

Práctica 1. Spice e Instrumentación.

Documentación.

La **documentación** debe ser impresa y llevada el día que se asista al laboratorio. Esta documentación debe conservarse como material de la asignatura para el alumno y en ella se deben anotar las soluciones obtenidas (además de anotarlas en **las hojas de entrega previas y finales de práctica**) para que el alumno tenga una copia de los resultados obtenidos.

Primera parte de la práctica.

Consiste en el análisis del circuito mediante **simulación con el programa LTSpice**. Los resultados se recogerán en las hojas de entrega previas, las cuales se entregarán en el momento de acceder al laboratorio el día que esté señalado como corrección de esta práctica. Además, **deben subirse al campus virtual los ficheros de las simulaciones**, para ello se debe crear un directorio separado para cada nueva simulación, y todos estos directorios se comprimirán en un único archivo .ZIP que se subirá al Campus Virtual antes de entrar al laboratorio.

Segunda parte de la práctica.

Consiste en el **montaje experimental** del circuito. **Se realizará obligatoriamente en el laboratorio** y en el horario asignado a la práctica, si bien será necesario acudir previamente al laboratorio para ir practicando los montajes y recopilando resultados para que, el día de la corrección de la práctica, el montaje se haga de manera inmediata ya que estará practicado suficientemente por el alumno.

En el laboratorio se obtendrán las capturas de pantalla del osciloscopio que se han ido indicando en cada apartado. Como se ha indicado estas imágenes se habrán almacenado en el PenDrive insertado en el conector USB del Osciloscopio.

Estas imágenes deben renombrarse con el nombre CAPTURA_1, CAPTURA_2, CAPTURA_3, CAPTURA_4, CAPTURA_5, CAPTURA_6 respectivamente tal como se indica en cada apartado.

Finalmente se comprimirán todas ellas en un único fichero que será subido al Campus Virtual al final de la sesión de laboratorio.

Página intencionalmente en blanco

Parte 1. Tutorial de LTSpice.

Material Necesario

- Ordenador Personal
- Simulador LTSpice

Objetivos

- Conocer el manejo del simulador LTSpice, para usarlo como herramienta de análisis y diseño de circuitos electrónicos.

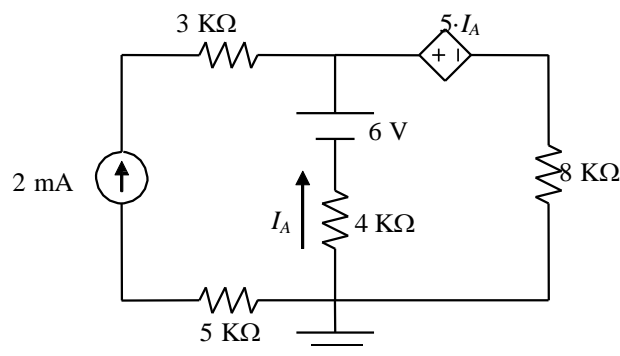
1.1. Introducción.

LTSpice es un programa que nos permite simular circuitos y obtener los valores de las tensiones e intensidades en las diferentes ramas y componentes del mismo, además de otras muchas cosas. El proceso para simular el circuito se compondrá de las siguientes partes:

- 1.- Captura del esquemático del circuito a simular. Se grabará en un fichero con extensión .ASC.
- 2.- Ejecución de la simulación. Se crea automáticamente un fichero de texto llamado "Netlist" (con extensión .NET) a partir del esquemático dibujado. En dicha "Netlist" se describen todos los dispositivos electrónicos usados en el circuito y la conexión entre ellos. Además, se crean otros ficheros con resultados (archivo .RAW) y un informe de la ejecución de la simulación (archivo .LOG).
- 3.- Visualización de los resultados de la simulación. Según el tipo de análisis realizado, estos resultados se podrán ver en forma de valores concretos de tensiones en los nudos e intensidades en los dispositivos, o bien se podrán representar gráficas de comportamiento de las distintas tensiones e intensidades del circuito en función del tiempo o de otras variables, como veremos.

1.2. Ejemplo de diseño básico: Cálculo del punto de operación.

Como ejemplo inicial dibujaremos el siguiente circuito en el LTSpice (ver Apéndice A, "Ejemplos LTSpice"):




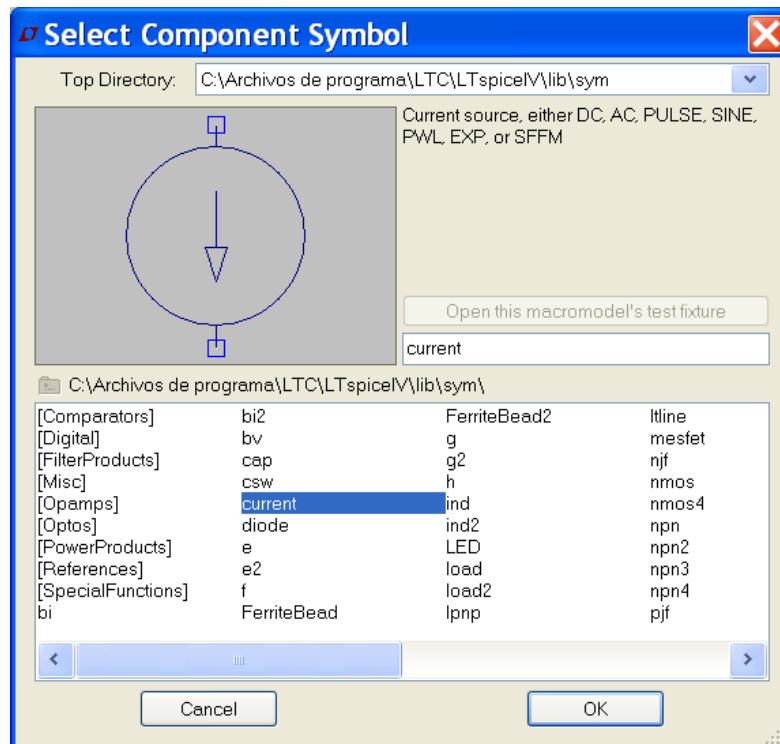
Dicho circuito posee una fuente de tensión controlada por intensidad, una fuente de tensión y otra de intensidad (ambas independientes) y diversas resistencias. A continuación aprenderemos a dibujar el circuito en el LTSpice, poniendo los valores de cada uno de los componentes de manera correcta.

1.2.1. Creación del esquemático.

Ejecutamos LTSpice, y seleccionamos “*File → New Schematic*”. En esta nueva hoja creada podremos empezar a dibujar nuestro circuito utilizando diversos componentes y cables.

1.2.2. Introducción de componentes.


En el Menú “*Edit*” disponemos de diversas opciones para introducir distintos elementos en nuestro circuito. Concretamente usaremos de manera habitual la opción “*Component*” para obtener cualquier tipo de dispositivo electrónico para nuestro circuito. Puede usarse también el icono asociado  de la barra de tareas. Se nos despliega una ventana como la siguiente:











En ella podemos escoger los componentes que usaremos para las prácticas de la asignatura.

Concretamente, usaremos los siguientes:

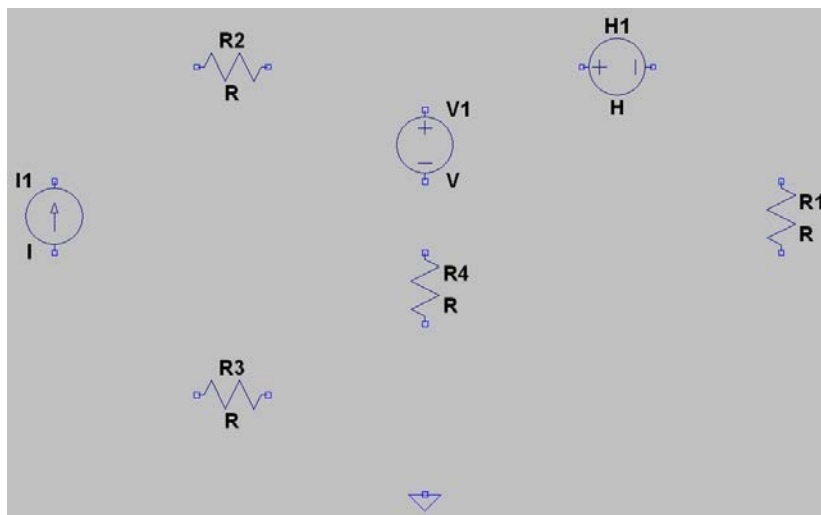
- *Current* → Fuente de Intensidad Independiente
- *Diode* → Diodo
- *E* → Fuente de Tensión controlada por Tensión
- *F* → Fuente de Intensidad controlada por Intensidad
- *G* → Fuente de Intensidad controlada por Tensión
- *H* → Fuente de Tensión controlada por Intensidad
- *NMOS* → Transistor MOSFET de Canal N
- *NPN* → Transistor Bipolar de tipo NPN
- *PMOS* → Transistor MOSFET de Canal P
- *RES* → Resistencia
- *Voltage* → Fuente de Tensión Independiente

Además de estos componentes, en los circuitos será necesario el uso del símbolo de tierra (GND), el cual obtendremos a través de “*Edit → Place GND*” o el botón .

Por tanto escogeremos todos los componentes necesarios y los iremos situando en nuestro circuito debidamente distanciados unos de otros para que el dibujo quede suficientemente espaciado. Algunas acciones típicas de edición que tendremos que realizar serán las siguientes:

- Rotar componentes (usando “Edit → Rotate” o el botón )
- Hacer un “espejo” a un componente (usando “Edit → Mirror” o el botón )
- Reducir/Aumentar el “Zoom” utilizando los botones    
- Borrar algún componente ya situado en la hoja de trabajo pulsando el botón “Supr” del teclado o mediante “Edit → Delete”, tras lo cual pinchamos sobre el elemento en cuestión
- Mover un componente (usando “Edit → Move” o el botón )
- Arrastar un componente y los cables conectados a él (usando “Edit → Drag” o el botón )

Finalmente, los componentes de nuestro ejemplo quedarían de la siguiente forma. Se observa que todos poseen una numeración (las resistencias R1, R2, etc., la fuentes de tensión V1, etc., las de intensidad I1, etc.), siendo ésta necesaria para distinguir un componente de otro en la *Netlist* que se creará a la hora de simular el circuito. Hay que respetar que todas las referencias de las resistencias comiencen por “R”, las de las fuentes de tensión por “V” y las de las fuentes de intensidad por “I” para que funcione la simulación posteriormente.



1.2.3. Valores de los componentes habituales.

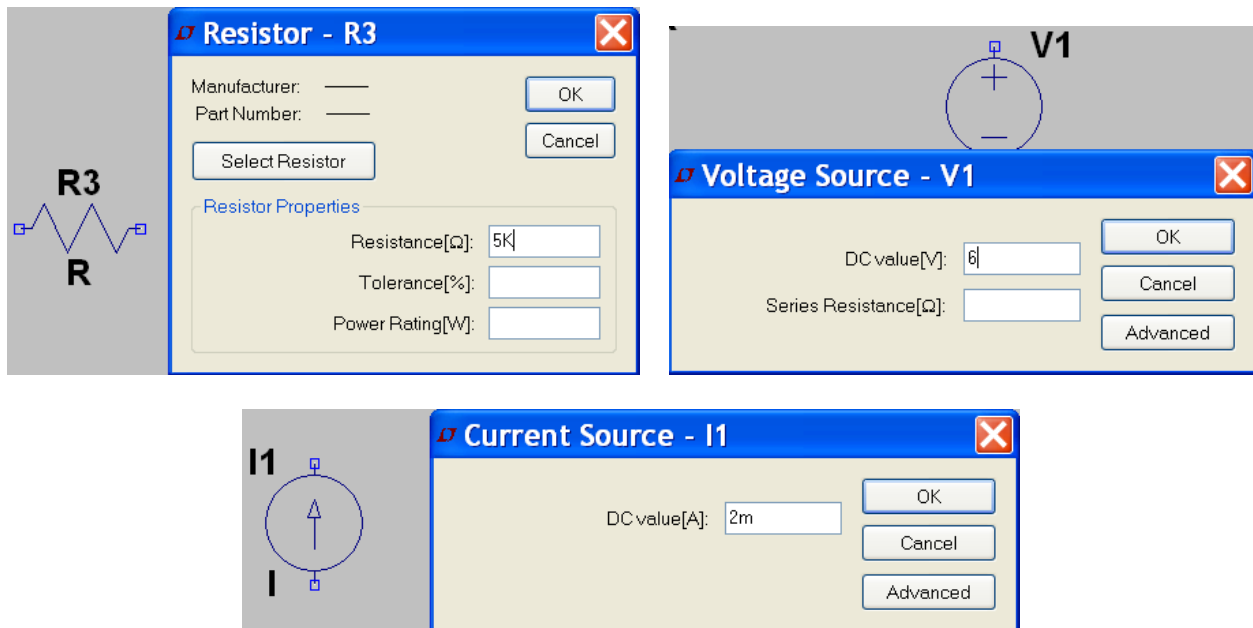
Cada componente debe recibir el valor necesario que tenga en el circuito. Hay que indicar que **LTSpice utiliza ciertas unidades por defecto** para medir cada uno de ellos:

- Resistencia: Ohmios (Ω)
- Intensidad: Amperios (A)
- Tensión: Voltios (V)
- Tiempo: Segundos (s)
- Frecuencia: Hertzios (Hz)

Por tanto, si la unidad a utilizar difiere de la que toma LTSpice por defecto habrá que utilizar ciertos **prefijos** para indicar que se aumenta o se disminuye dicho valor por defecto. Concretamente, utilizaremos la siguiente notación para nuestras unidades habituales:

- Resistencia: Kilo-Ohmios ($K = 10^3$). **Ejemplo: $2K = 2000 \Omega$**
- Intensidad: mili-Amperios ($m = 10^{-3}$). **Ejemplo: $5m = 0,005 \text{ Amperios}$**
- Tiempo: microsegundo ($\mu = 10^{-6}$); nanosegundo ($n = 10^{-9}$); picosegundo ($p = 10^{-12}$).
Ejemplo: $10 n = 0,000000010 s$

Teniendo esto en cuenta, hay que darle a cada elemento su valor correspondiente, para lo cual pincharemos con el botón derecho del ratón sobre el dibujo del componente y teclearemos su valor, como vemos en los siguientes ejemplos:



El caso de la fuente de tensión controlada por intensidad es algo especial, ya que hay que especificar dos valores: quién controla a esa fuente y el factor de ganancia, por lo que lo tratamos aparte.

1.2.4. Valores de las fuentes controladas.

Dependiendo del tipo de fuente controlada que se tenga, será necesario actuar de una manera o de otra. Recordamos que hay 4 tipos de fuentes controladas:

- $E \rightarrow$ Fuente de Tensión controlada por Tensión
- $F \rightarrow$ Fuente de Intensidad controlada por Intensidad
- $G \rightarrow$ Fuente de Intensidad controlada por Tensión
- $H \rightarrow$ Fuente de Tensión controlada por Intensidad

En el caso de las fuentes controladas por tensión, el control de dicha fuente se realiza directamente desde la fuente llevando un par de cables hasta el sitio donde se sitúa el control de la misma, como se puede apreciar con más detalle en el Apéndice A, “Ejemplos LTSpice”, para las fuentes “E” y “G”. **En el caso de las fuentes controladas por intensidad hay que indicar a LTSpice que dicha intensidad la mida atravesando a una fuente de tensión independiente de manera que entre por el positivo de dicha fuente y salga por el negativo de la misma** (ver Apéndice A, “Ejemplos LTSpice”, para las fuentes “F” y “H”).

Además, hay que indicar el factor de ganancia que debe presentar dicha fuente, para lo cual se pueden presentar cuatro casos distintos:

- E (Fuente de Tensión controlada por Tensión) \rightarrow Al convertir de Voltios a Voltios el factor de ganancia se expresará con las mismas unidades que venga en el ejercicio.
- F (Fuente de Intensidad controlada por Intensidad) \rightarrow Al convertir de mili-Amperios a mili-Amperios el factor de ganancia se expresará con las mismas unidades que venga en el ejercicio.
- G (Fuente de Intensidad controlada por Tensión) \rightarrow Al convertir de Voltios a mili-Amperios

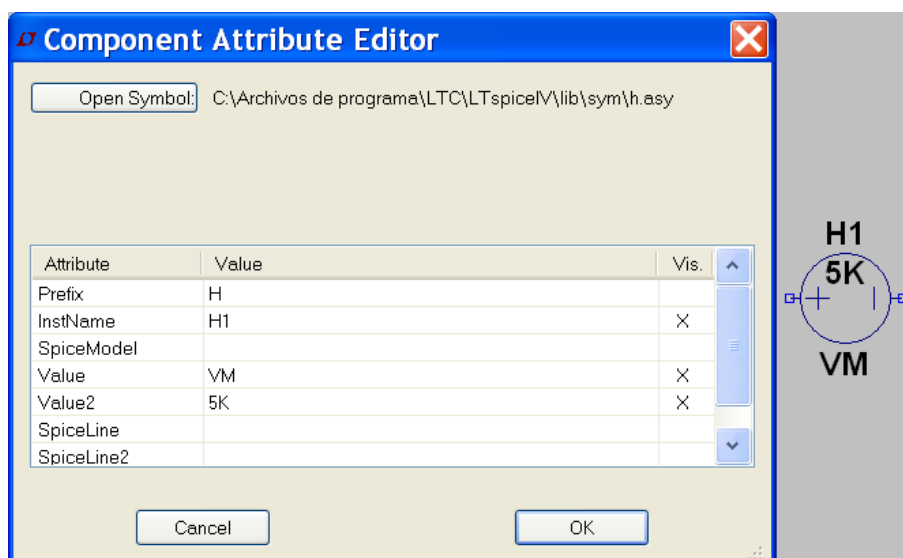
será necesario que el factor de ganancia realice dicho paso, por lo que habrá que **dividirlo entre 1000 o bien utilizar el prefijo “mili”** (“m” en el LTSpice) antes del valor de ganancia de la fuente.

- H (Fuente de Tensión controlada por Intensidad) → Al convertir de mili-Amperios a Voltios será necesario que el factor de ganancia realice dicho paso, por lo que habrá que **multiplicar por 1000 o bien utilizar el prefijo “kilo”** (“K” en el LTSpice) antes del valor de ganancia de la fuente.

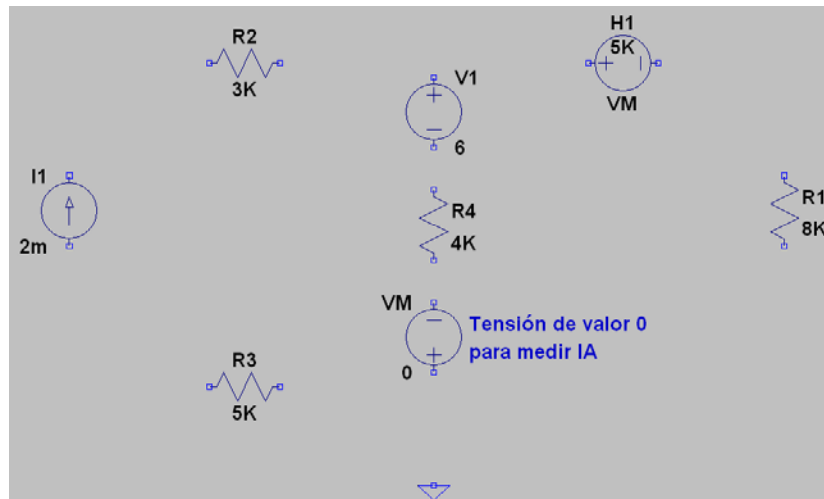
El resultado de estas cuatro situaciones se puede apreciar en los cuatro casos planteados en el Apéndice A, “Ejemplos LTSpice”.

Para nuestro circuito de ejemplo, al tener una fuente de tipo H hay que especificar por un lado de dónde proviene la intensidad que controla la fuente, y por otro indicar el factor de ganancia. Para ello pulsamos con el botón derecho sobre la fuente H1 y se nos abre una pantalla en la cual tendremos que rellenar 2 valores:


- **Value: Nombre de la fuente de tensión independiente atravesada por la intensidad de control I_A indicada en el ejercicio**, de manera que la recorra del positivo al negativo de la misma. Podríamos pensar que la fuente de tensión V1 nos valdría para esta cuestión pero, si bien es atravesada por I_A , no lo hace con la polaridad correcta (la recorre al revés de lo que exige LTSpice), por lo que **nos tenemos que “inventar” un fuente nueva, de valor 0 V para que no afecte al comportamiento del circuito**, situada en la misma rama para poder medir la intensidad I_A y con la polaridad correcta **para que la intensidad entre por el positivo y salga por el negativo**. A esta fuente la llamaremos por ejemplo “VM” (su nombre debe empezar por V), y será la que situaremos en este parámetro.
- **Value2: Será la ganancia de la fuente** (“5” en el circuito original), pero teniendo en cuenta que debemos convertir mili-Amperios a Voltios, por lo que en realidad hay que multiplicar por 1000 el factor, quedando en “5K”. También pincharemos en la columna “Vis.” que hay a la derecha de este parámetro para que sea visible.

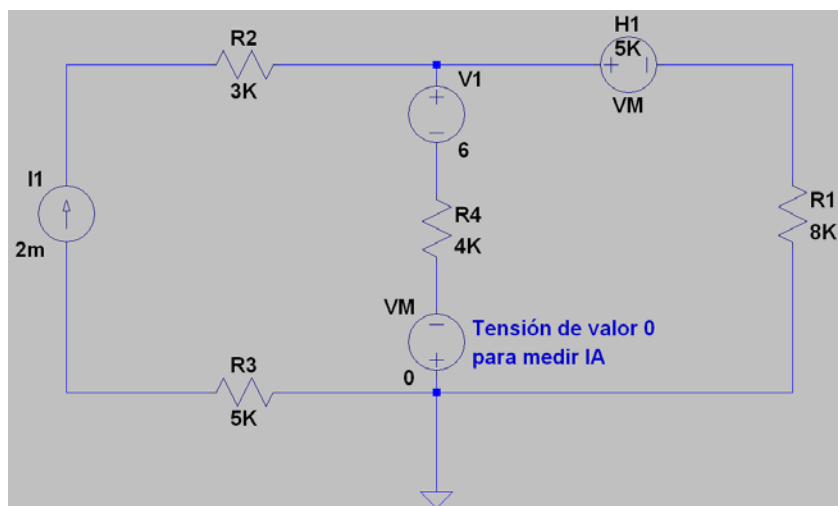



El circuito por tanto quedaría como sigue, tras rellenar todos los valores de los componentes y añadir la fuente de tensión independiente “VM” con valor 0 que nos servirá únicamente para medir la intensidad I_A que pasa por dicha rama:

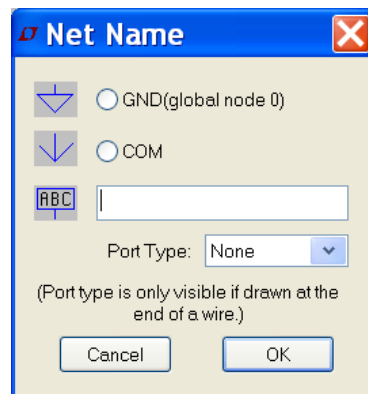


1.2.5. Conexión de los componentes.

La interconexión de los componentes será sencilla, ya que la llevaremos a cabo con la opción “Edit→ Draw Wire” o el botón . Por tanto, uniremos los componentes de manera que mantengamos las mismas conexiones que en nuestro circuito propuesto, quedando como sigue:



En ocasiones se hace necesario conectar los componentes entre sí no mediante un cable, ya que resulta engorroso y puede dificultar la correcta visualización del circuito, sino mediante el **uso de etiquetas**. **Dos cables estarán conectados entre sí cuando posean la misma etiqueta, esto es, el mismo nombre.** Para nombrar un cable utilizamos la opción “Edit → Label Net” o el botón . Aparecerá el siguiente menú, en el cual teclearemos el nombre del cable, pulsaremos OK y pincharemos sobre el o los cables que deseemos nombrar:




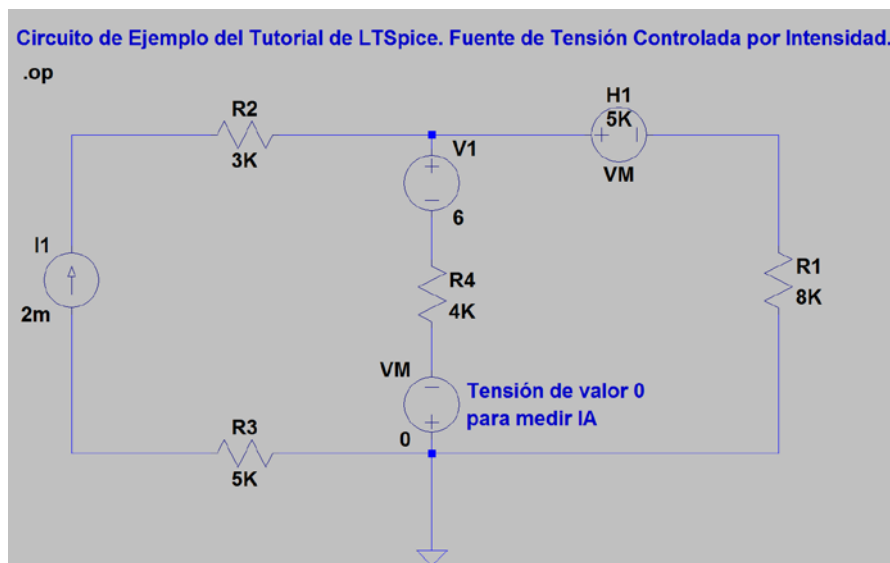
En el ejemplo de la fuente controlada “G” del Apéndice A, “Ejemplos LTSpice”, podemos encontrar muestras de cables conectados por etiquetas (en este caso nombrados como “Vneg” y “Vpos”).

1.2.6. Elección del tipo de análisis a realizar.


Una vez introducido todo el circuito, debemos seleccionar el **tipo de análisis** que LTSpice debe llevar a cabo, dado que existen diferentes tipos. Por ahora y para este caso sólo nos vamos a centrar en el análisis del punto de operación de circuito de manera que nos calcule todas las tensiones e intensidades en las diferentes ramas del mismo.

Para ello pincharemos en el menú “*Edit → SPICE Analysis*”, nos iremos a la pestaña nombrada como “DC op pnt”; en esa ventana observamos como este análisis se corresponde con una palabra clave cuya sintaxis es “**.op**”, la cual debe ser añadida a nuestra descripción del circuito; pulsaremos OK, tras lo cual colocaremos dicho “.op” sobre una zona en blanco del circuito.

Es interesante también poner alguna descripción o comentario de lo que hace el circuito de manera que al abrir el esquemático se vea qué ejemplo es o cuál es su función. Para ello seleccionaremos “*Edit → Text*” o pulsaremos sobre el icono , teclearemos el texto que deseemos y lo situaremos en una zona visible del circuito, tras lo cual los salvaremos en disco con un nombre adecuado:




1.2.7. Simulación del circuito, interpretación de los resultados y visualización de la Netlist.

Para esta fase de simulación nos iremos al menú “*Simulate*” y escogeremos la opción “*Run*”, o bien pulsaremos directamente sobre el icono . Si no hay errores (cables mal conectados, dispositivos sin valores, etc.) debe aparecer una pantalla como la siguiente, mostrando los **resultados de la simulación**:

--- Operating Point ---

```
V(n002):      8.35294      voltage
V(n004):      2.35294      voltage
V(n003):     11.2941      voltage
V(n001):     14.3529      voltage
V(n006):     -10         voltage
V(n005):      0          voltage
I(H1):       0.00141176    device_current
I(I1):       0.002         device_current
I(R4):       0.000588235    device_current
I(R3):       0.002         device_current
I(R2):      -0.002         device_current
I(R1):       0.00141176    device_current
I(Vm):      -0.000588235    device_current
I(V1):       0.000588235    device_current
```

¿Qué es lo que nos está mostrando el LTSpice? Nos enseña en primer lugar las tensiones, medidas desde tierra y expresadas en Voltios (su unidad por defecto), en cada nodo (cable) del circuito. El nodo “0” siempre es tierra, y el nombre del resto de los nodos (“N001” en adelante) los escoge LTSpice automáticamente si nosotros no les damos ninguno a través del uso de etiquetas (“Labels”, ). Además de estas tensiones, LTSpice también nos da los valores de las intensidades a través de todos los elementos del circuito, expresadas éstas en Amperios (su unidad por defecto). Para entender todo esto es necesario que aprendamos a interpretar la Netlist del circuito.

¿Qué es la Netlist de un circuito? Es una descripción en texto del circuito que hemos dibujado, utilizando la sintaxis del lenguaje de descripción de circuitos SPICE. ¿Entonces qué es lo que hace LTSpice? El programa LTSpice digamos que nos sirve para “ocultar” el tener que introducir directamente a mano esta Netlist o descripción del circuito, de manera que dibujamos gráficamente el mismo y el programa se encarga de obtener automáticamente la descripción en lenguaje SPICE. Quiere decir que a partir del circuito que hemos dibujado en nuestro ejemplo, podemos obtener la traducción a lenguaje SPICE simplemente con pulsar en la opción “*View* → *SPICE Netlist*”:

--- NETLIST ---

```
V1 N002 N004 6 R1
N003 0 8K
R2 N002 N001 3K R3
0 N006 5K
R4 N004 N005 4K I1
N006 N001 2m
H1 N002 N003 VM 5K VM
0 N005 0
.op
.backanno
.end
```

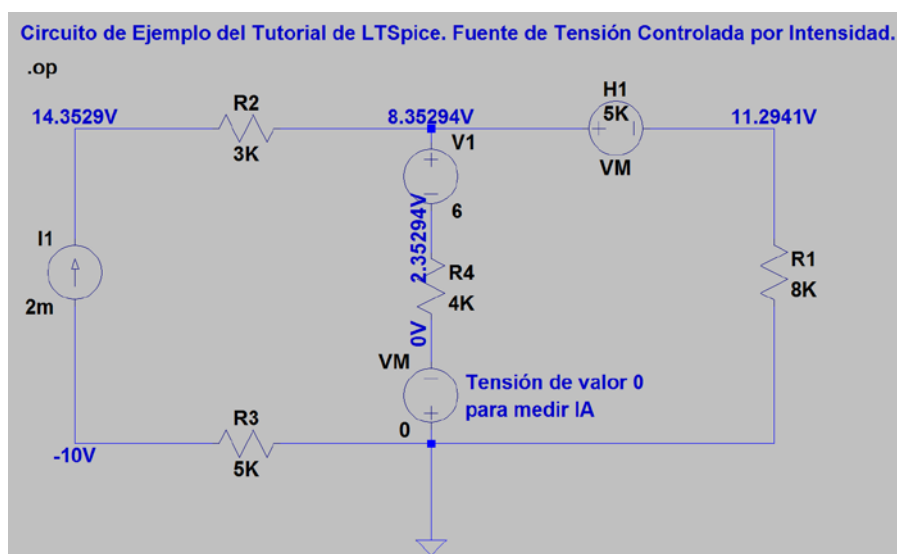
Vemos que **cada componente se define mediante un nombre, los nodos entre los que va situado, y su valor. Finalmente se pone el tipo de análisis a realizar.** (Nota: se han omitido los comentarios en la Netlist mostrada arriba). Este fichero con extensión “.net” es el que realmente se simula y del que se obtienen los resultados antes mostrados.

Por tanto, siempre es conveniente tener la descripción de la Netlist del circuito a la vez que se visualizan los resultados, sobre todo para saber entre qué nodos está conectado cada elemento y el orden de conexión de los mismos. **Con la Netlist y el fichero de texto de los resultados podemos averiguar ya cualquier tensión o intensidad en el circuito:**

- **Tensiones:** Ya nos viene dada en el fichero de salida, medidas desde el nudo de tierra (Nudo 0 siempre, en todos los circuitos). **Podemos calcular diferencias de potencial entre dos nudos restando los valores entre ellos**, por ejemplo, ya que disponemos de todos los valores.
- **Intensidades:** **En el fichero de salida tenemos los valores de las intensidades que atraviesan todos los elementos, expresadas en Amperios (su unidad por defecto). Dado un dispositivo concreto, su intensidad será positiva si circula entrando por el primer nudo definido en la Netlist y saliendo por el segundo**; en la fuentes de Tensión es donde resulta más fácil verlo ya que la intensidad será positiva al entrar por el lado positiva de la misma y salir por el negativo. Por ejemplo, tenemos que para la fuente V1 su intensidad es de 0.000588235 Amperios, ya que entra por el nodo “N002” para V1 y sale por el “N004”; para la resistencia R4 también lo será, ya que la intensidad entra por su primer nudo definido (“N004”) y sale por el segundo (“N005”). Para R2, por ejemplo, la intensidad es de -0.002 Amperios, lo que significa que en realidad está entrando por el 2º nodo definido en la Netlist para R2 (“N001”) y está saliendo por el 1º (“N002”).

LTSpice también nos ofrece otras formas más sencillas de poder calcular tensiones e intensidades de manera gráfica sin tener que fijarnos tanto en la Netlist y en el fichero de resultados de salida:

- **Tensiones:** Cerrando la ventana de resultados de la simulación, podemos pasar el ratón por encima de cualquier cable y LTSpice nos dirá su nombre en la barra de estado (abajo a la izquierda, aparece en pequeño) así como el valor en Voltios de la tensión que hay en el mismo. Para visualizarlo de manera permanente podemos hacer doble-click sobre el mismo cable y aparecerá superpuesto en el circuito:



Nota: El número de nodo o nombre de cada cable será diferente para cada uno de vosotros, ya que dependerá del orden en el que hayáis dibujado los mismos a la hora de introducirlos en LTSpice. Lo que sí debe mantenerse es el valor de Voltios en cada posición del circuito.

- **Intensidades:** Pasando el ratón por encima de cualquier dispositivo del circuito, LTSpice nos ofrece su intensidad en la barra de estado, abajo a la izquierda (en pequeño).

Con todos estos recursos disponibles podemos calcular cualquier diferencia de potencial o intensidad que queramos en nuestros circuitos en régimen estático, pero habrá otros tipos de análisis más complejos que ejecutaremos a lo largo de la asignatura, los cuales los describimos a continuación. Finalmente, tendremos un ejemplo de aplicación de uno de estos análisis más complejos.

1.3. Análisis Transitorio .TRAN.

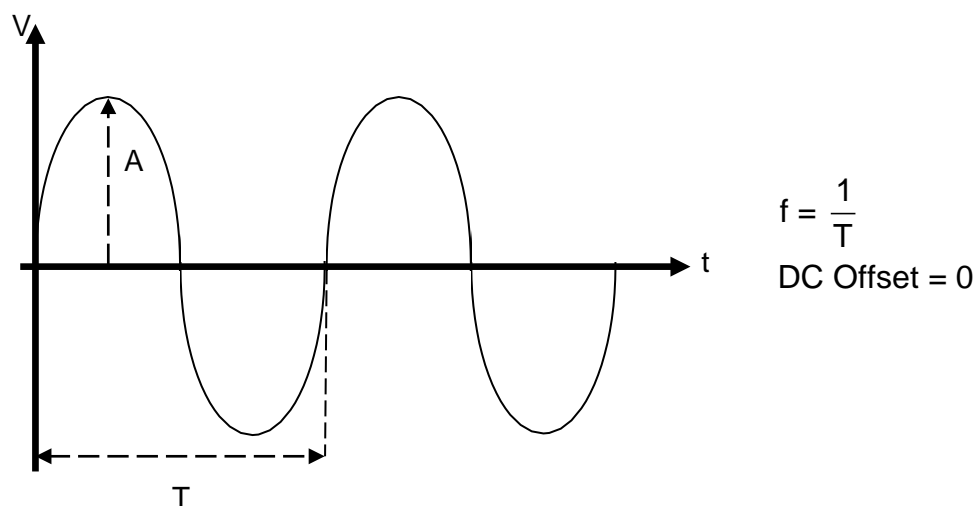
Un análisis Transitorio .TRAN consiste en analizar el comportamiento del circuito durante un intervalo de tiempo cuando se le aplica como entrada una señal variable en el tiempo, por ejemplo, una señal senoidal, una señal cuadrada o una señal triangular. **Este análisis requiere, por un lado, que se especifique el tipo de señal aplicada al circuito y, por otro, la duración de la simulación.**

1.3.1. Generación de ondas variables en el tiempo.

Para la presente y futuras prácticas será necesario **generar diferentes tipos de ondas que varían en el tiempo, como ondas senoidales, triangulares y ondas cuadradas. Todas ellas se insertarán en el circuito a partir de una fuente de tensión independiente de entrada V_i , a la cual le cambiaremos su valor pulsando sobre ella con el botón derecho del ratón y seleccionando "Advanced", apareciendo un nuevo menú. A partir de ahí podremos optar por distintos tipos de ondas.**

1. Senoidal.

Podemos definir una señal senoidal simétrica, esto es, centrada en 0 Voltios, con 'A' Voltios de amplitud de pico ($2 * 'A'$ de pico a pico), como se muestra en la siguiente imagen:

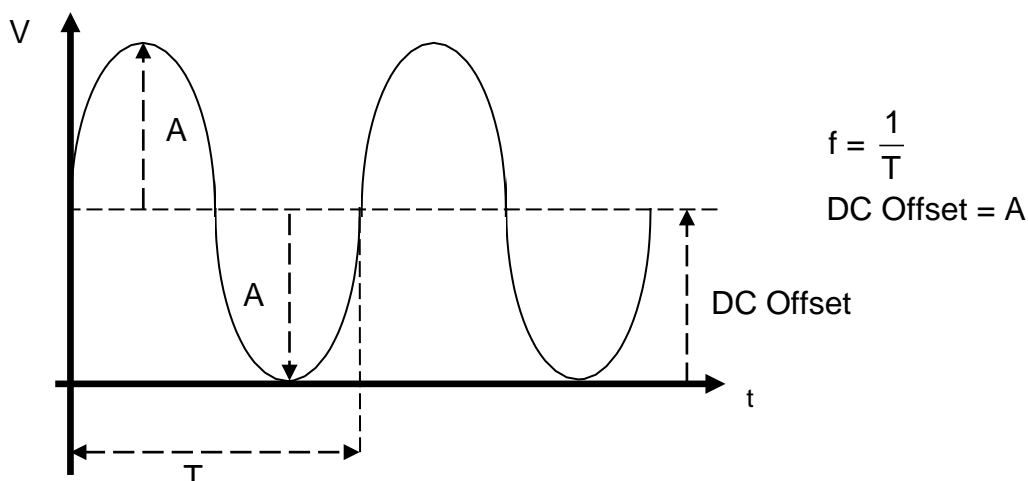


Señal senoidal SIN 'DC OFFSET'

La frecuencia 'f' se define como la inversa del periodo 'T'.

Todos estos parámetros se introducirán en el LTSpice de la siguiente forma, para un **ejemplo de una señal senoidal simétrica definida entre -5 y 5 Voltios de 10 KHz de frecuencia, sin Offset:**

En otros circuitos será necesario definir una **señal senoidal (o de otro tipo) que empiece en 0 Voltios y sólo tenga componente positiva, por lo que será necesario introducir un 'DC Offset',** es decir, una componente de continua que sumada a la señal senoidal consiga situarla por encima de 0 Voltios en todo momento. **Dicha señal seguiría teniendo 'A' Voltios de amplitud de pico (2 * 'A' de pico a pico) pero también tendrá 'A' Voltios de Offset,** como se ve en la siguiente imagen:



*Señal senoidal entre 0 y 2*A Voltios, con A Voltios de Offset*

Todos estos parámetros se introducirán en el LTSpice de la siguiente forma, para un **ejemplo de una señal senoidal definida entre 0 y 5 Voltios (es decir, 2,5 Voltios de amplitud de pico, o dicho de otra forma, 5 Voltios de pico-a-pico) de 10 KHz de frecuencia y 2,5 Voltios de Offset:**

Independent Voltage Source - Vi

Functions

- ☐ (none)
- ☐ PULSE(V1 V2 Tdelay Trise Tfall Ton Period Ncycles)
- ☒ SINE(Voffset Vamp Freq Td Theta Phi Ncycles)
- ☐ EXP(V1 V2 Td1 Tau1 Td2 Tau2)
- ☐ SFFM(Voff Vamp Fcar MDI Fsig)
- ☐ PWL(t1 v1 t2 v2...)
- ☐ PWL FILE:

DC offset[V]:

Amplitude[V]:

Freq[Hz]:

Tdelay[s]:

Theta[1/s]:

Phi[deg]:

Ncycles:

Make this information visible on schematic: ☒

DC Value

DC value:

Make this information visible on schematic: ☒

Small signal AC analysis(AC)

AC Amplitude:

AC Phase:

Make this information visible on schematic: ☒

Parasitic Properties

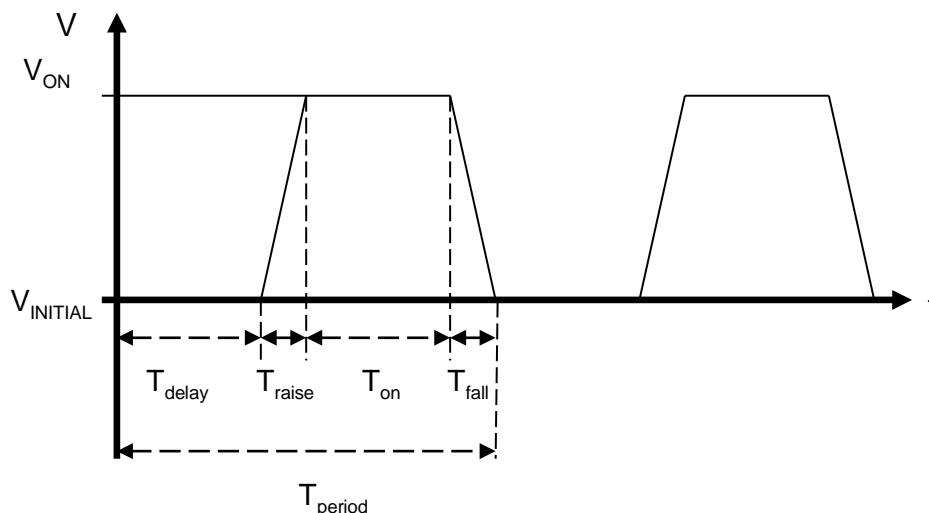
Series Resistance[Ω]:

Parallel Capacitance[F]:

Make this information visible on schematic: ☒

2. Cuadrada.

Definimos una señal cuadrada a partir de una tensión inicial V_{INITIAL} (mínima) y otra de activación V_{ON} (máxima), un tiempo de retraso inicial para que comience a variar la señal (T_{delay}), un tiempo de subida (T_{raise}), un tiempo durante el que está la señal en su valor máximo (T_{on}), un tiempo de bajada (T_{fall}), y el tiempo total del periodo de la señal T_{period} .



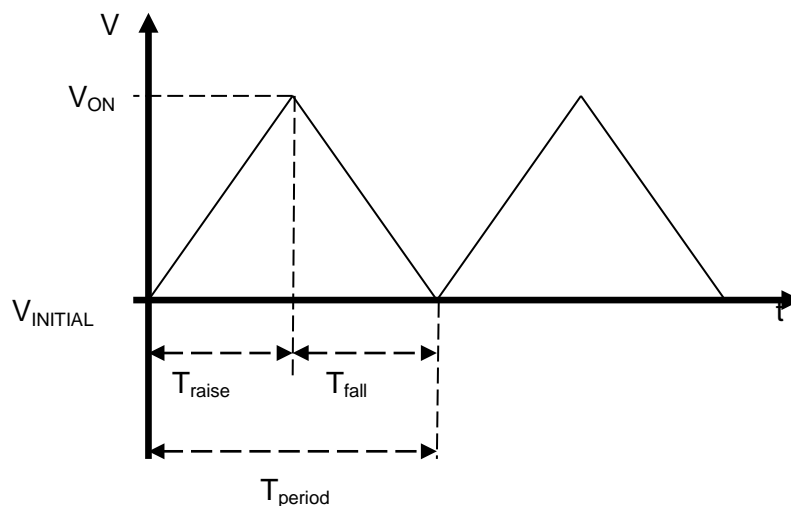
Señal cuadrada

Introducimos los parámetros en el LTSpice a través de la fuente de tensión de tipo "PULSE". En el **ejemplo** de la siguiente imagen tenemos una **señal cuadrada que oscila entre 0 y 7 Voltios, con 20 microsegundos de periodo (50 KHz de frecuencia), y tiempos de subida y bajada de 40 nanosegundos**:

Nota: La suma de $T_{\text{delay}} + T_{\text{raise}} + T_{\text{on}} + T_{\text{fall}}$ en este caso no coincide exactamente con el periodo de la señal T_{period} . No es mayor problema porque los tiempos de subida y bajada de la señal son muy pequeños (del orden de nanosegundos) comparados con el tiempo que se mantiene la señal en su valor mínimo y máximo.

3. Triangular.

Es una variante de la señal de onda cuadrada con la particularidad de que el tiempo de retraso inicial T_{delay} es 0, así como el tiempo que se mantiene la señal a su valor máximo T_{on} , que también será 0. Por tanto, **el periodo de la señal será la suma de T_{raise} y T_{fall}** .



Señal triangular

Introducimos los parámetro en el LTSpice a través de la fuente de tensión de tipo "PULSE". En el **ejemplo** de la siguiente imagen tenemos una **señal triangular que oscila entre 0 y 10 Voltios, con 100 microsegundos de periodo (10 KHz de frecuencia)**:

Independent Voltage Source - Vi

Functions

- ☐ (none)
- ☒ PULSE(V1 V2 Tdelay Trise Tfall Ton Period Ncycles)
- ☐ SINE(Voffset Vamp Freq Td Theta Phi Ncycles)
- ☐ EXP(V1 V2 Td1 Tau1 Td2 Tau2)
- ☐ SFFM(Voff Vamp Fcar MDI Fsig)
- ☐ PWL(t1 v1 t2 v2...)
- ☐ PWL FILE:

Vinitial[V]:

Von[V]:

Tdelay[s]:

Trise[s]:

Tfall[s]:

Ton[s]:

Tperiod[s]:

Ncycles:

Make this information visible on schematic: ☒

DC Value

DC value:

Make this information visible on schematic: ☒

Small signal AC analysis(AC)

AC Amplitude:

AC Phase:

Make this information visible on schematic: ☒

Parasitic Properties

Series Resistance[Ω]:

Parallel Capacitance[F]:

Make this information visible on schematic: ☒

1.3.2. Especificación del tipo de análisis .TRAN y su duración.

Para realizar la simulación de un circuito que contenga cualquiera de estas señales variables en el tiempo habrá que seleccionar el tipo de análisis transitorio del LTSpice. Para ello entramos en “Edit → SPICE Analysis”, y en la pantalla que aparece seleccionamos la pestaña “Transient”:

Edit Simulation Command

Transient AC Analysis DC sweep Noise DC Transfer DC op pnt

Perform a non-linear, time-domain simulation.

Stop Time:

Time to Start Saving Data:

Maximum Timestep:

Start external DC supply voltages at 0V: ☐

Stop simulating if steady state is detected: ☐

Don't reset T=0 when steady state is detected: ☐

Step the load current source: ☐

Skip Initial operating point solution: ☐

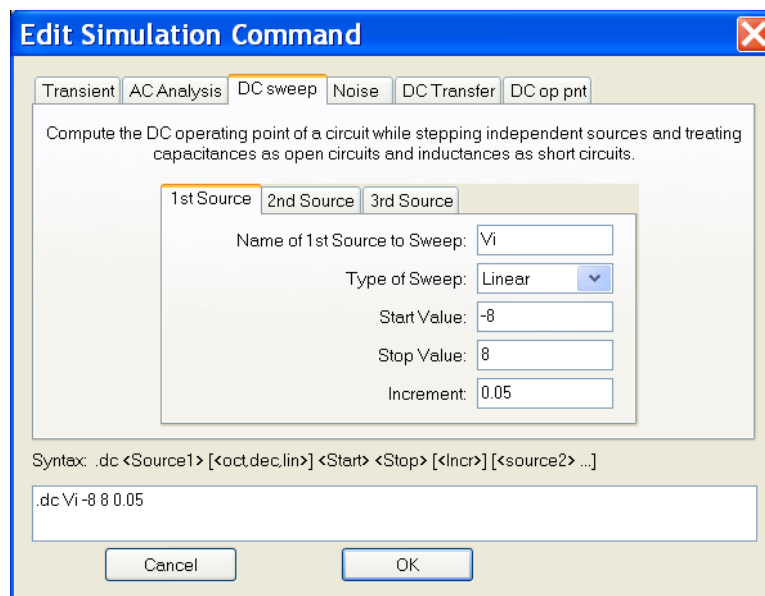
Syntax: .tran <Tstop> [<option> [<option>] ...]

En esta pantalla sólo es necesario rellenar la casilla “Stop Time” con el tiempo total de simulación, el cual estará relacionado con el periodo de la señal que hemos introducido al circuito. Por ejemplo, si la señal tiene un periodo de 50 microsegundos y deseamos simular 4 periodos completos de la misma, pues introducimos 200 microsegundos en el tiempo total del análisis.

1.4. Análisis en Continua .DC.

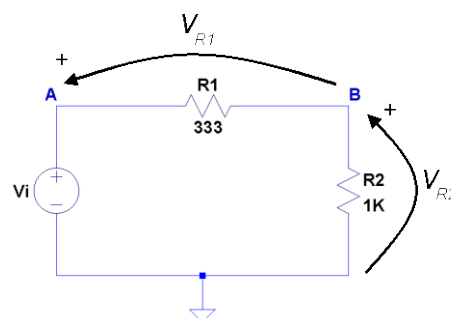
Realizar un análisis en continua .DC de un circuito (Característica de Transferencia), consiste en calcular repetitivamente los puntos de operación de un circuito cambiando el valor de la fuente de entrada V_i , desde un valor inicial hasta otro final, indicando el incremento que se realiza en cada análisis. Esta operación se especifica accediendo a la ventana “*Edit → SPICE Analysis → DC Sweep*”, indicando el nombre de la fuente de tensión a la que se aplica el barrido de tensiones, V_i , su valor inicial, el final y el incremento deseado. La fuente de alimentación debe situarse en el circuito sin ningún valor de tensión especificado o bien valiendo ‘0’, ya que su valor real lo adquiere en el momento del análisis.

Por ejemplo, podemos realizar un **análisis de Característica de Transferencia cuando V_i toma valores entre -8 Voltios y +8 Voltios**, con incrementos de 0.05 Voltios en cada paso de simulación:



1.5. Ejemplo de aplicación: Divisor de Tensión.

Vamos a simular un sencillo circuito que represente un Divisor de Tensión. Dicho circuito responde al siguiente esquema:



Vemos cómo hay presente una señal de entrada variable V_i , y dos resistencias $R1$ y $R2$ asociadas en serie, de $333\ \Omega$ y $1\ \text{K}\Omega$ respectivamente. La idea de dicho circuito es que la tensión de entrada V_i (tensión entre el punto A y GND) parte caerá en la resistencia $R1$ (tensión V_{R1} entre el punto A y el punto B) y otra parte en la resistencia $R2$ (tensión V_{R2} entre el punto B y GND), y cuanto más grande sea cada resistencia mayor será la caída de tensión en la misma debido a que la intensidad que las atraviesa es la misma (están en la misma rama, o sea, en serie) y la tensión en una resistencia se rige por la Ley de Ohm: $V = I \cdot R$ (siendola I contante, si R es más grande, V

también lo será). Siempre que se indique una tensión o diferencia de potencial entre dos puntos, el que se refiere en primer lugar será el positivo, y el segundo el negativo por tanto.

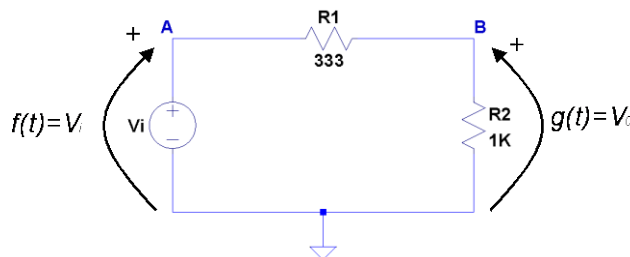
Con todo esto, **realizaremos una primera simulación en la que la señal de entrada V_i variará en función del tiempo, y simultáneamente estudiaremos cómo cambian las señales de salida (tensiones en ambas resistencias, V_{R1} y V_{R2}) también en función del tiempo**, de manera que lo que haremos será superponer la V_i de entrada con las otras señales de salida.

En una segunda simulación estudiaremos la Característica de Transferencia del circuito. En ciertos circuitos es necesario obtener una representación de una onda en función de otra, y no ambas en función del tiempo simultáneamente como hemos hecho en la simulación anterior. Por tanto, tendremos dos funciones dependientes del tiempo como éstas:



$$\begin{aligned} V_i &= f(t) \\ V_o &= g(t) \end{aligned}$$

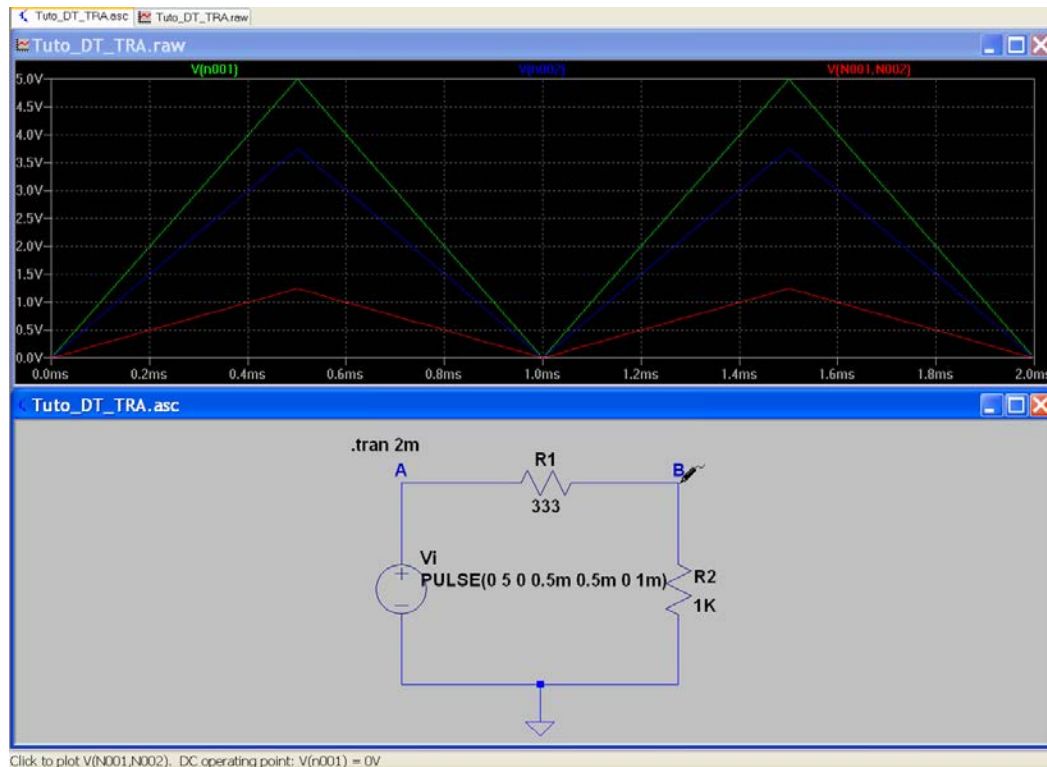
La idea sería representar en pantalla $g(t)$ en función de $f(t)$, o dicho de otra manera, $g(t)$ frente a $f(t)$. A este tipo de ejercicios se les denomina de Característica de Transferencia, dado que **normalmente la función $f(t)$ es una señal de entrada que le proporcionamos a nuestro circuito (típicamente llamada V_i), y la $g(t)$ es una señal de salida que leemos del mismo (habitualmente la veremos como V_o)**, por tanto lo que queremos ver es cómo varía la salida V_o en función de cómo cambia la señal de entrada V_i .

Aplicando lo anterior a nuestro ejemplo del divisor de tensión, la $f(t)$ de entrada sería nuestra V_i , y la $g(t)$ de salida tendría que ser una señal que nos interesara medir, como la tensión en la resistencia R2 (V_o):





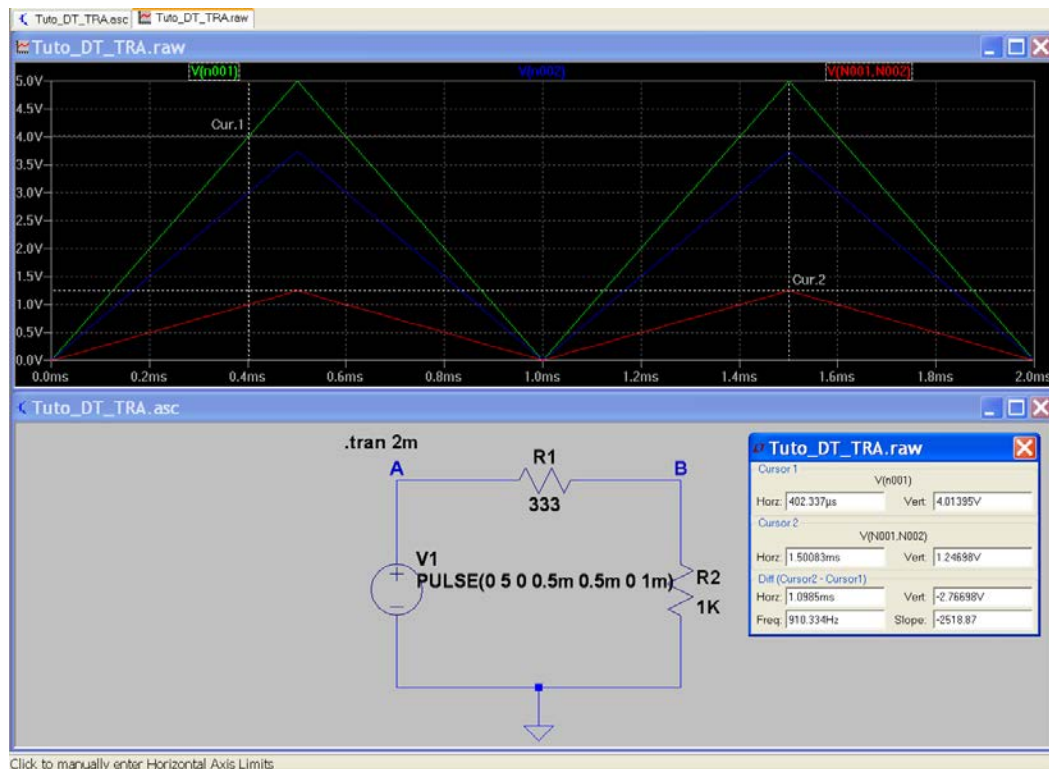
1.5.1. Simulación .TRAN (visualización de las ondas en función del tiempo).

1. Aplicar en la tensión de entrada V_i una **onda triangular, de 5V de amplitud de pico, sin Offset, y de 10 KHz de frecuencia (la señal oscilará por tanto entre -5V y +5V, con 10V de amplitud pico-a-pico). Nota: Recordar que el periodo de una señal es el inverso de su frecuencia**
2. Realizar una **simulación .TRAN** con un tiempo total de simulación (**Stop Time**) de tal manera que se vean **2 periodos completos** de la señal de entrada. Representar la tensión de entrada V_i superpuesta con las tensiones V_{R1} y V_{R2} .
3. Para medir dichas tensiones, **habrá que recordar que el LTSpice mide siempre las diferencias de potencial desde el nudo de tierra (GND), por lo que pinchando en el cable correspondiente al terminal positivo de V_i y de V_{R2} con el cursor en forma de sonda roja**  **tendremos las medidas correctas, pero para representar V_{R1} no será posible hacerlo directamente de esa manera ya que su terminal negativo no está conectado a tierra**, por lo que el proceso será el siguiente: pincharemos con el botón derecho sobre el cable del lado negativo de V_{R1} (punto B) y seleccionaremos **"Mark Reference"** , de tal manera que ahora el LTSpice empezará a medir desde este punto como terminal negativo, y luego pincharemos normalmente sobre el cable del lado positivo de V_{R1} (punto A), obteniendo así su diferencia de potencial.
4. **Representa las gráficas obtenidas (utiliza colores diferentes para cada una)**



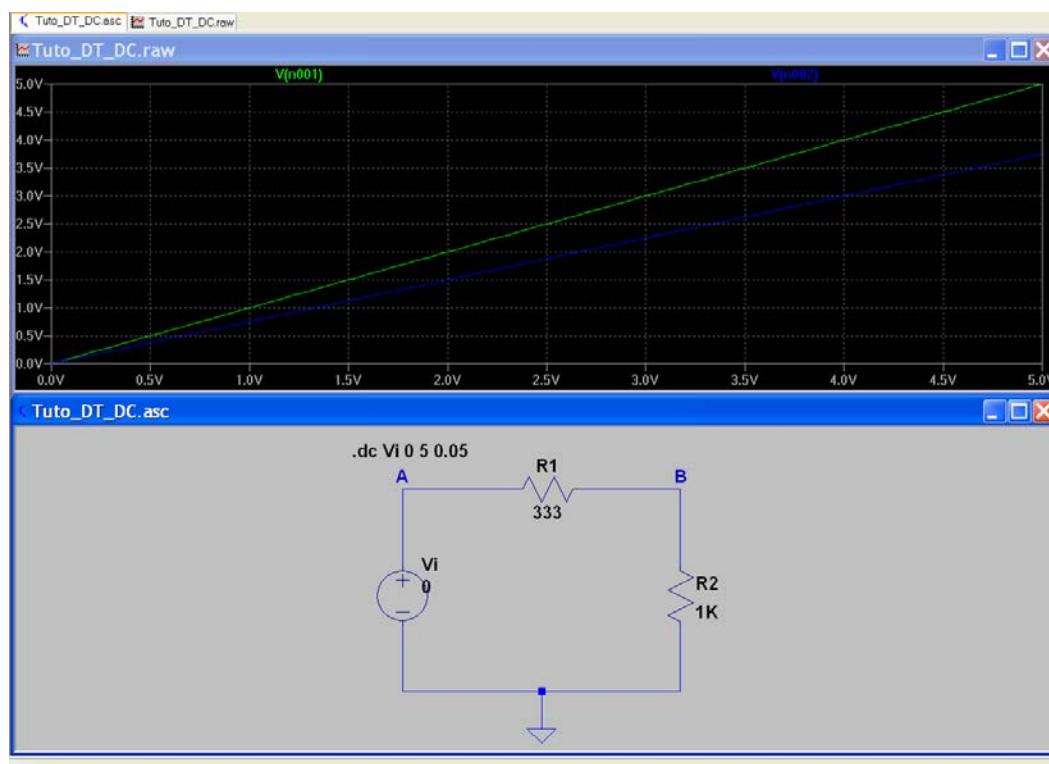
Comentarios de las ráficas:

- **Todas estas gráficas representan Tensión (eje Y) en función del Tiempo (eje X)**
- **“V(N001)” representa la señal de entrada V_i medida desde tierra (tensión en el punto A)**
- **“V(N002)” es la tensión en la resistencia R2 medida desde tierra (tensión en el punto B), es decir, la V_0 de salida.**
- **“V(N001,N002)” se ha obtenido pinchando con el botón derecho del ratón sobre el punto B y seleccionando “Mark Reference”  (movemos la referencia de “0 Voltios” a dicho punto), tras lo cual marcamos con el positivo de la sonda de medición (sonda roja de LTSpice ) en el punto A del circuito, obteniendo por tanto la diferencia de potencial entre los puntos A y B (siendo A el positivo), esto es, la tensión en R1**
- **Utilizando los cursores, podemos ver los valores concretos de las gráficas y calcular diferencias de tiempo (en el eje X) o de tensión (en el eje Y).** Para sacar 1 cursor pinchamos directamente sobre el nombre de una de las señales representadas (por ejemplo, “V(N001)”) y aparecerá una ventana con una componente horizontal y otra vertical, cuyos valores se actualizan al mover el cursor en pantalla. Para obtener un 2º cursor pinchamos con el botón derecho del ratón sobre el nombre de otra señal y el desplegable “Attached Cursor”, seleccionamos “2nd”, y aparecerían 2 cursores por tanto:



1.5.2. Simulación .DC (Característica de Transferencia).

1. Editar el circuito y **poner el valor de la fuente V_i a 0V**
2. Realizar una **simulación .DC variando la tensión de entrada V_i de forma que tome valores entre 0V y +5V, con un incremento de 0.05V**
3. **Representar la tensión de salida V_o , pinchando en el cable correspondiente al terminal positivo de dicha V_o (punto B)**
4. **Representa la gráfica obtenida**



Comentarios de las Gráficas:

- **Todas estas gráficas representan Tensión (eje Y) en función de la Tensión de Entrada V_i (eje X)**
- **"V(N001)"** representa la señal de entrada V_i medida desde tierra (tensión en el punto A) en función de la propia señal V_i . Es lógico por tanto observar que cuando la entrada toma un valor de 1 V en el eje X, por ejemplo, la salida también tenga un valor de 1 V en el eje Y (**estamos representando la función $Y = X$**)
- **"V(N002)"** es la tensión en la resistencia R2 medida desde tierra, es decir, V_o (tensión en el punto B) en función de la entrada V_i . Ésta sería la salida del circuito, esto es, la **característica de transferencia** del mismo.

Página intencionalmente en blanco

A. Ejercicio personalizado.

Resolver analíticamente y simular un circuito utilizando LTSpice, donde los valores de las resistencias R1, R2, R3, y R4 serán personalizados para cada alumno. Para ello, cada uno debe sumar los números que componen su DNI, cuyo resultado será la variable *total*. Los valores de las resistencias serán entonces:

$$R1 = (\text{total mod } 5) + 3 \text{ (el resultado será considerado en K}\Omega\text{)}$$

$$R2 = (\text{total mod } 5) + 1 \text{ (el resultado será considerado en K}\Omega\text{)}$$

$$R3 = (\text{total mod } 5) + 4 \text{ (el resultado será considerado en K}\Omega\text{)}$$

$$R4 = (\text{total mod } 5) + 2 \text{ (el resultado será considerado en K}\Omega\text{)}$$

donde “total mod 5” es el resto de la división de la variable total entre 5 (nos dará un valor comprendido entre 0 y 4).

Ejemplo: DNI = 12.345.678 \rightarrow total = 1+2+3+4+5+6+7+8 = 36;

$$R1 = (36 \bmod 5) + 3 = 4 \text{ (K}\Omega\text{)}$$

$$R2 = (36 \bmod 5) + 1 = 2 \text{ (K}\Omega\text{)}$$

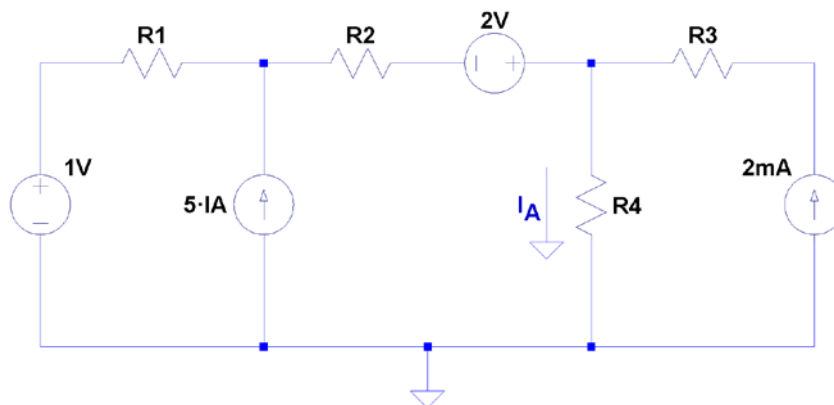
$$R3 = (36 \bmod 5) + 4 = 5 \text{ (K}\Omega\text{)}$$

$$R4 = (36 \bmod 5) + 2 = 3 \text{ (K}\Omega\text{)}$$

A continuación rellenar los siguientes datos con los valores particulares del

alumno: DNI
 total
 total mod 5
 R1
 R2
 R3
 R4

A.1. Resolver de forma analítica el siguiente circuito, donde los valores de las resistencias R1, R2, R3, y R4 son los calculados anteriormente.



Resolución analítica del circuito:

A.2. Simular el mismo circuito utilizando LTSpice y anotar a continuación los valores de todas las incógnitas del circuito, esto es, tensiones en todos sus nodos e intensidades de todas sus ramas. Obtener estos resultados a través de la ventana de resultados que ofrece LTSpice al simular el circuito calculando el punto de operación (análisis .OP).

A.3. Copiar la netlist generada por LTSpice (se obtiene a través del menú View -> Spice NETLIST).

A.4. Subir la simulación de la práctica A al Campus Virtual.

Crear un directorio llamado “Practica1”, en cuyo interior se encontrará el circuito que ya se ha simulado y que se llamará como vuestro número de DNI y con extensión .ASC, es por ejemplo, “12345678Z.ASC”. Ejecutar el LTSpice, obtener los ficheros de salida, y guardar todo el contenido del directorio en un fichero ZIP ó RAR, subiéndolo a la tarea creada para tal caso en el Campus Virtual. Los ficheros que habitualmente generará el LTSpice tendrán el mismo nombre que se le haya dado al archivo .ASC, pero con extensión .LOG, .RAW y .PLT.

Parte 2. Tutorial de Instrumentación.

NOTA IMPORTANTE: Leer los Apéndices B y C para conocer todo el material de laboratorio relacionado con las prácticas.

Material Necesario

- Fuente de Alimentación
- Generador de funciones
- Osciloscopio
- Material de la caja del puesto: Protoboard, cables, resistencias, etc.

Objetivos

- Conocer el manejo de los instrumentos y equipos que se utilizarán en las prácticas de este curso

2.1. Fuente de Alimentación.

La fuente de alimentación CPS250 (y otros modelos existentes en el laboratorio, que presentan un funcionamiento similar) posee tres fuentes de corriente continua con las siguientes características:

- Una proporciona una tensión fija de 5V con una intensidad máxima de 2A
- Las dos restantes dan tensiones variables de 0V a 20V con una intensidad máxima de 0,5A (500 mA) cada una.

Las fuentes variables, denominadas A y B, poseen cada una dos controles para su regulación. El control VOLTAGE permite seleccionar la tensión de salida. El control CURRENT regula el valor máximo de intensidad que se permite que dé la fuente. Con este mando al máximo, la corriente más alta que puede dar es de 0,5A.

Tanto la tensión como la intensidad que proporcionan estas dos fuentes pueden ser medidas en el Voltímetro y Amperímetro del panel frontal. Para ello basta con seleccionar en A o B el conmutador intermedio y serán presentadas las medidas de la fuente seleccionada.

Funcionamiento

Las tres fuentes son totalmente independientes, es decir, no existe una referencia común de tensión entre ellas, se comportan como tres baterías separadas. Ahora bien, conectando algunos de los 2 terminales de cada fuente al terminal GND pueden conseguirse tensiones relativas entre ellas, por lo que existen tres modos de funcionamiento seleccionables con el conmutador A/B OUTPUTS: Modo Independiente, Modo Serie y Modo Paralelo. Nosotros usaremos únicamente el Modo Independiente, en el cual las tres fuentes son totalmente independientes, no tienen referencia común de tensión aunque pueden conectarse entre sí externamente para obtener diferentes rangos de tensiones.

- Fuente fija: 5V
- Fuente A: de 0V a 20V
- Fuente B: de 0V a 20V

2.2. Generador de Funciones.

Es un instrumento capaz de generar señales eléctricas. Puede generar señales continuas, alternas y compuestas, con frecuencias comprendidas entre 1 Hz y 2 MHz.

Las señales alternas pueden ser de 3 tipos:

- Sinusoidales
- Triangulares
- Cuadradas

También puede generar señales TTL comprendidas entre las frecuencias anteriores.

2.2.1. Generación de una señal continua pura.

1. Conecta un extremo del cable del generador a la salida MAIN (dependiendo del modelo, en otros está marcado con el símbolo "O→") y el otro extremo a la entrada CH1 del osciloscopio
2. Haz que ninguno de los botones de selección de señal esté pulsado (todos hacia fuera, se pulsa levemente sobre cualquiera de ellos que no esté seleccionado previamente y se deselectarán todos)
3. Tira hacia fuera del botón DC OFFSET (en algunos modelos, en otros simplemente se mueve desde la posición de OFF, se oirá un "click") y gíralo hasta obtener las tensiones siguientes:

+3V
+1,8V
-0,6V

Nota: Ver en el apartado (2.3. El Osciloscopio (I). Medidas básicas en 1 canal) como medir estas señales.

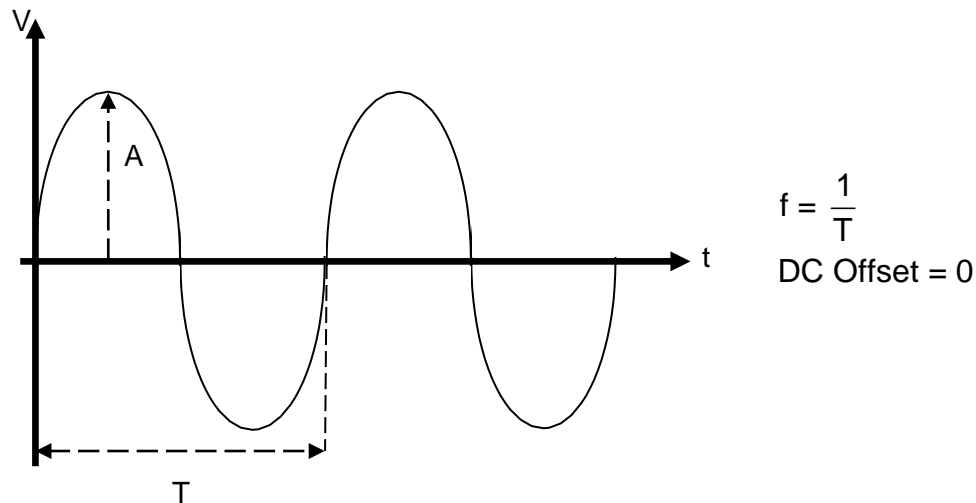
2.2.2. Generación de una señal alterna pura.

1. Pulsa el botón DC OFFSET en caso de que esté hacia fuera (en algunos modelos, en otros gíralo completamente a la izquierda a la posición OFF hasta escuchar un "click"). Con ello nos aseguramos que no se está introduciendo componente de continua en la señal de salida
2. Selecciona el tipo de señal (cuadrada, triangular o senoidal) mediante los botones FUNCTION
3. Selecciona la frecuencia de la señal mediante los botones de RANGE (en algunos modelos, en otros sólo se indica la escala) en combinación con el Dial, teniendo en cuenta que la frecuencia generada (f) vendrá dada por:

$$f = (\text{nº indicado por el dial} * \text{Valor del botón pulsado})$$

4. Selecciona el nivel de amplitud con el mando AMPLITUDE

¿Qué se define por AMPLITUD? Cuando vamos a definir una señal con componente alterna es imprescindible saber distinguir lo que es la amplitud de pico, la amplitud de pico-a-pico y el rango de valores en Voltios en los que se mueve ésta. Observar el siguiente ejemplo:



Señal senoidal SIN 'DC OFFSET'

Se está definiendo una señal senoidal simétrica, esto es, centrada en 0 Voltios (SIN OFFSET), con 'A' Voltios de amplitud de pico (2 * 'A' de pico-a-pico), o también se puede definir como que oscila entre '-A' Voltios y 'A' Voltios. Además, la frecuencia 'f' (número de oscilaciones por segundo, se mide en Hertzios) se define como la inversa del periodo 'T' (tiempo que tarda en generarse una oscilación completa, se mide en segundos).

Teniendo en cuenta todo lo anterior, **genera las siguientes señales:**

- Sinusoidal de $f = 9 \text{ KHz}$ y Amplitud de pico = $4V$
- Triangular de $f = 1,3 \text{ MHz}$ y Amplitud de pico-a-pico = $6V$
- Cuadrada de $f = 300 \text{ Hz}$ y Amplitud de pico = $2V$

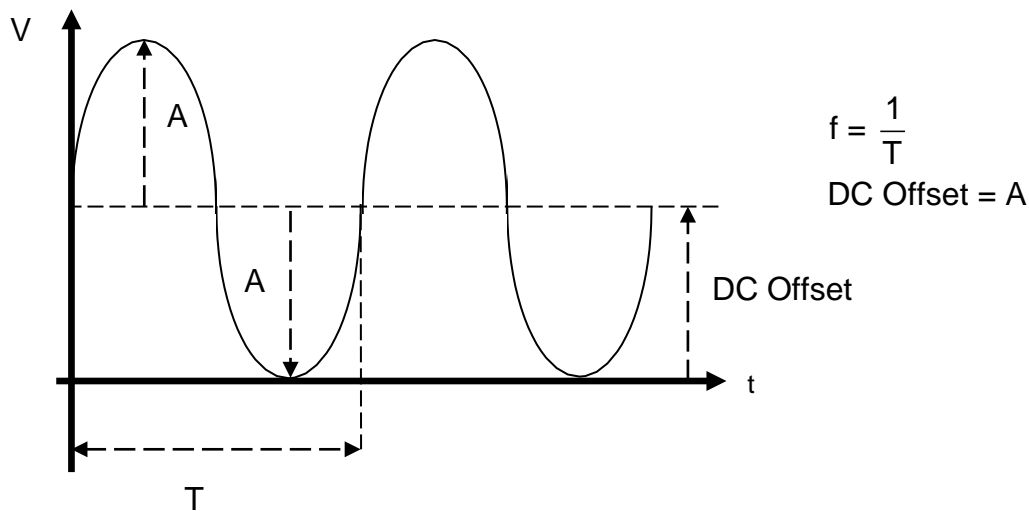
Nota: Ver en el apartado (2.3. El Osciloscopio (I). Medidas básicas en 1 canal) como medir estas señales.

2.2.3. Generación de una señal compuesta.

Para generar una señal compuesta de una continua pura y de una alterna pura debe seguirse el siguiente proceso general:

1. Seleccionar la componente alterna tal y como se vio en el apartado anterior
2. Deseleccionar el tipo de señal escogido, haciendo que todos los botones de FUNCTION estén sin pulsar
3. Seleccionar la componente continua tal y como se vio en el primer caso
4. Volver a pulsar el botón de FUNCTION correspondiente

Ejemplo: En algunos circuitos será necesario definir una **señal senoidal que empiece en 0 Voltios y sólo tenga componente positiva**, por lo que será necesario introducir un 'DC Offset', es decir, una componente de continua que sumada a la señal senoidal consiga situarla por encima de 0 Voltios en todo momento. Dicha señal seguiría **teniendo 'A' Voltios de amplitud de pico (2 * 'A' de pico-a-pico) junto con un Offset de 'A' Voltios igualmente**, como se ve en la siguiente imagen:



*Señal senoidal entre 0 y 2*A Voltios, con A Voltios de Offset*

Siguiendo estos pasos, **genera las siguientes señales:**

- Triangular de $f = 12 \text{ KHz}$ y Amplitud de pico = 3,6V, con Offset de -2,2V
- Cuadrada de $f = 7 \text{ KHz}$ y Amplitud de pico = 3V, con Offset de 3V
- Sinusoidal de $f = 8 \text{ KHz}$ y Amplitud de pico-a-pico = 8V, con Offset de -4V

Nota: Ver en el apartado (2.3. El Osciloscopio (I). Medidas básicas en 1 canal) como medir estas señales.

2.2.4. Generación de señales digitales TTL.

En la salida SYNC (TTL) ó TTL (COMP) (según modelos) del generador se obtienen señales digitales TTL (ondas cuadradas). Los mandos de AMPLITUDE, DC OFFSET, FUNCTION y VOLTS OUT no afectan a la señal obtenida en esta salida, que siempre se mantiene entre dos valores: 0V y +5V aproximadamente.

El proceso a seguir para obtener una señal de este tipo es el siguiente:

1. Conectar el cable de salida del Generador al terminal SYNC (TTL) ó TTL (COMP) (según modelos)
2. Seleccionar la frecuencia de la señal deseada con los botones de RANGE y el Dial tal y como se vio anteriormente

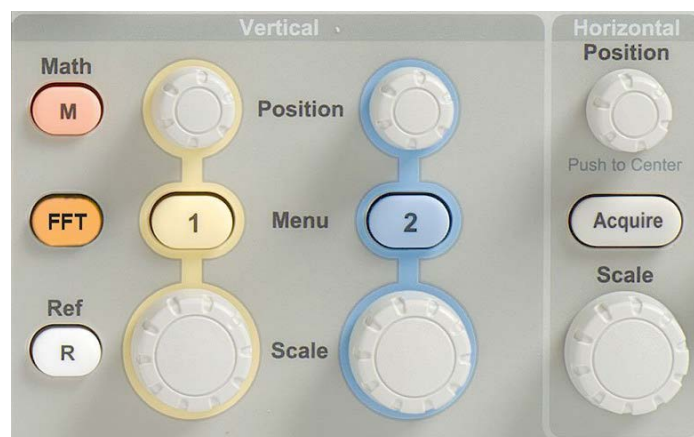
Siguiendo este proceso, **genera una señal digital TTL de 11 KHz.**

Nota: Ver en el apartado (2.3. El Osciloscopio (I). Medidas básicas en 1 canal) como medir estas señales.

2.3. El Osciloscopio (I). Medidas básicas en 1 canal.

Las características generales del osciloscopio son las siguientes:

- Su utilidad básica consiste en representar en la pantalla señales eléctricas de tensión periódicas existentes entre un punto y masa de un circuito determinado. La masa del osciloscopio siempre debe estar conectada a la masa del circuito.
- Pueden medirse 2 señales independientes, pues posee 2 canales de entrada.
- **El modelo de osciloscopio que vamos a utilizar es el Tektronix TBS1052B-EDU.**
- Las escalas de tensiones y de tiempos pueden ajustarse para poder visualizar señales de diferentes frecuencias y amplitudes. Las escalas de tensión pueden ajustarse por separado para cada canal (mandos Scale de cada canal en el apartado Vertical), mientras que la escala de tiempos es la misma para todos los canales (mando Scale del apartado Horizontal).



- Pueden visualizarse las señales de cada canal por separado en la misma pantalla, o también la suma o la diferencia entre la del canal 1 y la del 2.
- Permite también representar una tensión frente a otra (función X-Y). En el eje X siempre se representa la tensión del canal 1 y en el Y la tensión del canal 2, o bien la suma o diferencia entre el 1 y el 2.
- El osciloscopio nos permite medir las principales características de una señal de dos formas:
 - a) De forma automática usando el botón MEASURE
 - b) De forma manual usando los cursores en la escala de tiempo o en la escala de voltaje, según el tipo de medida deseada.
- El procedimiento para comenzar a usar el osciloscopio es:

Conectar la señal principal que vamos a estudiar al canal 1 y pulsar la tecla Autoset (debemos asegurarnos que no está seleccionado el modo X-Y).

El osciloscopio estima los parámetros de la señal y se autoconfigura de la forma más adecuada para su correcta visualización.

Posteriormente podemos cambiar tanto la escala horizontal (tiempo), común a los dos canales, usando en botón Scale del apartado Horizontal, como la escala vertical (voltios) de cada uno de los canales usando los botones Scale del apartado Vertical.

- Para seleccionar el modo X-Y debemos:


Pulsar Utility->Pantalla->Formato->XY.

- Para seleccionar el modo normal (tensión en el eje Y frente a voltaje en el eje X) debemos:

Pulsar Utility->Pantalla->Formato->YT.

- El procedimiento general para añadir una medida a la señal que estamos visualizando es:

Pulsar Measure->CH1 , Measure->CH2, Measure->Math para adjudicar la medida al *Canal1* al *Canal2* u *Operación matemática*, según lo que queramos medir, y con el mando Multipropósito ir seleccionando y pulsando las medidas deseadas, hasta un máximo de 6.

- El osciloscopio nos permite hacer captura de la pantalla que estamos visualizando utilizando el botón archivar . El procedimiento es:


Introducir un PenDrive formateado en FAT32 en el conector del Osciloscopio y esperar a que sea reconocido (no usar PenDrive de mucha capacidad).

Pulsar Save/Recall y seleccionar las siguientes opciones:

Acción
Guardar todo

Botón
Imprimir
Guardar imag.
en arch.


IMPORTANTE: Si no tenemos seleccionados estos modos no funcionará la captura de pantalla en modo X-Y

Una vez configuradas estas opciones, cada vez que pulsemos botón archivar  se guardará en el PenDrive una imagen de la pantalla con un nombre de fichero generado de forma automática. Debemos esperar que aparezca el mensaje que nos indica que la imagen se ha terminado de guardar.

2.3.1. Medidas de señales continuas.

1. Genera una tensión continua cualquiera con el generador de funciones y aplícala al canal 1
2. Para capturar/ver con el osciloscopio la señal generada, pulsar el botón Autoset del panel frontal del osciloscopio.
3. Para medir el valor de la tensión generada, seleccionar como mediadas:
Min. Max.


2.3.2. Medidas de señales alternas.

1. Genera una señal sinusoidal de 8 KHz de frecuencia, amplitud pico a pico de 8 V y Offset de 4 V
2. Conectar la señal generada al canal 1 y pulsa el botón Autoset en el Osciloscopio para observar la señal de forma adecuada. También puede ajustar manualmente la escala horizontal, vertical y el trigger para ver 3-4 ciclos de la señal, sin recortes.
3. Para medir el periodo y la frecuencia y amplitud pico a pico seleccionar como mediadas:
Periodo Frecuencia Vpico-pico
Min. Max.
4. Haz una captura de pantalla  para la documentación de la práctica (CAPTURA_1)
5. Repetir los pasos anteriores para:
Una señal triangular $f = 12 \text{ KHz}$, Amplitud = 3.6 V p-p y Offset = -2.2 V
Una Señal Cuadrada $f = 7 \text{ KHz}$, Amplitud = 3 V y Offset = 3 V

2.3.3. Medida del periodo y la frecuencia.

El osciloscopio nos da de forma directa la frecuencia de la señal. El procedimiento es el siguiente:

1. Conecta la sonda del canal 1 del osciloscopio a la salida del generador de funciones.
2. **Genera una señal de onda cuadrada (digital) de elevada frecuencia, por ejemplo, de 1 MHz, de 5 Voltios de Amplitud pico-a-pico y con 2,5V Offset, es decir, la señal resultante estará comprendida entre 0V (mínimo) y 5V (máximo).** Pulsar Autoset para visualizar la señal.
3. Para medir la frecuencia y las principales características de la señal seleccionar las medidas:

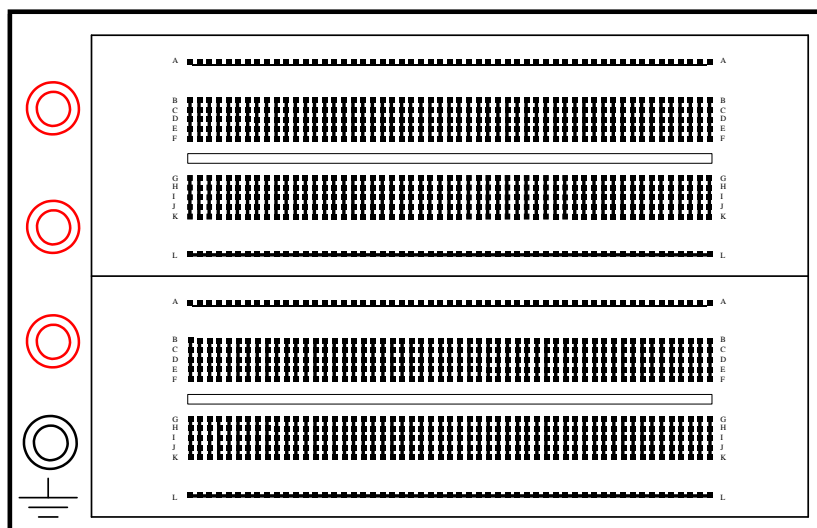
Frecuencia	Vpico-pico	Min.
Max.	T.subida	T.bajada
4. Haz una captura de pantalla  para la documentación de la práctica (CAPTURA_2).

2.4. El Osciloscopio (II). Medidas básicas en 2 canales. Ejemplo de montaje.

Si en el apartado anterior hemos visto diversas formas de medir una sola señal conectada al canal 1 del osciloscopio, a continuación describiremos la manera de poder realizar medidas simultáneas de dos señales utilizando los dos canales de los que dispondremos en cualquier osciloscopio. Para ello vamos a desarrollar un ejemplo completo de cómo montar un sencillo circuito en la Protoboard, introduciéndole posteriormente una señal proveniente del generador de funciones, y visualizando finalmente y de manera conjunta la entrada y la salida del circuito de diversas formas. Todo esto nos servirá como base para realizar correctamente las mediciones en las posteriores prácticas.

2.4.1. Protoboard.

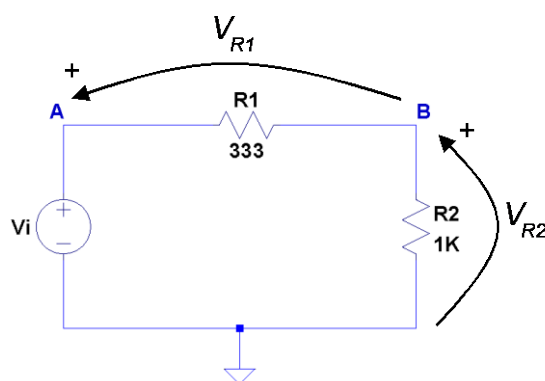
En la placa de montaje o Protoboard implementaremos diferentes circuitos a lo largo de las prácticas. **Dicha placa posee las conexiones internas que se aprecian en la figura**, de tal manera que las aprovecharemos para unir componentes unos a otros reduciendo la necesidad de cables externos para los montajes.



Los conectores redondos de los laterales no están conectados a las placas, son completamente independientes, si bien nos servirán para insertar las bananas o las pinzas de cocodrilo de los conectores de alimentación de la fuente (cables rojo y negro) y así llevar alimentación hasta ellos. Dado que están separados de la zona de montaje, habrá que desenroscar el conector y poner unos cables desde cada uno de ellos hasta una de las tiras de alimentación, normalmente se usa la fila "A" para los 5V (conector rojo) y la fila "L" para tierra (GND, conector negro). En este punto es muy importante hacer notar que **NUNCA SE DEBEN UNIR, BAJO NINGÚN CONCEPTO, LA LÍNEA DE ALIMENTACIÓN POSITIVA (CABLE ROJO) CON LA DE TIERRA (CABLE NEGRO), O EL CABLE ROJO DE LA LÍNEA DE ALIMENTACIÓN POSITIVA DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN CON EL CABLE ROJO DE LA Sonda DEL GENERADOR DE FUNCIONES**, debido a que son dos aparatos que generan una señal y se produciría un cortocircuito provocando que alguno de los aparatos se sobrecargue y que posiblemente los dispositivos montados en la placa se estropeen. Por el contrario, **ES IMPRESCINDIBLE QUE TODOS LOS TERMINALES NEGROS (TIERRA) DE LOS DISTINTOS APARATOS DE GENERACIÓN Y MEDIDA (FUENTE DE ALIMENTACIÓN, GENERADOR DE FUNCIONES Y OSCILOSCOPIO) ESTÉN UNIDOS ENTRE SÍ**, para asegurar que la referencia de los 0 Voltios es la misma para todos ellos.

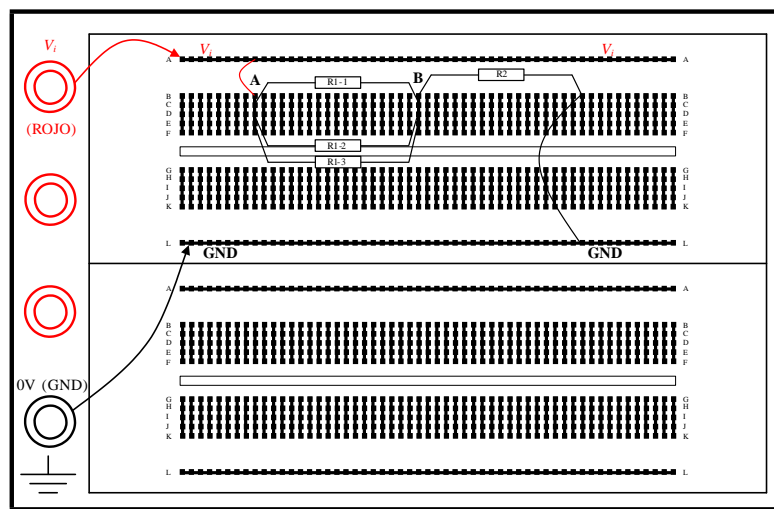
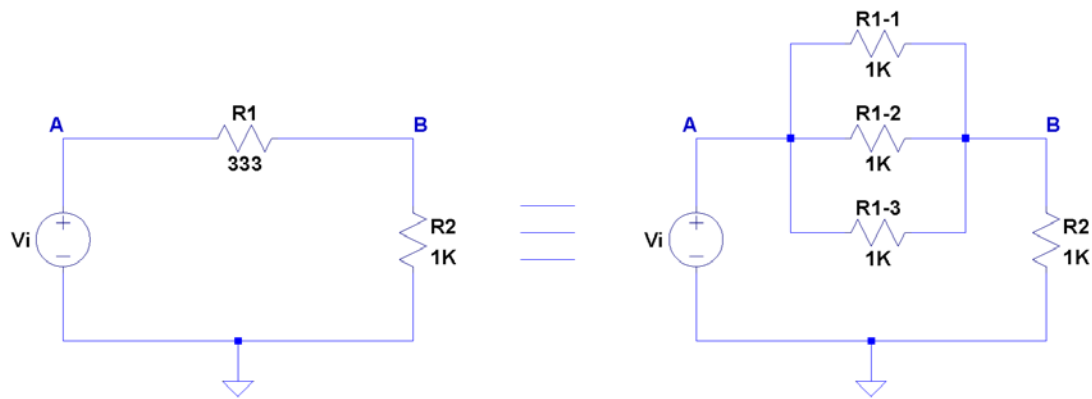
2.4.2. Ejemplo de montaje: Divisor de Tensión.

Vamos a crear un sencillo circuito que represente un Divisor de Tensión. Dicho circuito responde al siguiente esquema:



Vemos cómo hay presente una señal de entrada variable V_i y dos resistencias R_1 y R_2 asociadas en serie, de $333\ \Omega$ y $1\text{ K}\Omega$ respectivamente. La idea de dicho circuito es que la tensión de entrada V_i (tensión entre el punto A y GND) parte caerá en la resistencia R_1 (tensión V_{R1} entre el punto A y el punto B) y otra parte en la resistencia R_2 (tensión V_{R2} entre el punto B y GND), y cuanto más grande sea cada resistencia mayor será la caída de tensión en la misma debido a que la intensidad que las atraviesa es la misma (están en la misma rama, o sea, en serie) y la tensión en una resistencia se rige por la Ley de Ohm: $V = I \cdot R$ (siendo la I constante, si R es más grande, V también lo será). Siempre que se indique una tensión o diferencia de potencial entre dos puntos, el que se refiere en primer lugar será el positivo, y el segundo el negativo por tanto. Con todo esto, representaremos en el canal 1 del osciloscopio la señal de entrada V_i que variará en función del tiempo, y simultáneamente estudiaremos cómo cambian las señales de salida (tensiones en ambas resistencias, V_{R1} y V_{R2}) también en función del tiempo, de manera que lo que haremos será superponer la V_i de entrada con alguna de las otras señales de salida introduciéndola por el canal 2 del osciloscopio.


El montaje en la Protoboard se haría conectando esas dos resistencias ($333\ \Omega$ y $1\text{ K}\Omega$) en serie, pero en el laboratorio sólo disponemos de resistencias de $1\text{ K}\Omega$, así que ¿cuál sería la solución? Pues podemos obtener el equivalente a una resistencia de $333\ \Omega$ asociando 3 resistencias de $1\text{ K}\Omega$ en paralelo, de la siguiente forma:



En los siguientes apartados describiremos cómo realizar las diferentes medidas sobre este circuito montado.

2.4.3. Visualización simultánea de más de una señal.

Para visualizar más de una señal en la pantalla deberemos activar los dos canales del osciloscopio y veremos superpuestas ambas ondas. En el ejemplo concreto que estamos llevando a cabo, los pasos a seguir para estimular la entrada V_i del circuito y ver la salida V_{R2} serán los siguientes:

1. **Configura una señal en el generador de funciones con las siguientes características: Onda triangular, de 5V de amplitud de pico, sin Offset, y de 10 KHz de frecuencia (la señal oscilará por tanto entre -5V y +5V, con 10V de amplitud pico-a-pico)**
2. Aplica la sonda del **canal 1** del osciloscopio al **punto A** del circuito, por lo que estaremos representando en el mismo la tensión entre A y GND, es decir, la propia V_i de entrada y pulsa Autoset para ver la señal.
3. Aplica la sonda del **canal 2** del osciloscopio al **punto B** del circuito. **¿Qué estamos representando en este canal 2? Pues la tensión entre B y tierra, es decir, la caída de tensión en la resistencia R2 (V_{R2})**
4. Representa las señales visualizadas en ambos canales (V_i y V_{R2})
5. Seleccionar para CH1 y CH2 las medidas:
Vpico-pico
Min.
Max.
6. Haz una captura de pantalla  para la documentación de la práctica (CAPTURA_3).

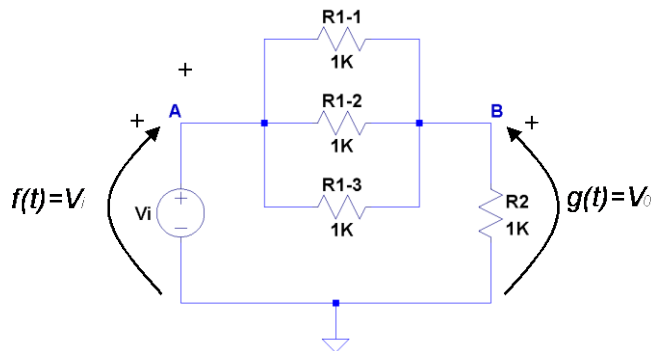
2.4.4. Representación de una tensión frente a otra (modo X-Y): Característica de Transferencia.

En ciertos circuitos es necesario obtener una representación de una onda en función de otra, y no ambas en función del tiempo simultáneamente como hemos hecho con el osciloscopio hasta este momento. Por tanto, tendremos dos funciones dependientes del tiempo como éstas:


$$V_i = f(t) \quad y \quad V_o = g(t)$$

La idea sería representar en la pantalla del osciloscopio $g(t)$ en función de $f(t)$, o dicho de otra manera, $g(t)$ frente a $f(t)$. A este tipo de ejercicios se les denomina de **característica de transferencia**, dado que normalmente la función $f(t)$ es una señal de entrada que le proporcionamos a nuestro circuito (típicamente llamada V_i), y la $g(t)$ es una señal de salida que leemos del mismo (habitualmente la veremos como V_o), por tanto lo que queremos ver es cómo varía la salida V_o en función de cómo cambia la señal de entrada V_i .

Aplicando lo anterior a nuestro ejemplo del divisor de tensión, la $f(t)$ de entrada sería nuestra V_i , y la $g(t)$ de salida tendría que ser una señal que nos interesara medir, como la tensión en la resistencia R2 (V_o):

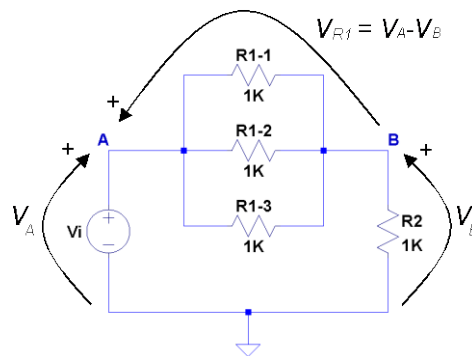


Para visualizar más de una señal en la pantalla deberemos activar los dos canales del osciloscopio y veremos superpuestas ambas ondas. En el ejemplo concreto que estamos llevando a cabo, los pasos a seguir para estimular la entrada V_i del circuito y ver la salida V_o serán los siguientes (los pasos 1 al 5 son los mismos que en el apartado anterior):





1. Configura una señal en el generador de funciones con las siguientes características: Onda triangular, de 5V de amplitud de pico, sin Offset, y de 10 KHz de frecuencia (la señal oscilará por tanto entre -5V y +5V, con 10V de amplitud pico-a-pico)
2. Aplica la sonda del **canal 1** del osciloscopio al **punto A** del circuito, por lo que estaremos representando en el mismo la tensión entre A y GND, es decir, la propia V_i de entrada y pulsa Autoset para ver la señal.
3. Aplica la sonda del **canal 2** del osciloscopio al **punto B** del circuito. ¿Qué estamos representando en este canal 2? Pues la tensión entre B y tierra, es decir, la caída de tensión en la resistencia R2 (V_{R2})
4. Usar el botón Scale de cada canal para seleccionar la misma precisión en la escala vertical (voltios por división) en ambos canales.
5. Representa las señales visualizadas en ambos canales (V_i y V_{R2})
6. Pulsar Utility->Pantalla->Formato->XY.
7. La gráfica resultante es la característica de transferencia del circuito, de manera que en el eje X está representada la función del canal 1 (V_i) y en el eje Y está el canal 2 (V_o).
8. Haz una captura de pantalla  para la documentación de la práctica (CAPTURA_4).

2.4.5. Suma/Resta de señales.

Una vez que sabemos cómo representar 2 señales simultáneamente en la pantalla del osciloscopio vamos a ver cómo hacemos otro tipo de medidas necesarias en algunas ocasiones. En el mismo circuito de ejemplo que estamos realizando, sería necesario hacer la misma medida que en el apartado anterior (tensión en una resistencia) pero para la resistencia R_1 , es decir, habría que **medir la tensión V_{R1} . ¿Se podría hacer directamente pinchando en su lado positivo?** **La respuesta sería NO, debido a que su lado negativo no está conectado a tierra. El osciloscopio siempre mide todas las tensiones respecto a tierra**, es decir, asume que el lado negativo de las medidas siempre corresponde a GND (0V), por lo que si queremos medir la tensión V_{R1} no podríamos hacerlo de manera directa, sino que habría que hacerlo como una diferencia de potencial entre los puntos A y B del circuito, siendo el punto A el positivo y el B el negativo según vemos en la imagen:



Por tanto deberemos representar en el osciloscopio cada una de estas dos señales (V_A y V_B) y calcular con el mismo la diferencia entre ellas para obtener el valor de la tensión V_{R1} . El procedimiento para hacerlo será el siguiente:

1. **Configura una señal en el generador de funciones con las siguientes características: Onda triangular, de 5V de amplitud de pico, sin Offset, y de 10 KHz de frecuencia (la señal oscilará por tanto entre -5V y +5V, con 10V de amplitud pico-a-pico)**
2. Aplica la sonda del **canal 1** del osciloscopio al **punto A** del circuito, por lo que estaremos representando en el mismo la tensión entre A y GND, es decir V_A , y pulsa Autoset para ver la señal.
3. Aplica la sonda del **canal 2** del osciloscopio al **punto B** del circuito. **¿Qué estamos representando en este canal 2? Pues la tensión entre B y tierra, es decir, V_B**
4. **Representa las señales visualizadas en ambos canales (V_i y V_{R2})**
5. Pulsar Math->Operación-> + para obtener la suma de las señales de ambos canales (aparecerá en rojo en la pantalla).
6. Seleccionar para Matem. las medidas:
Vpico-pico
Min.
Max.
7. Para no visualizar el Canal 1 (amarillo), pulsar repetidamente el botón  correspondiente hasta que desaparezca de la pantalla su señal (amarillo).
8. Para no visualizar el Canal 2 (azul), pulsar repetidamente el botón  correspondiente hasta que desaparezca de la pantalla su señal (azul).
9. Haz una captura de pantalla  para la documentación de la práctica (CAPTURA_5) de la suma de las señales.
10. Pulsar Math->Operación-> - para obtener la resta de las señales de ambos canales (aparecerá en rojo en la pantalla).
11. Haz una captura de pantalla  para la documentación de la práctica (CAPTURA_6) de la resta de las señales.

Página intencionalmente en blanco

Resumen de Toma de Resultados en el laboratorio.

En el laboratorio se obtendrán las capturas de pantalla del osciloscopio que se han ido indicando en cada apartado. Como se ha indicado estas imágenes se habrán almacenado en el PenDrive insertado en el conector USB del Osciloscopio.

Estas imágenes deben renombrarse con el nombre CAPTURA_1, CAPTURA_2, CAPTURA_3, CAPTURA_4, CAPTURA_5, CAPTURA_6 respectivamente tal como se indica en cada apartado.

Finalmente se comprimirán todas ellas en un único fichero que será subido al Campus Virtual al final de la sesión de laboratorio.

Este es el resumen de capturas, por apartados:

El Osciloscopio (I). Medidas básicas en 1 canal.

- Medida del periodo y la frecuencia. (**CAPTURA_1**)
- Medidas de tiempos de subida y bajada. (**CAPTURA_2**)

El Osciloscopio (II). Medidas básicas en 2 canales.

- Visualización simultánea de más de una señal: Vi y VR2 en función del tiempo (**CAPTURA_3**)
- Representación de una tensión frente a otra (modo X-Y): Característica de Transferencia VR2 en función de Vi. (**CAPTURA_4**)
- Suma de señales. (**CAPTURA_5**)
- Resta de señales. (**CAPTURA_6**)

Página intencionalmente en blanco

Hojas de entrega previa.

Las **hojas de entrega previa** deben se impresas, rellenas con sus soluciones y entregadas a la entrada de la sesión de prácticas.

Parte 1. Simulación SPICE.

A. Ejercicio personalizado.

Resolver analíticamente y simular un circuito utilizando LTSpice, donde los valores de las resistencias R1, R2, R3, y R4 serán personalizados para cada alumno. Para ello, cada uno debe sumar los números que componen su DNI, cuyo resultado será la variable *total*. Los valores de las resistencias serán entonces:

$$R1 = (\text{total mod } 5) + 3 \text{ (el resultado será considerado en K}\Omega\text{)}$$

$$R2 = (\text{total mod } 5) + 1 \text{ (el resultado será considerado en K}\Omega\text{)}$$

$$R3 = (\text{total mod } 5) + 4 \text{ (el resultado será considerado en K}\Omega\text{)}$$

$$R4 = (\text{total mod } 5) + 2 \text{ (el resultado será considerado en K}\Omega\text{)}$$

donde “total mod 5” es el resto de la división de la variable total entre 5 (nos dará un valor comprendido entre 0 y 4).

Ejemplo: DNI = 12.345.678 \rightarrow *total* = 1+2+3+4+5+6+7+8 = 36;

$$R1 = (36 \text{ mod } 5) + 3 = 4 \text{ (K}\Omega\text{)}$$

$$R2 = (36 \text{ mod } 5) + 1 = 2 \text{ (K}\Omega\text{)}$$

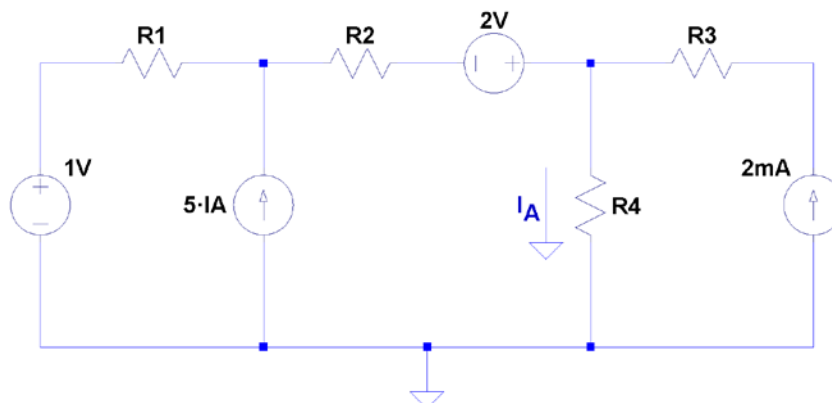
$$R3 = (36 \text{ mod } 5) + 4 = 5 \text{ (K}\Omega\text{)}$$

$$R4 = (36 \text{ mod } 5) + 2 = 3 \text{ (K}\Omega\text{)}$$

A continuación rellenar los siguientes datos con los valores particulares del

alumno: DNI
 total
 total mod 5
 R1
 R2
 R3
 R4

A.1. Resolver de forma analítica el siguiente circuito, donde los valores de las resistencias R1, R2, R3, y R4 son los calculados anteriormente.



Resolución analítica del circuito:

A.2. Simular el mismo circuito utilizando LTSpice y anotar a continuación los valores de todas las incógnitas del circuito, esto es, tensiones en todos sus nodos e intensidades de todas sus ramas. Obtener estos resultados a través de la ventana de resultados que ofrece LTSpice al simular el circuito calculando el punto de operación (análisis .OP).

A.3. Copiar la netlist generada por LTSpice (se obtiene a través del menú View -> Spice NETLIST).

A.4. Subir la simulación de la práctica A al Campus Virtual.

Crear un directorio llamado "Practica1", en cuyo interior se encontrará el circuito que ya se ha simulado y que se llamará como vuestro número de DNI y con extensión .ASC, es por ejemplo, "12345678Z.ASC". Ejecutar el LTSpice, obtener los ficheros de salida, y guardar todo el contenido del directorio en un fichero ZIP ó RAR, subiéndolo a la tarea creada para tal caso en el Campus Virtual. Los ficheros que habitualmente generará el LTSpice tendrán el mismo nombre que se le haya dado al archivo .ASC, pero con extensión .LOG, .RAW y .PLT.