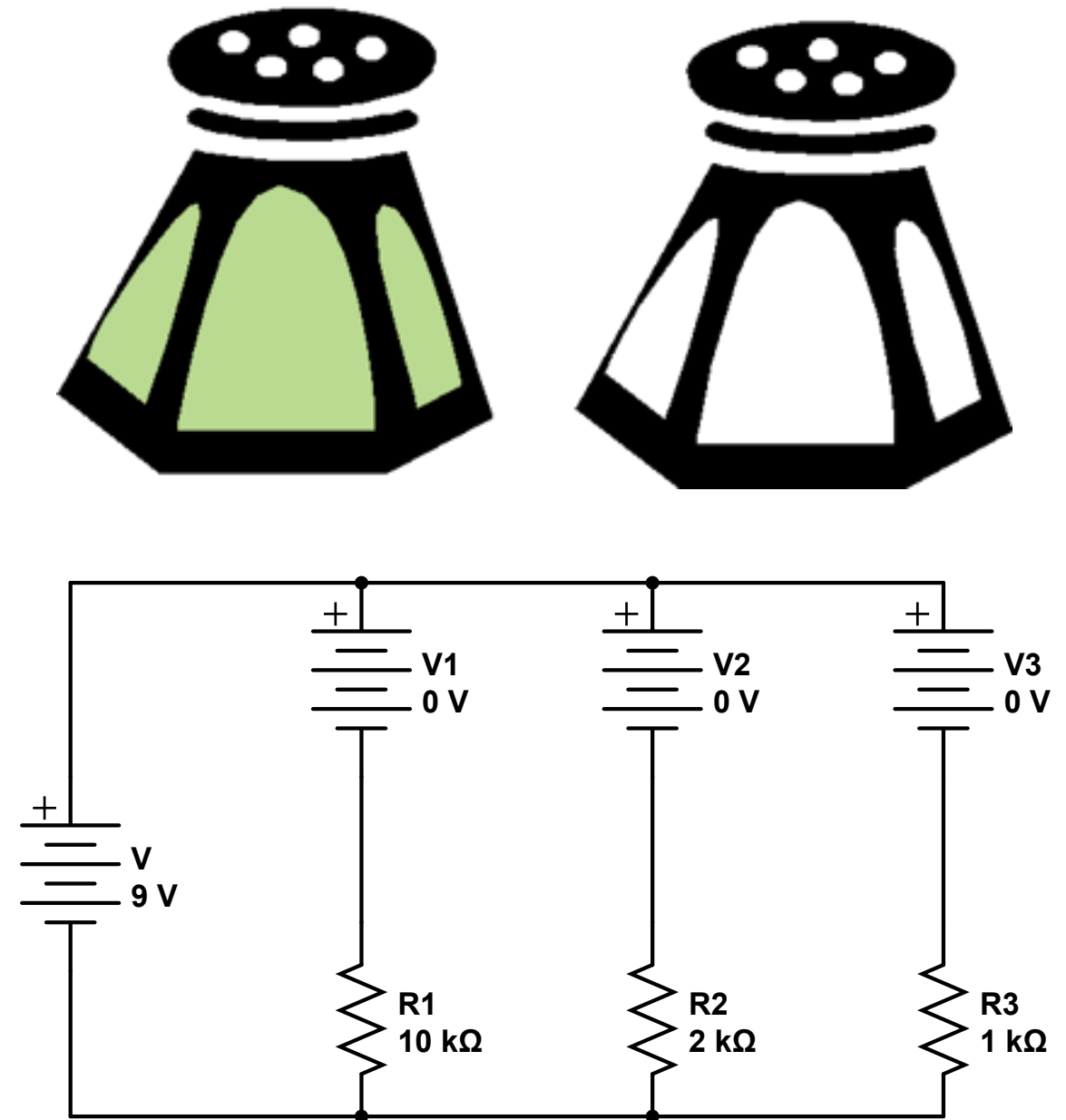


BENJAMIN FRANKLIN DRAWING ELECTRICITY FROM THE SKY

AUTOR: BENJAMIN WEST

El estándar SPICE

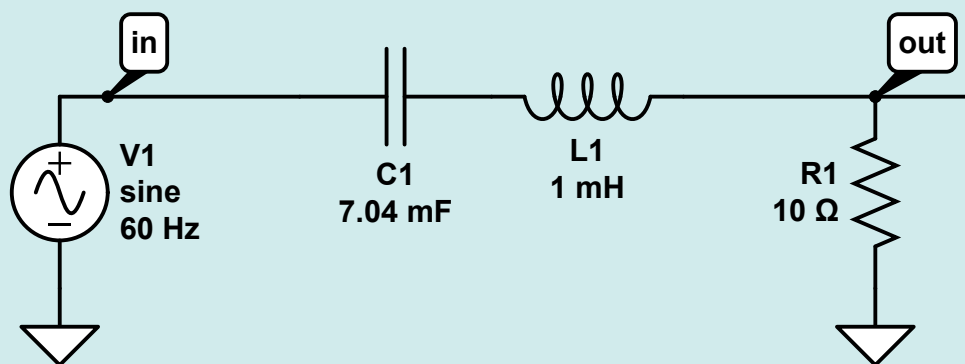
SPICE es una forma elegante y sencilla de codificar circuitos eléctricos de manera que puedan ser procesados por un ordenador. Mediante un sencillo lenguaje podemos definir resistencias, fuentes de alimentación, etc., las conexiones entre ellos y los resultados que deseamos obtener.



Spice y los netlists

LA MAGIA DE LAS ESPECIAS

- Elementos de un netlist
 - Componentes eléctricos (resistencias, condensadores, fuentes, etc.)
 - Puntos de unión
 - Comentarios
 - Unidades
 - Valores iniciales
- Simulaciones



SPICE es una abreviación de *Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis*. Se trata básicamente de un método estándar para describir circuitos usando texto plano en lugar de una representación gráfica (o *esquemática*). A esta descripción en texto se la llama también **netlist** y básicamente se corresponde con la lista de los componentes del circuito y cómo estos están conectados entre sí, es decir, de los nodos de unión.

Los ficheros netlist pueden tener extensiones `.cir`, `.net` o `.sp` y es muy común encontrárselos con cualquiera de estas.



`circuito.cir`



`circuito.sp`



`circuito.net`

Existen en el mercado muchas variantes –intérpretes– de Spice, aunque el original fue descrito en la Universidad de Berkeley. En la lista de intérpretes de Spice tenemos desde esfuerzos y proyectos comerciales hasta *opensource* y regidos por distintas comunidades de usuarios y programadores.

Pregunta: ¿Qué comparación puedes efectuar entre C y Spice como estándares (lenguajes) y sus respectivas implementaciones en software? ¿Qué implementaciones reales (compiladores) del lenguaje C conoces?

Elementos de un netlist

Como acabamos de comentar, un netlist se corresponde con la codificación de los elementos electrónicos de un circuito y las uniones entre los mismos. Veamos con más concreción qué partes y secciones lo componen.

Comentarios

La primera línea de un netlist se corresponderá siempre con un comentario. A partir de esta línea se pueden introducir más comentarios pero tienen que ir siempre precedidos de un “*”. Ejemplo:

```
Mi primer circuito
* Otro comentario
* más comentarios
```

Elementos típicos de un circuito

Los elementos de un netlist son los mismos que encontramos en cualquier circuito eléctrico sencillo, tales como resistencias, **condensadores**, **bobinas**, **interruptores**, **hilos** y **fuentes** de alimentación. Para distinguir uno de otro, se reserva una letra característica: **V** para fuentes de alimentación, **R** para resistencias, **C** para condensadores y **L** para bobinas.

También es posible usar estas letras en su versión en minúscula (**r**, **v**, **c**, **l**).

Después de esta letra característica se puede sufijar cualquier texto para diferenciar un elemento de otro (números, letras, palabras, etc.). Ejemplo:

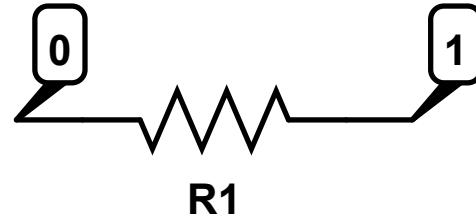
```
* Una resistencia
R1
* Otra resistencia
R2
* Fuente de alimentación
V
* Un condensador
Cprincipal
```

Conexiones de los elementos (nodos y cables)

A continuación de indicar el elemento eléctrico, tenemos que informar a Spice cuáles son los puntos de unión tanto a un lado como al otro del elemento. Así es como Spice sabe qué está conectado a qué: porque comparten un **punto** (o **nodo**, aunque este término se reserva sobretudo a uniones de más de dos elementos) que hemos señalado correctamente. Para nombrar nodos, lo mejor es emplear una numeración secuencial: 0...n. **La enumeración de los puntos de unión es completamente a nuestro criterio.**

- * Una resistencia
- * entre cables 0 y 1

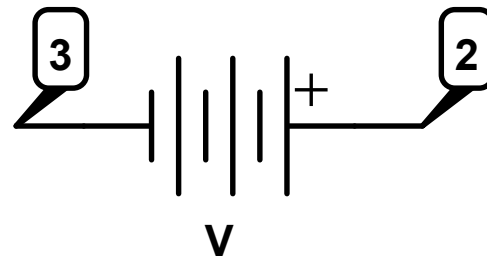
```
R1 0 1
```



Sólo es necesario seguir una criterio: en el caso de una fuente de alimentación, el nodo que pondremos primero será aquel que está más cerca del *borne* positivo.

- * Para una fuente
- * indicamos conexión
- * a nodo positivo lo

```
v 2 3
```



Unidades

Las unidades de las magnitudes características del circuito son siempre unidades del sistema internacional y no es necesario indicarlo explícitamente en el netlist.

La forma de especificar múltiplos de estas cantidades es añadiendo una letra. Básicamente las que nos interesan y las que suelen aparecer mayoritariamente son k para “kilo-”, m para “mili?” y u para “micro?”. En el caso de las fuentes de alimentación hemos de especificar si se trata de corriente continua (dc) o alterna (ac).

- * Una resistencia de 5 Ohmios

```
R2 1 0 5
```

- * Una pila de 10 Voltios (continua)

```
V1 1 0 dc 10
```

- * Una resistencia de 5 kΩ

```
RX 2 4 5k
```

Pregunta: ¿Qué unidades del Sistema Internacional relacionadas con la asignatura –y los circuitos en general– conoces?

Valores iniciales

Aparecen justo al final de la definición del componente. Suelen aplicarse principalmente con condensadores.

- * Una condensador inicialmente no cargado

```
c 1 0 1u ic=0
```

Fin del circuito

El fin de la descripción de un netlist se especifica mediante el comando `.end.`

```
* Mi primer circuito
* V 1 0 dc 10
* R 1 0 5
* * Fin del circuito
* .end
```

Comandos Spice para circuitos en corriente continua

Además de la descripción del circuito, hemos de indicar al intérprete de Spice qué tipo de análisis queremos realizar en sobre el mismo y cómo queremos presentar la salida de la simulación. Los comandos en Spice empiezan por un “.” y suelen escribirse justo al final del circuito, pero antes del comando `.end`.

```
* Mi primer circuito
* Aquí van los componentes
* R 1 0 6k
...
* Comandos
.op
...
* Fin del circuito
* .end
```

Pregunta: Hasta lo que has visto del lenguaje SPICE, ¿dentro de qué tipo o conjunto de lenguajes encajaría? ¿Funcionales? ¿Específicos de dominio? ¿Procedurales? ¿Estructurados? ¿Orientado a Objetos? ¿Funcionales? Justifica tu respuesta

En principio, Spice define también unos comandos para presentar datos en un varios formatos, pero el intérprete de Spice que vamos a utilizar (LTSpice) en este laboratorio se ocupa de manera automática (sin necesidad de que se lo pidamos explícitamente) de esta presentación de resultados.

Veamos los principales comandos de simulación:

`.op` es el comando más sencillo que podemos empear en. Devuelve el voltaje e intensidad en cada ramal y componente del circuito. Este comando no necesita parámetros.

`.dc` es uy parecido al comando `.op` pero nos permite cambiar el valor del voltaje de una fuente de alimentación en pasos consecutivos entre el valor A y el valor B. En el caso de que la fuente tuviera asignada ya un valor para su voltaje, este sería ignorado. Ejemplo:

```
* Variamos el valor del voltaje
* de la fuente "v" de 1 a 1000
* en pasos de 5 voltios
v 1 0
.dc v 1 1000 5
v2a 2 4 dc 9
* Igual para v2a. Se ignora su voltaje de 9V
.dc v2a 2 20 2
```

En el caso de LTSpice, cuando encuentra una orden `.dc`, genera una gráfica directamente sin necesidad de solicitarla mediante el comando `.plot`, que veremos a continuación.

.tran Realiza un análisis en el tiempo de los parámetros del circuito. Si no se emplea la directiva `UIC`, este análisis se realiza desde el punto estable de funcionamiento del circuito hasta un tiempo `tfinal`. y en intervalos `tstep`. Si empleamos el parámetro `UIC` (*Use Initial Conditions*), entonces se hará uso de las condiciones iniciales definidas para cada componente (típicamente `ic=X` en el caso de los condensadores).

```
* Hacemos avanzar el tiempo entre
* tinicial y tfinal en pasos tstep
.tran tstep tfinal [tinicial] [UIC]
* Lo más normal es que sólo indiquemos tfinal
.tran 2
```

En el caso de LTSpice, al procesar un comando `.trans`, se nos genera automáticamente una gráfica de manera automática.

En otros entornos Spice tenemos que solicitar la gráfica explícitamente mediante el comando `.plot`.

LTSpice

CONTENIDO

1. LTSpice como intérprete SPICE
2. LTSpice como software de diseño de circuitos



LTSpice es un intérprete de Spice de libre distribución (aunque no de código abierto) realizado por la empresa de componentes electrónicos Linear.

Instalación de LTSpice

Instalar LTSpice es muy sencillo tanto para su versión Windows como Mac OS X. En el caso de Linux también puede ejecutarse perfectamente gracias a Wine (<http://winehq.org>). Infórmate sobre cómo se instala Wine en tu sistema/distribución Linux.



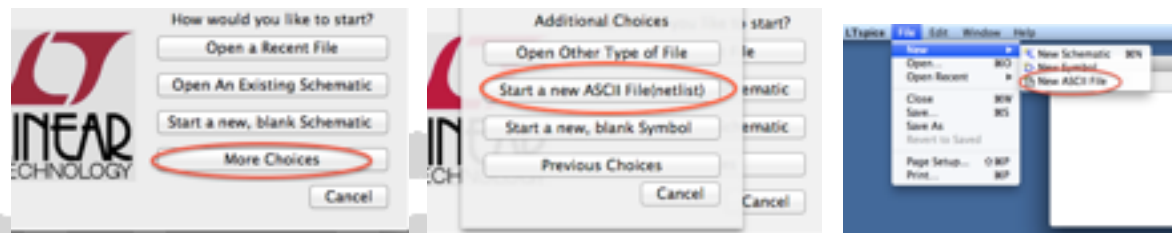
LTspiceIV.exe LTspiceIV.dmg winehq.org

Las versiones de Mac y Windows son un poco diferentes en funcionamiento, interfaz y opciones, pero en esencia son el mismo software. Iremos comentando estas diferencias a lo largo de la práctica.

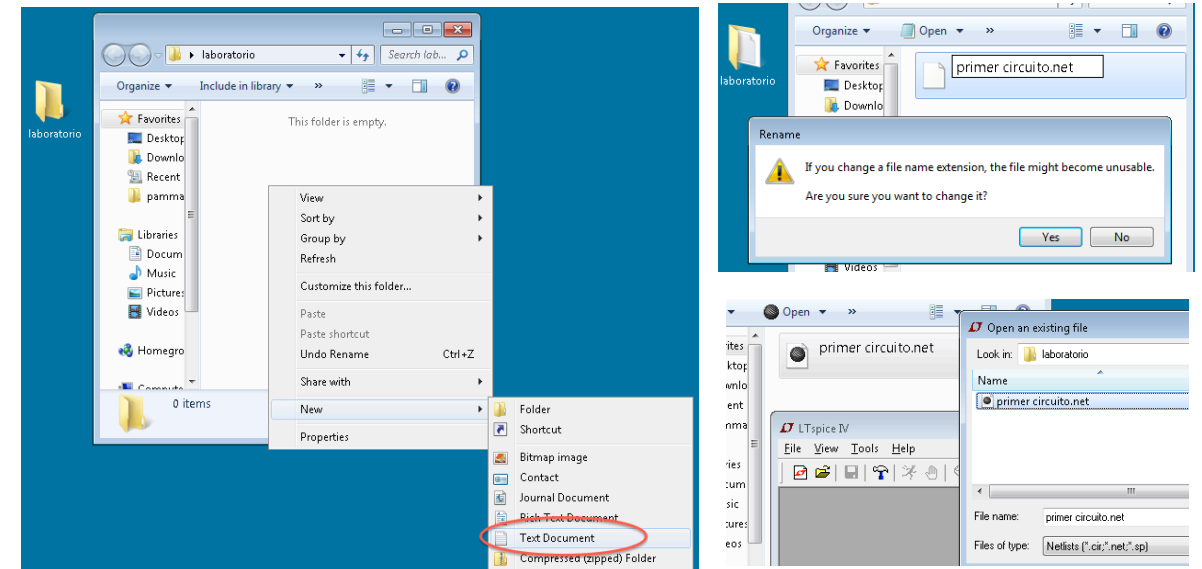
El intérprete Spice de LTSpice

LTSpice es tanto un intérprete de Spice como un programa que nos permite diseñar circuitos de manera gráfica, sin embargo, vamos a reservar esta parte para más adelante. Por ahora vamos a hacer uso únicamente de su cerebro simulador y le vamos a facilitar como input ficheros netlist creados por nosotros.

En el próximo ejemplo vamos a simular un circuito en corriente continua pero al que le vamos a aumentar el valor de la fuente de alimentación desde 0 a 1000 voltios en pasos consecutivos de 5 voltios. Lo primero que tenemos que hacer es importar el archivo en el que hayamos escrito el código netlist de este circuito en el LTSpice. En la versión de Windows de LTSpice no podemos iniciar el **editor de netlist** (que no es otra cosa que un sencillo editor de texto), pero sí podemos abrir un circuito creado con cualquier otro editor de texto, incluso un documento vacío pero con la extensión apropiada. Sin embargo, en la **versión de Mac OS X** sí podemos crear un fichero vacío de texto donde empezaremos a definir nuestro netlist.



En la versión de Windows podemos hacer también uso del menú contextual del explorador.



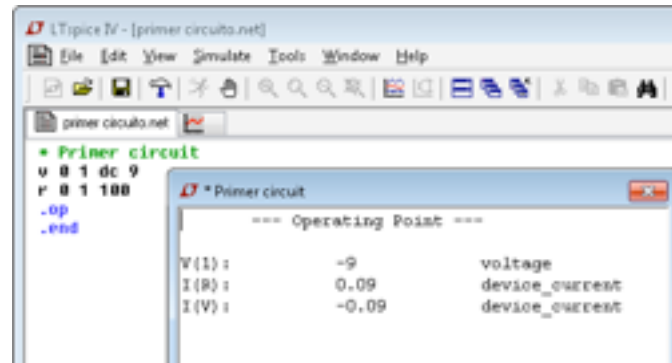
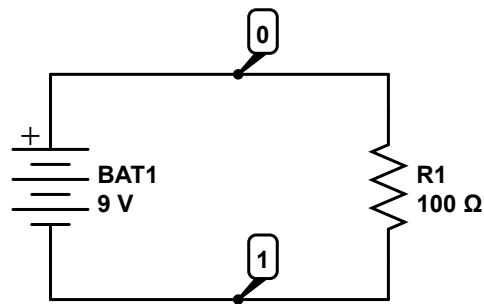
Una vez creado o abierto el fichero netlist, LTSpice reconocerá el formato y aplicará inmediatamente la sintaxis de color apropiada.


Pregunta: ¿Cómo consigue LTSpice realizar una sintaxis de color apropiada? ¿Cómo se llama al proceso que realiza la identificación correcta de los distintos componentes de un lenguaje de programación?

Primera simulación: ley de Ohm

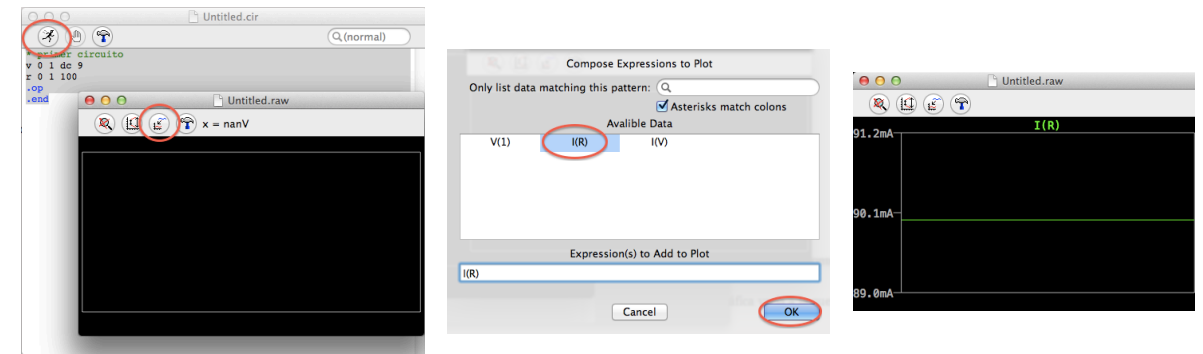
Vamos empezar con una simulación sencilla que va a consistir en la aplicación directa de la Ley de Ohm. Para ello, crea la re-

presentación netlist de este sencillísimo circuito:

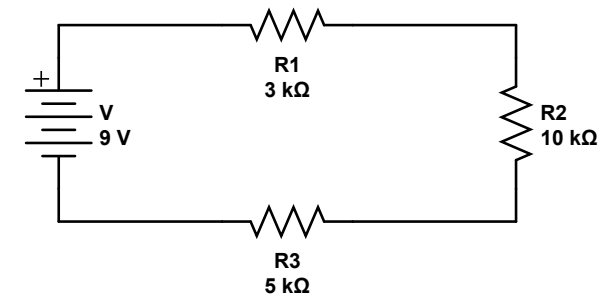


Para lanzar la simulación tan sólo tenemos que pulsar el botón . En el caso de la versión de Windows veremos una ventana donde podremos ver los resultados en modo texto, pero en el caso de la versión de Mac OS X, tendremos que usar la vista de gráfica (que también se abrirá automáticamente y es igual de informativa que la vista de texto). Si el resultado es una única cifra numérica (intensidad en una resistencia, voltaje en un nodo, etc.) veremos una línea recta de pendiente nula y con una ordenada en origen correspondiente al valor que busquemos.

Además, en el visor gráfico es necesario indicar manualmente qué gráficas queremos ver. Por ejemplo, supongamos que queremos ver la intensidad de que circula por la resistencia de sencillo circuito que estamos trabajando. En LTSpice seguiríamos los pasos marcados en la figura:



Básicamente tenemos que añadir nuevas “trazas” a la gráfica y elegir aquella que nos interese en cada momento. LTSpice nos presentará aquellas para las que ha calculado valores.



Segunda simulación: ley de Ohm para valores discretos y crecientes del voltaje (*dc sweep*)

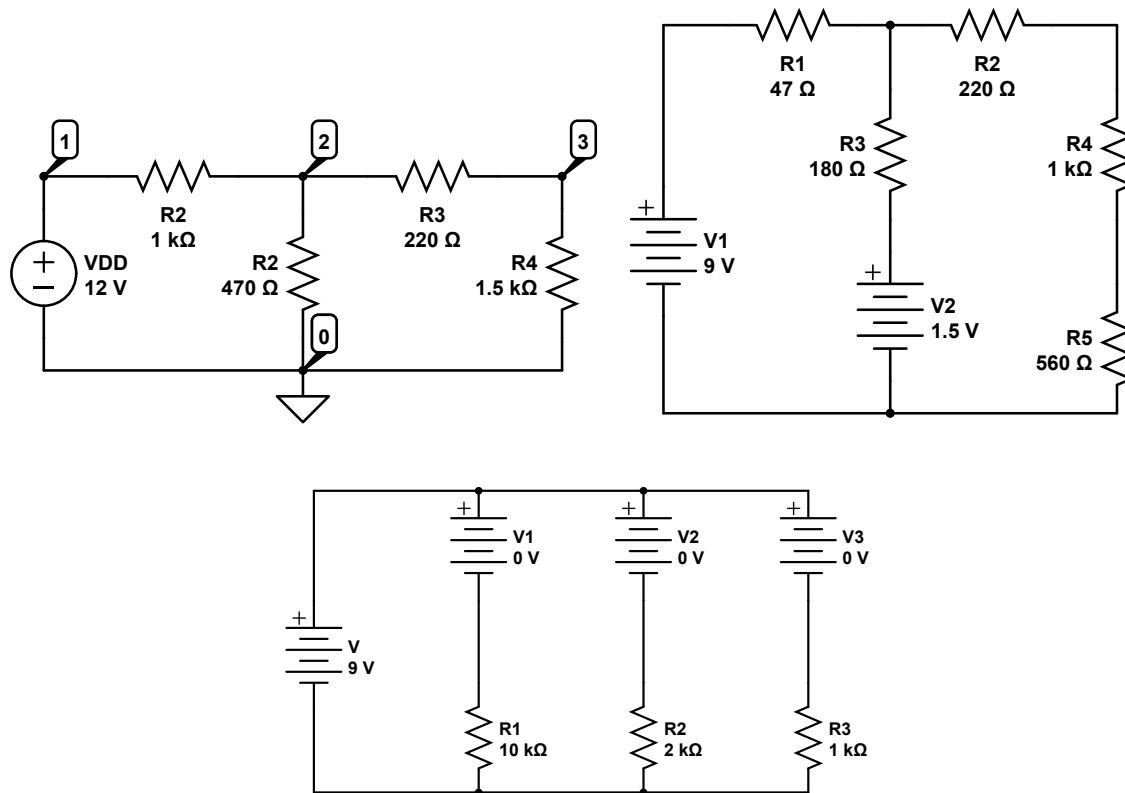
Utiliza el comando apropiado de Spice para obtener varios valores consecutivos de la intensidad que circula por la resistencia del circuito anterior. Representalos gráficamente.

Simulación: Resistencias en serie

Obtén el netlist de este circuito y la haya la caída de tensión entre los bornes de la resistencia R2.

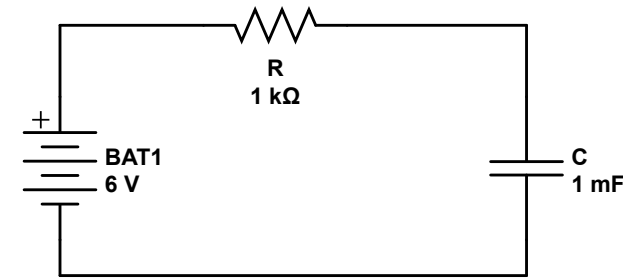
Simulación: Resistencias en paralelo

Crea el fichero netlist de los siguientes circuito (se han señalado los puntos de unión en el primero a efectos de ayuda). Obtén las intensidades y corrientes en cada malla y resistencia.



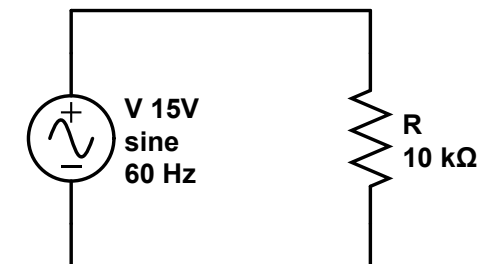
Simulación: obtén la curva de carga de un condensador

Obtén el netlist de este circuito y, tras simularlo, haya el momento (en segundos) que tarda el condensador en cargarse completamente. Pista: tienes que emplear un análisis en el tiempo del circuito (.trans). Asume que la corriente inicial ($t=0$) que pasa por el condensador es nula.



Simulación: circuito sencillo en corriente alterna

Realiza a continuación una sencilla simulación de un circuito con fem sinusoidal. La simulación consistirá en un análisis en el tiempo de la intensidad de corriente presente en cada instante en la resistencia entre 0 y 30 milisegundos. ¿Se hace nula en algún momento? Si es así, ¿en qué momentos es nula?

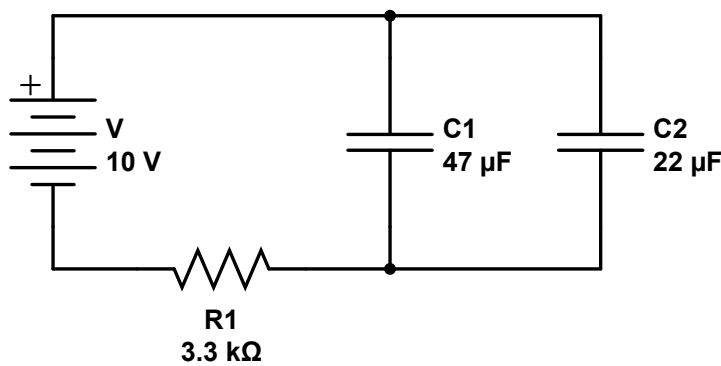


Para definir en el netlist una fuente alterna ideal que siga una función periódica determinada, tenemos que sustituir el argumento dc por: `función(voffset amplitud frecuencia retardo amortiguación fase)`.

Supón para el ejercicio que el offset (desplazamiento en origen), el retardo y fase son nulos.

Simulación: condensadores en paralelo en corriente continua

Realiza a continuación la descripción en netlist y simulación de este circuito que consiste en la asociación de condensadores en paralelo. ¿Qué rama se cortocircuita antes: la de C1 o C2? Asume que ambos condensadores no están cargados inicialmente.



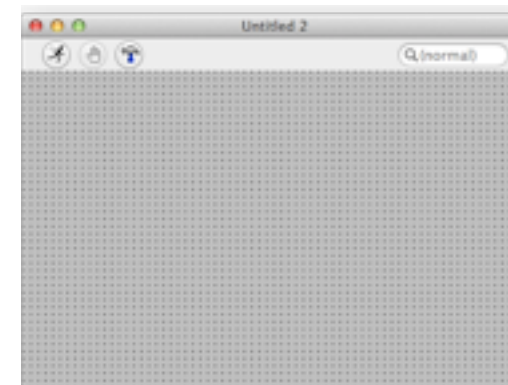
Herramienta CAD de LTSpice

Vamos a pasar ahora a diseñar nuestro primer circuito de manera gráfica con LTSpice. Es lo que se conoce como dibujar el *esquema* y básicamente se trata de un programa de dibujo vectorial.

Para crear un esquema, vamos al menú **File** y seleccionamos **New Schematic**. Aparecerá un lienzo vacío donde podremos comenzar a añadir elementos.

Las posibilidades y maneras de interactuar con este lienzo son muy variadas y quizás la mejor manera de aprender a manejarse en el mismo sea practicando. La idea del diseñador de LTSpice es que funcione como un programa de CAD típico donde primero se selecciona el comando con un atajo de teclado y luego el elemento sobre el que se quiere aplicar.

Los comandos principales que podemos usar el LTSpice son:



- F2 - Añadir elemento
- Espacio - Zoom completo
- F3 - Añadir cable
- F5 - Borrar
- F7 - Mover elemento
- F8 - Arrastrar elemento
- Cntl + R - rotar elemento

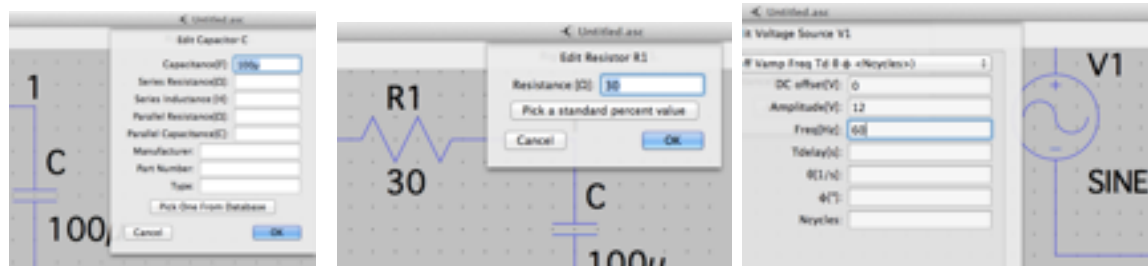
Podemos acceder a estos comandos desde el menú contextual

A la hora de añadir un elemento nuevo, lo mejor es buscarlos por su nombre en inglés:

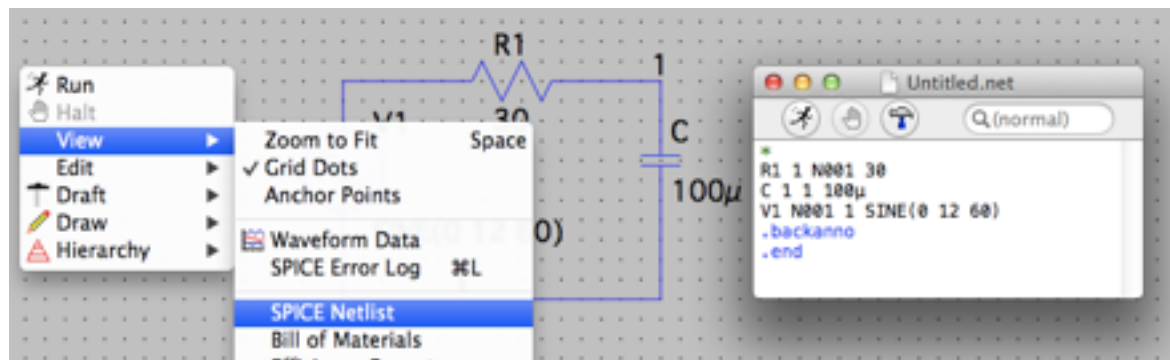


- Capacitor - Condensador
- Resistor - Resistencia
- Battery - Fuente CC
- Sin - Fuente AC sinusoidal
- Inductor - Bobina

Una vez añadido un elemento, podemos configurarlo pulsando el botón derecho del ratón. Los parámetros de configuración son los mismos que hemos ido trabajando mientras creábamos los netlists manualmente.

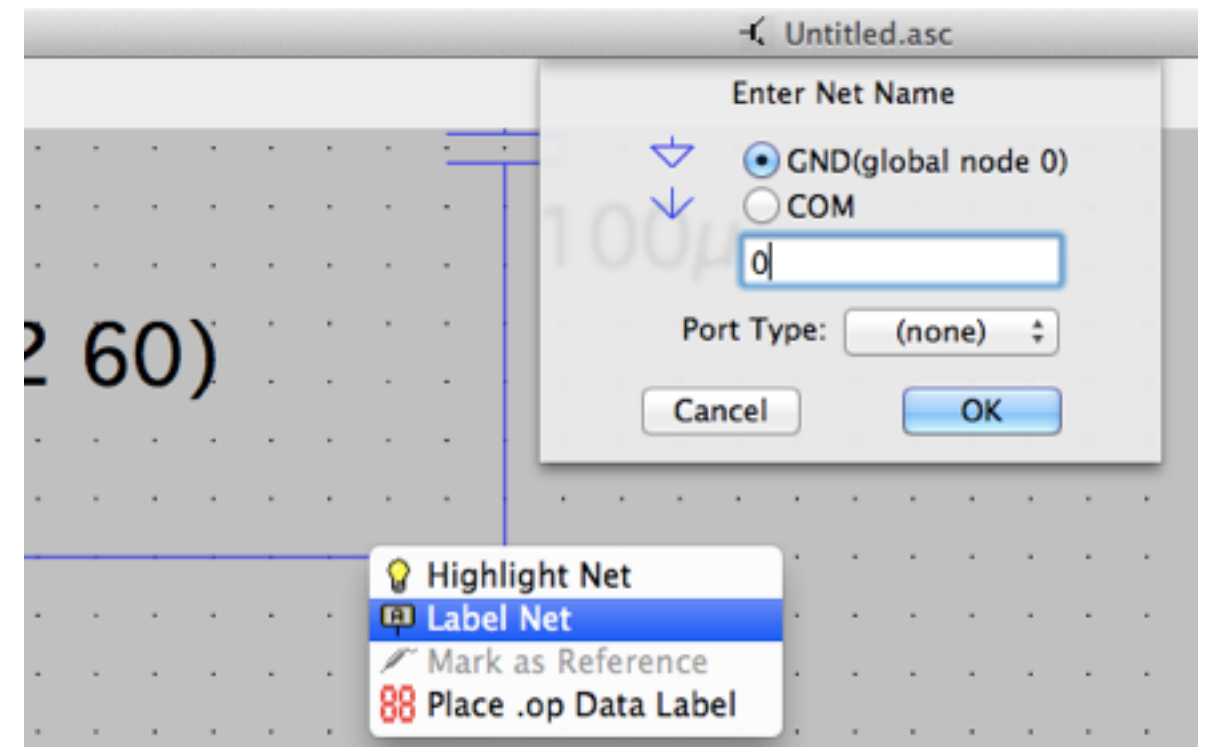


Podemos ver el netlist que LTSpice va generando de manera automática de un circuito en cualquier momento:

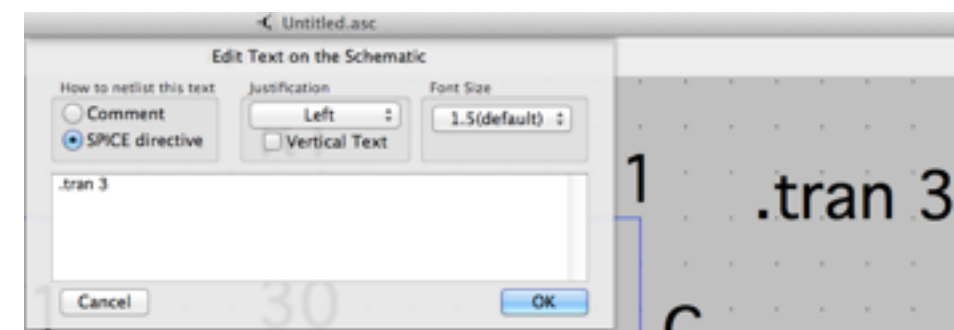


Cuando diseñamos un circuito de manera gráfica en LTSpice, tenemos que indicar cual es el nodo “0”. En LTSpice el nodo “0” es considerado como “tierra en el circuito” y origen de potenciales. Cuando empleábamos netlists, realizábamos esta operación sin darnos cuenta al empezar siempre a catalogar nodos por el número 0. Sin embargo, recordamos que el nombre de los nodos es completamente opcional (podríamos usar

letras, otros números o combinaciones de ambos si quisiéramos)







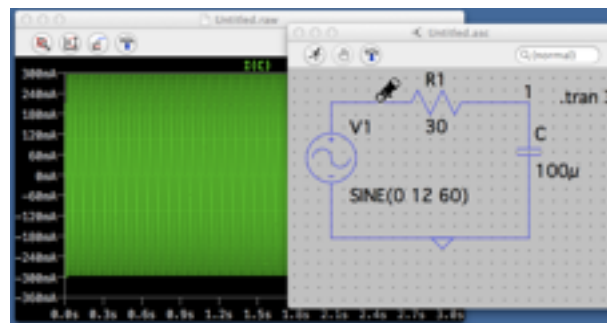
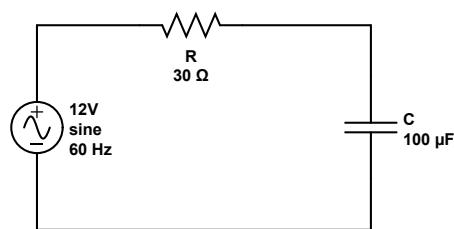
Para añadir comandos de análisis como los que venimos usando pulsamos la tecla “s” (*Spice Directive*). Se añadirá el texto al lienzo del circuito y podremos situarlo donde queramos y modificarlo pulsando el botón derecho del ratón (como con cualquier otro elemento del circuito).



Simulación: circuito sencillo en corriente alterna

Diseña el circuito de la figura que consiste básicamente en una fuente sinusoidal, una resistencia y un condensador. Representa gráficamente la evolución en el tiempo de la corriente que pasa por la resistencia del circuito en los 3 segundos iniciales.

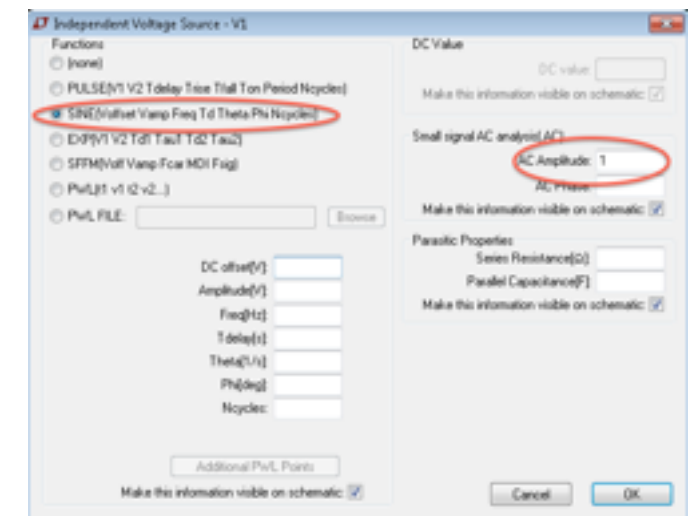
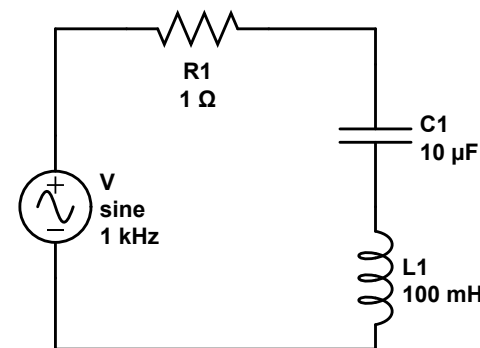
Recuerda que tienes primero que iniciar la simulación pulsando el botón  y añadir trazas mediante el botón . También se pueden añadir trazas mediante el ratón si nos aproximamos a un cable o elemento del circuito. En este caso aparecerán los cursores  y  que permiten añadir trazas de voltaje e intensidad de corriente sobre el elemento/cable elegido.



Simulación: frecuencia de resonancia de un circuito RLC

Diseña el circuito de la figura que consiste básicamente en una fuente sinusoidal, una resistencia, un condensador y una bobina. Se trata de un típico circuito RLC típico con una frecuencia de resonancia específica. Para esta frecuencia, la intensidad del circuito es máxima.

Para descubrir cuál es esta frecuencia, en principio deberíamos ir variando a mano la frecuencia de la fuente sinusoidal y ejecutando una nueva simulación en cada iteración. Sin embargo, en Spice contamos con el comando `.ac` que nos permite variar la frecuencia de una fuente de manera automática, consecutiva y en intervalos definidos.

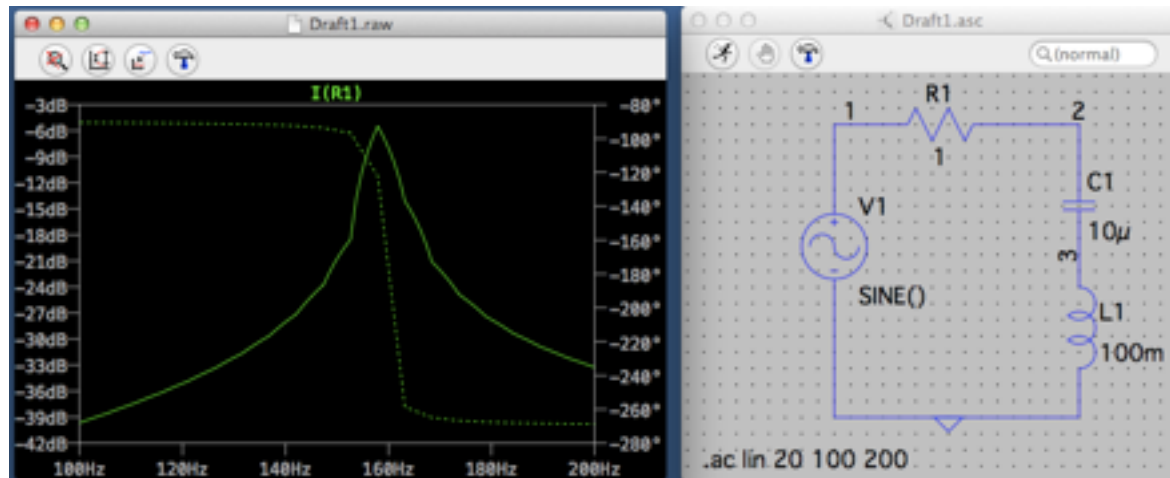


Para hacer este tipo de análisis, a la hora de definir la fuente sinusoidal tenemos que usar el apartado de análisis AC del cuadro de parámetros como indica la figura. A continuación hemos de añadir al circuito el comando de análisis:

```
.ac lin 20 100 200
```

Esta instrucción informa al intérprete de Spice que queremos variar la frecuencia desde 100 a 200 Hz en pasos de 20 Hz.

Ejecuta el análisis y representa el valor de la intensidad que circula por la resistencia. LTSpice graficará este valor en función de la frecuencia automáticamente porque es suficientemente inteligente para saber que se quiere hacer un análisis de frecuencia.



Filtro paso bajo

http://www.allaboutcircuits.com/vol_5/chpt_7/8.html

Más circuitos en paralelo

http://www.allaboutcircuits.com/vol_1/chpt_5/3.html

Resonancias

http://www.allaboutcircuits.com/vol_2/chpt_6/2.html

Presentation-LTSpiceIV.pdf

http://www.allaboutcircuits.com/vol_5/chpt_7/6.html