

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO



FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

LABORATORIO DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS I

Uso de LTSpice

Profesor

Ing. Juan Pablo VIZCARDO ZUNIGA

Alumno

Edison ABADO ANCCO

Código

145012

Correo

145012@unsaac.edu.pe

29 de junio de 2021

Resumen

LTSpice es un programa muy versatil para simular circuitos electrónicos pudiendo diseñar modelos propios y modificar modelos de componentes ya definidos. Podemos ver un análisis gráfico o matemático ingresando gramática matemática directamente o siguiendo modelos de los componentes.

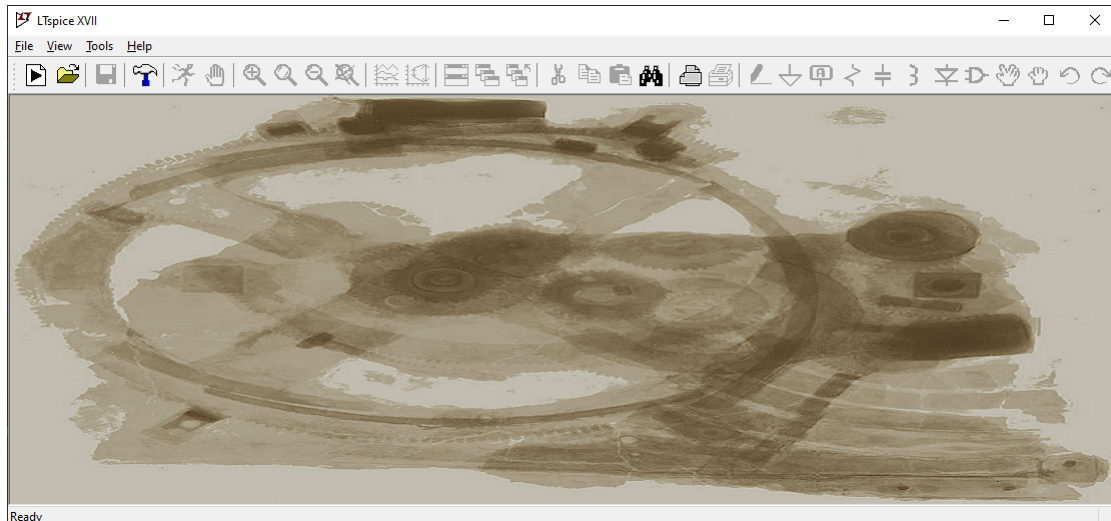
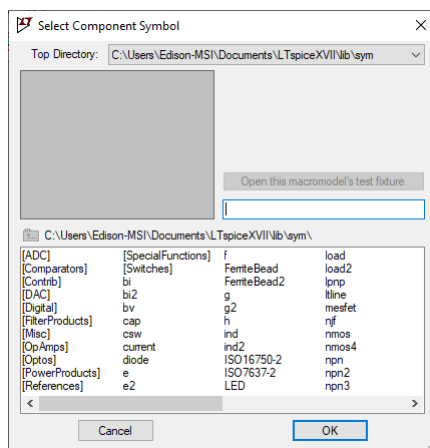
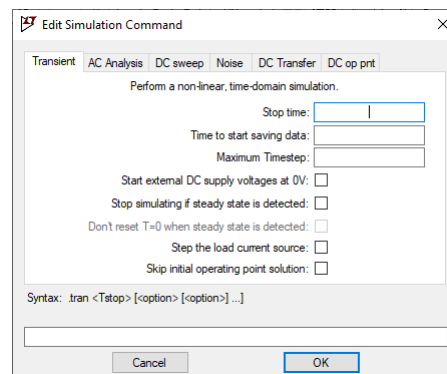


Figura 1: Ventana de inicio de LTSpice



(a) Menú de componentes



(b) Ventana para introducir comandos de Simulación.

Figura 2: Ventanas de opciones en LTSpice

1. Conceptos iniciales

Para poder comenzar con el uso de LTSpice empezamos con descargar e instalar el programa desde su página oficial <https://www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html>, o buscando en algún motor de búsqueda: LTSpice que nos llevará a su página oficial. Debemos aclarar que su uso es totalmente libre y su uso se puede extender a S.O. como windows y distribuciones de Linux. Al terminar de descargar el archivo con extensión .exe (Para Windows), se comienza la instalación aceptando términos y condiciones como con cualquier otro programa.

Después de la instalación, iniciamos el programa, tendremos una ventana como se muestra en la figura (1). Tiene una ventana simple, con muchas opciones en la barra de herramientas superior que se muestra. Para iniciar, damos click en **File > New Schematic** o presionamos **Ctrl + N**.

1.1. Creando un circuito

Para ello nos fijamos en los íconos de la barra superior de herramientas de donde podemos agregar diferentes componentes. Podemos ir haciendo Click en cualquiera de ellos e ir viendo todos los componentes que podemos usar para una simulación. Se pide al lector que sea curioso con todas las opciones y vaya explorando la función de cada opción.

A continuación se presenta un circuito elemental, en la que se tiene resistencias y una fuente de Tensión DC. Para encontrar componentes en mayor variedad, se puede hacer Click en el ícono que

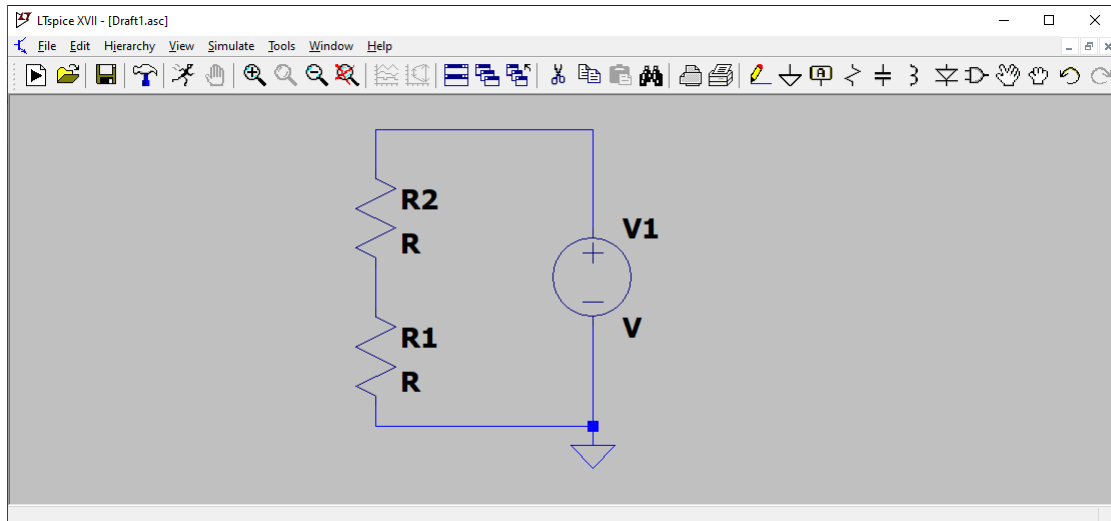


Figura 3: Circuito resistivo elemental.

tiene forma de una compuerta AND, con lo que se mostrará un menú con mayor variedad como se muestra en la figura (2a). Para unir las terminales de nuestros componentes, usamos la herramienta de **Cable**, que tiene el ícono de un lapiz; una vez seleccionada la herramienta, empezamos a unir cada terminal, hasta tener un circuito parecido a la figura (3). Para poder fijar los parámetros de los componentes se hace **Click derecho** sobre el componente. También se puede agregar texto, ya sea como comentario o como título buscando en la barra de herramientas el correspondiente ícono, o simplemente presionando la letra **t**.

Para comenzar con la simulación se busca la Herramienta **Run**, lo que generará una ventana como se muestra en la figura (2b). podemos definir la simulación para 1 segundo (en la opción de **Stop Time**), lo que generará otra ventana. Para medir los valores de tensión por ejemplo, hacemos **Click** con la herramienta que de genera en el puntero, con el seleccionamos la una vía, y en la ventana generada, mostrará el nivel de tensión. Podemos hacer esto para otras vías de conexión, lo que generará mediciones con diferentes colores. Para generar más opciones en la ventana de medición, podemos hacer **Click** en el título del nombre de nuestro parámetro medido que generará otro cursos dándonos valores exactos. Para saber la corriente por ejemplo, hacemos **Click** sobre un componente, en cuanto se nos muestre un ícono característico de corriente en cuanto pasemos el cursor por el componente. También es posible cambiar el nombre de nuestras vías, usando la herramienta de **Label Net**, seleccionándola, y uniéndola a una vía.

Para cambiar en color u otras características (como hacer operaciones matemáticas para hallar potencias, u otros valores numéricos que son necesarios en circuitos más complejos) de nuestras mediciones, solo hace falta hacer doble **Click** sobre el nombre correspondiente. Para medir tensiones de un punto con respecto a otro en específico, se hace **Click sostenido**, y se suelta en otra vía, este procedimiento hará una medición que se mostrará en la ventana correspondiente.

Algo adicional es que podemos inicializar la tensión en 0 V, necesario para capacitores o inductores por ejemplo, para poder ver un gráfico (haciendo Zoom con su respectiva herramienta) de comportamiento real.

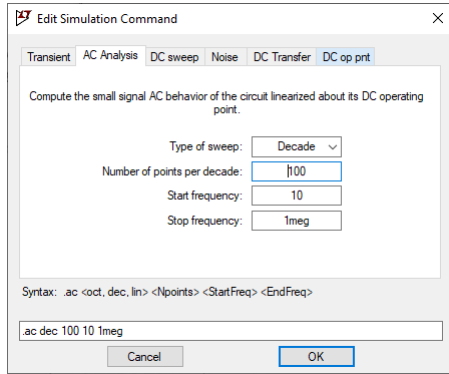
2. Simulación AC de circuito de control de tono Baxandall

Para esta simulación, abrimos un nuevo esquemático, y luego editamos el control de Comandos de simulación en la pestaña de **AC Analysis** como en la figura (4a).

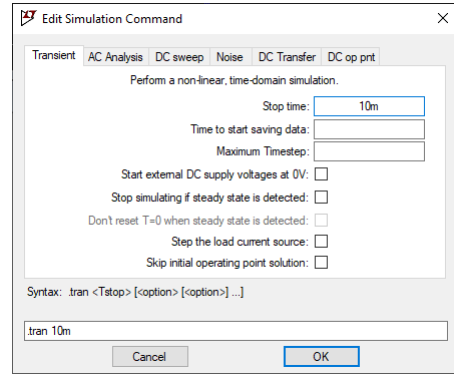
Después de insertar una fuente de tensión, y desplegar su opción para editar sus parámetros, se hace **Click** en la opción **Advanced** para que podamos ingresar parámetros más avanzados, como de fuente AC, fase y otros según se necesite. Para nuestra simulación pondremos los valores como se muestran en la figura (5a).

Nuestra simulación será un simple filtro pasa bajo, para ello incluimos una resistencia y un capacitor en serie. Para ello seteamos el resistor en $2K\Omega$ y el capacitor en $100nF$. Para girar un componente, se debe presionar **Ctrl + R**.

Luego damos **click** en simular, y vemos nuestro gráfico al seleccionar las vías de la resistencia y el capacitor para ver la tensión. con ello veremos en la ventana de simulación en decibelios (que solo

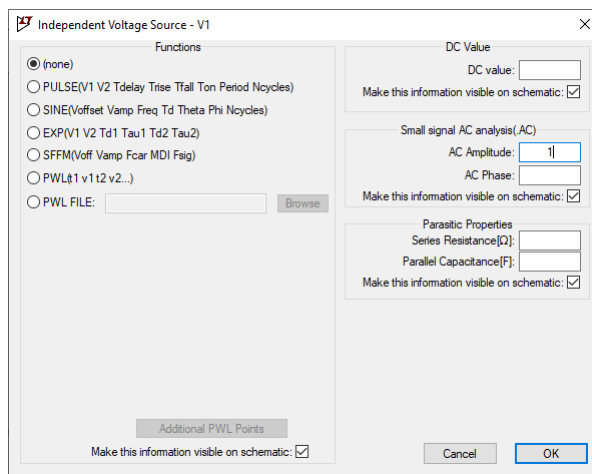


(a) Comando de Simulación del primer circuito

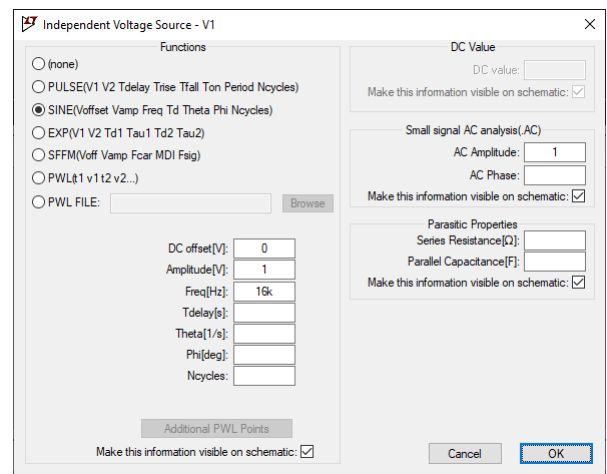


(b) Comando de Simulación de la copia.

Figura 4: Comando de Simulación.



(a) Seteo del primer circuito.



(b) Seteo para la copia del primer circuito.

Figura 5: Ventanas de seteo de la fuente de tensión.

es conversión matemática) y grados.

Luego abrimos otro esquemático, donde copiamos el primer circuito (con la herramienta copiar de la barra de herramientas) y seteamos la fuente como se muestra en la figura (5b). También editamos el control de simulación como se muestra en la figura (4b).

Hacemos Zoom en el gráfico transitorio del segundo circuito y tendremos nuestro resultado final. Las ventanas se acomodan bien, y podemos observar nuestras simulaciones como se muestra en la figura (6)

Ahora generamos un nuevo circuito, un circuito un poco más complejo que tenga resistencias, capacitores y potenciómetros. Dado que LTSpice no tiene un componente llamado potenciómetro, podemos crear uno.

Para crear un potenciómetro, después de tener una determinada disposición de resistencias, abrimos la ventana de **SPICE Directive**, o presionamos la tecla **s**. En esta ventana podemos hacer operaciones y demás a fin de simular un comportamiento del potenciómetro. Llamaremos a esta ventana el **SPICE Directive** en adelante. Como ejemplo escribimos lo que se muestra en la figura (7) (`.param pot1 100k` y `.step param pot1dev 1 99 10` para ambos potenciómetros), y tendremos los gráficos por pasos que se también se muestra en la ventana superior de la misma imagen.

Los gráficos obtenidos se pueden individualizar a solo un parámetro, ya sea tensión, corriente, fase, etc. de acuerdo a lo que se necesite.

3. Directivas .step y .param

Para poder entender mejor, podemos cerrar todo lo avanzado, y abrir un nuevo esquemático, luego dirigimos a la pestaña de **Help** de la ventana principal, mostrándonos la ventana que se muestra en la

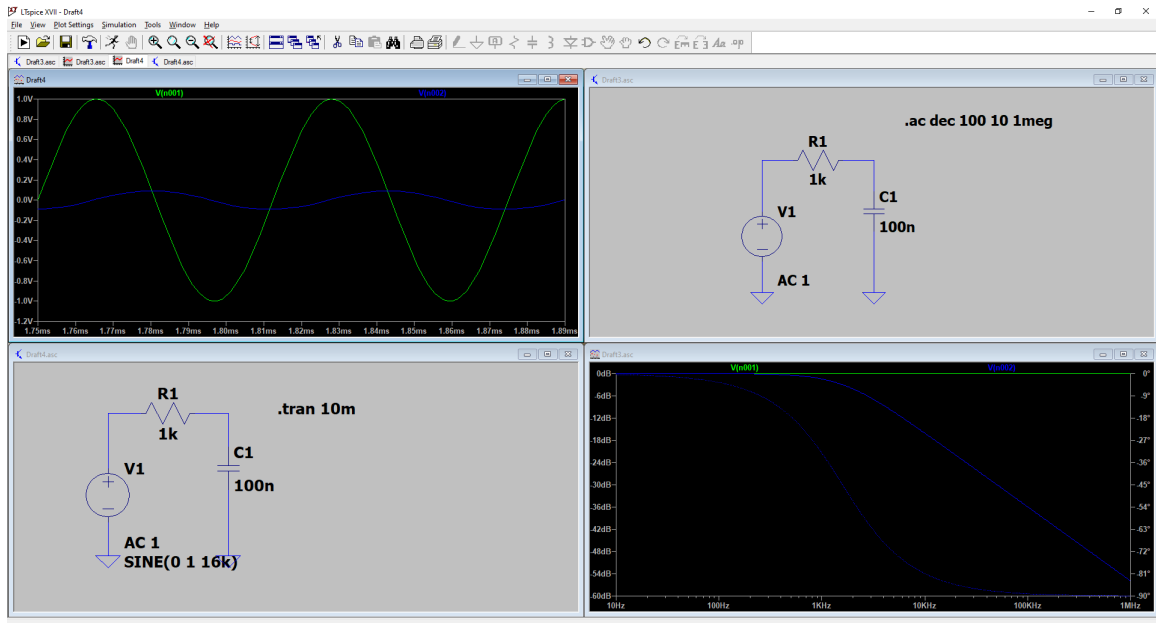


Figura 6: Arreglo de dos circuitos con sus gráficos

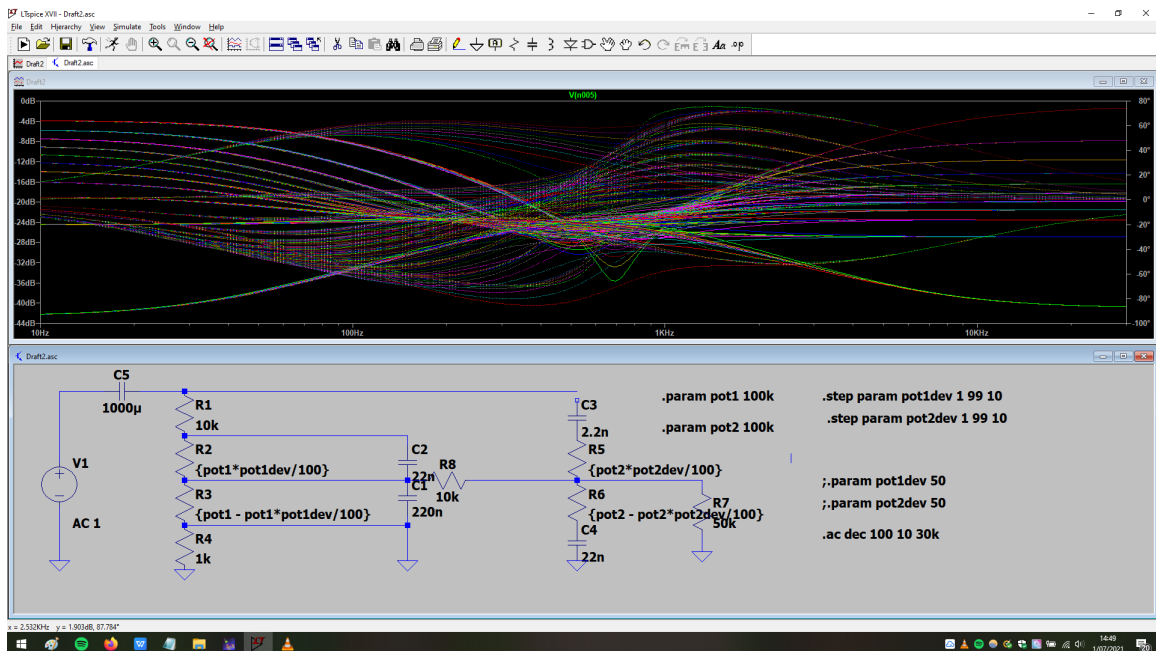


Figura 7: Simulación final de un circuito más elaborado con graficos por pasos.

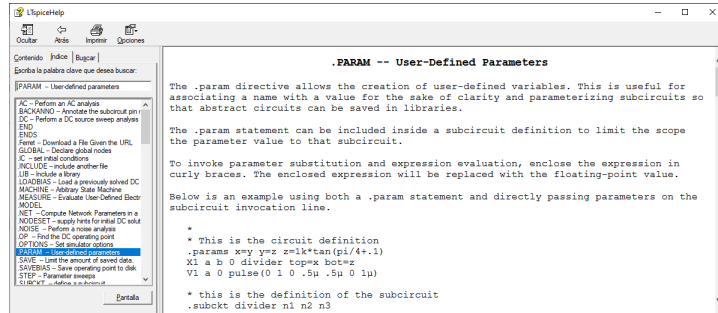
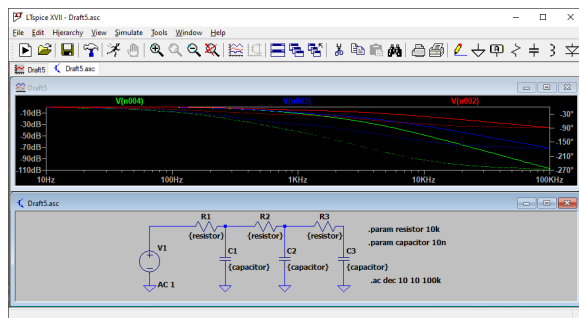
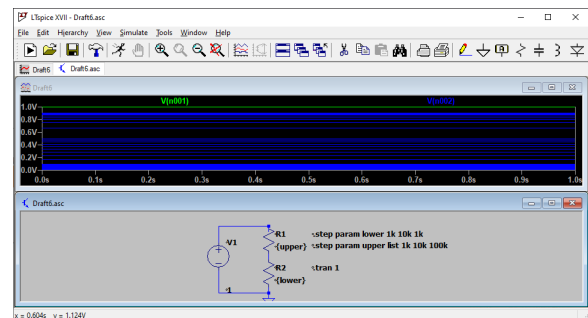


Figura 8: Ventana de ayuda de LTSpice.



(a) Otro ejemplo con la directiva `.param`.



(b) Otro ejemplo con la directiva `.step`.

Figura 9: Uso de directivas.

imagen (8). En el explica todas las directivas que se pueden usar, con ejemplos sencillos y prácticos, pero en este capítulo explicaremos las directivas `.step` y `.param`.

Como otro ejemplo se tiene el circuito con las directivas que se indican en la figura (9a), en el cual se muestra con todo y gráficos para las tres salidas. Una simulación parecida, pero usando la directiva `.step` se muestra en la imagen (9b) junto con su respectivo gráfico.

4. Importar Librerías y modelos de componentes

Todos tuvimos en algún momento la necesidad de usar un componente específico, y el no encontrarlo entre el catálogo de dispositivos que se ofrecen en determinado simulador, es un gran problema porque la simulación no se podría hacer de manera correcta.

Para poder solucionar ese problema, LTSpice permite la importación de librerías y modelos de otros componentes, y los pasos para hacerlo se muestran a continuación.

4.1. Buscar en un Navegador

Para este ejemplo buscamos el modelo de un diodo, el diodo `1n4004` para ser más específicos. Lo buscamos como `1n4004 spice model`. En nuestro ejemplo entramos al modelo de la página <https://www.onsemi.com> y hacemos click en donde señala **Simulation Model >Spice Model** lo que hará que se descargue un archivo de extensión `.LIB`.

4.2. Edición en LTSpice

Lo siguiente es abrir el archivo con un editor de texto, puede ser Notepad de Windows con lo que tendremos la información de la librería como se muestra en la figura (10). Luego copiamos tan solo el modelo para crear una nueva directiva, presionando la tecla `S`, y la colocamos en la ventana del esquemático, como se muestra en la figura (11).

Para enlazarlo al diodo ya exportado en el esquemático, cambiamos el nombre del diodo como ya sabemos por el nombre del modelo que escribimos en la directiva, que en nuestro caso sería `D1n4004r1`.

Otra forma de incluir una librería, es viendo lo que describe `.include`, información que podemos encontrar en la pestaña de **Help >LTSpiceHelp**. En el dice que podemos incluir nuestro fichero `.LIB` en un directorio, el cual por defecto podría ser el que muestra en el texto, o podría ser el que

```

1N4004RL - Notepad
File Edit Format View Help
*****
* Model Generated by MODEPEX *
* Copyright(c) Symmetry Design Systems *
* All Rights Reserved *
* UNPUBLISHED LICENSED SOFTWARE *
* Contains Proprietary Information *
* Which is The Property of *
* SYMMETRY OR ITS LICENSORS *
* Modeling services provided by *
* Interface Technologies www.i-t.com *
*****
* MODEL D1n4004rl *
+IS=5.31656e-08 RS=0.0392384 N=2 EG=0.6
+XTI=0.05 BV=400 IBV=5e-08 CJO=1e-11
+VJ=0.7 M=0.5 FC=0.5 TT=1e-09
+KF=0 AF=1
* Model generated on October 12, 2003
* Model format: PSpice
Ln 12, Col 1 100% Windows (CRLF) UTF-8

```

Figura 10: Modelo Spice del diodo 1n4004.

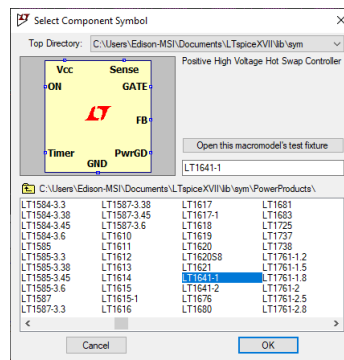


Figura 11: Modelo Spice del diodo 1n4004 en un circuito elemental.

hayamos elegido cuando instalamos LTSpice. Po lo general debemos copiar el fichero a `.../lib/sub`. Luego, en la simulación, copiamos el nombre del fichero con todo y extensión y la agregamos con la ventana de **SPICE Directive** comenzando con `.inc D1n4004rl.LIB` por ejemplo. Luego simulamos y obtendremos el mismo resultado. También se puede cambiar el nombre del diodo desde el código fuente, yendonos a la carpeta de `.../lib/cmp` donde podemos seleccionar el fichero de diodos por ejemplo, y buscar el diodo que queremos modificar. Para comprobar su funcionamiento, hacemos la prueba de simulación y tendremos un modo más de edición de parámetros de un dispositivo.

Siguiendo este mismo procedimiento, podemos agregar multiples dispositivos, de diferentes páginas tan solo fijándonos que el modelo matemático que buscamos está en **Spice Model**. Al final, viendo el código fuente de las librerías que se están usando, podemos crear nuestros propios dispositivos con parámetros específicos que necesitamos para una simulación. Podemos crear modelos a partir de componentes ya existentes. Las posibilidades son muy diversas, y el alcance de simulación solo estará limitada por las habilidades de la persona a cargo.

5. Ejemplos y simulaciones para divertirse

LTSpice nos da la opción de analizar una gran variedad de circuitos ya diseñados, a fin de que podamos variar sus parámetros y ver el comportamiento en la ventana de gráficos usando diferentes unidades. Para ello no hace falta más explicación, ya depende del grado de curiosidad del lector para poder pasar mucho tiempo analizando, simulando, variando parámetros viendo el comportamiento en diferentes condiciones de todos los circuitos que se muestran. A continuación se presentan dos formas para poder jugar con estos circuitos.

5.1. Circuitos a partir del catálogo de componentes

Lo primero que hacemos es ir al ícono para elegir componentes, y ya en la ventana elegir un componente de nuestra preferencia, desde resistencias hasta compejas fuentes de tensión o amplificadores muy elaborados. Lo que se mostrará es algo asó como la figura (12), donde una vez que hayamos seleccionado el componente de nuestra preferencia, le daremos click en la opción de **Open this macromodel's test fixture**. Luego solo queda jugar con los parámetros y ver el comportamiento en el monitor de gráficos.

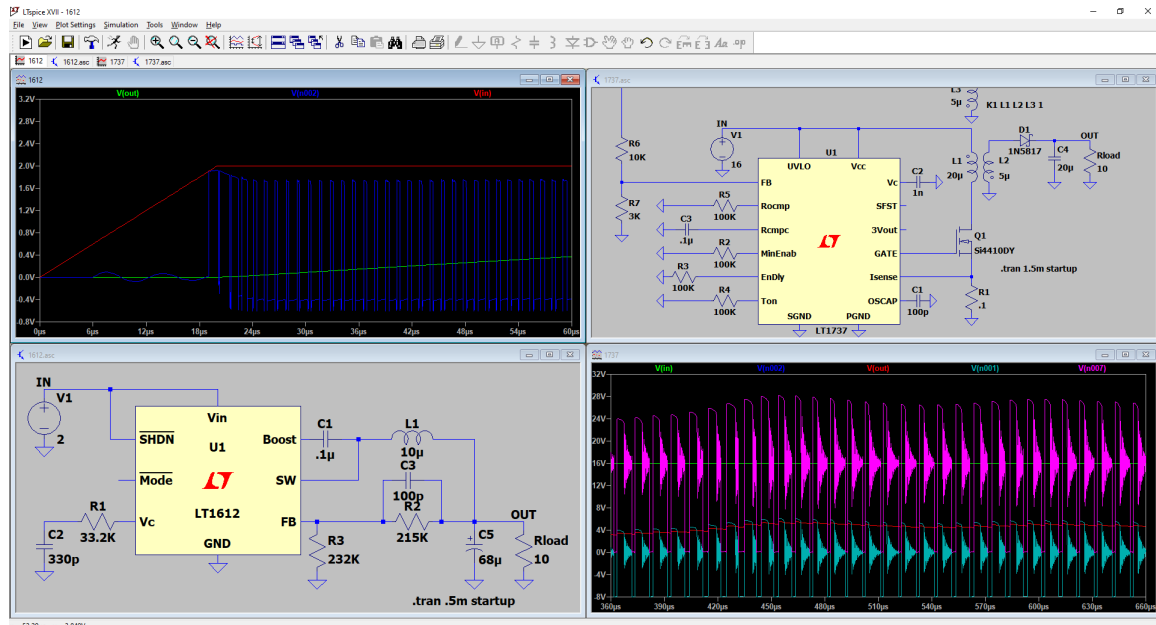


Figura 12: Simulaciones con circuitos prediseñados para poder ver el comportamiento del componente de preferencia.

5.2. Abriendo diseños desde el directorio

Para ello nos vamos a la pestaña de **Open** y nos dirigimos a la carpeta `.../LTspiceXVII/examples`, donde tendremos **jigs** y la otra carpeta **Educational**. ambas carpetas guardan una gran variedad de circuitos que podemos ir explorando a fin de afianzar nuestros conocimientos de electrónica y ver comportamientos de circuitos reales, con funcionamiento comercial y de investigación. En la imagen (13) se muestra unos ejemplos con los parámetros que podemos ver en el catálogo de circuitos presentados.

6. Conceptos de FFT y declaración `.four`

Una manera muy sencilla de ver la FFT de una fuente sencilla que se crea como en la imagen (14) es haciendo **click** derecho en el monitor de gráficos y luego ir a **View >FFT**, luego seleccionamos nuestra fuente y podremos ver la FFT.

Se puede ver mucho ruido, y por supuesto, lo que esperábamos, la muestra en 1KHz.

Para mejorar nuestra salida, vamos a la pestaña de ayuda, para buscar `.options`. En el buscamos `numdgt` que nos dará doble precisión según lo descrito. Luego la agregamos a nuestra simulación como lo hacíamos con `.step` por ejemplo. agregamos `.options numdgt = 7`. Lo siguiente que buscamos en `.options` es `plotwinzise` que nla usamos para comprimir mejor nuestros datos. Agregamos `.options plotwinzise = 0`. Esto nos dará una vista de FFT más limpia que el inicial, como se muestra en la figura (15)

El ruido que aún se ve es debido a las muestras que se toman en la simulación, por lo que podemos variar el **Maximum Timestep** en nuestro comando de simulación con 100n segundos por ejemplo. Haciendo pruebas, y viendo que la computadora se tarda un poco en generar las muestras, se probó con un **Timestep** de 1n segundo, y el resultado es lo que se muestra en la imagen (16). Lo que también se puede hacer es aumentar el **Stop Time** del panel de simulación para generar aparente limpieza en el resultado.

También se puede usar la declaración `.four`, y la podemos ver, como es de costumbre, desde **LTspiceHelp**. En el podemos ver que es posible agregar la frecuencia, el número de armónicos, de periodos y lo demás, en el orden que señala su descripción. Para el ejemplo agregamos `.four 1000 10 100 v(referencia)`. Luego vemos en la pestaña de **View >SPICE Error Log**, donde podremos ver la data como se muestra en la figura (17)

Ahora creamos un circuito sencillo, introducimos valores (ver figura (19)) y simulamos con lo ya aprendido. Vemos el error de armónicos (figura (18)) y veremos el gráfico final de la figura (19) mucho más aceptable, y con menos ruido que en un inicio.

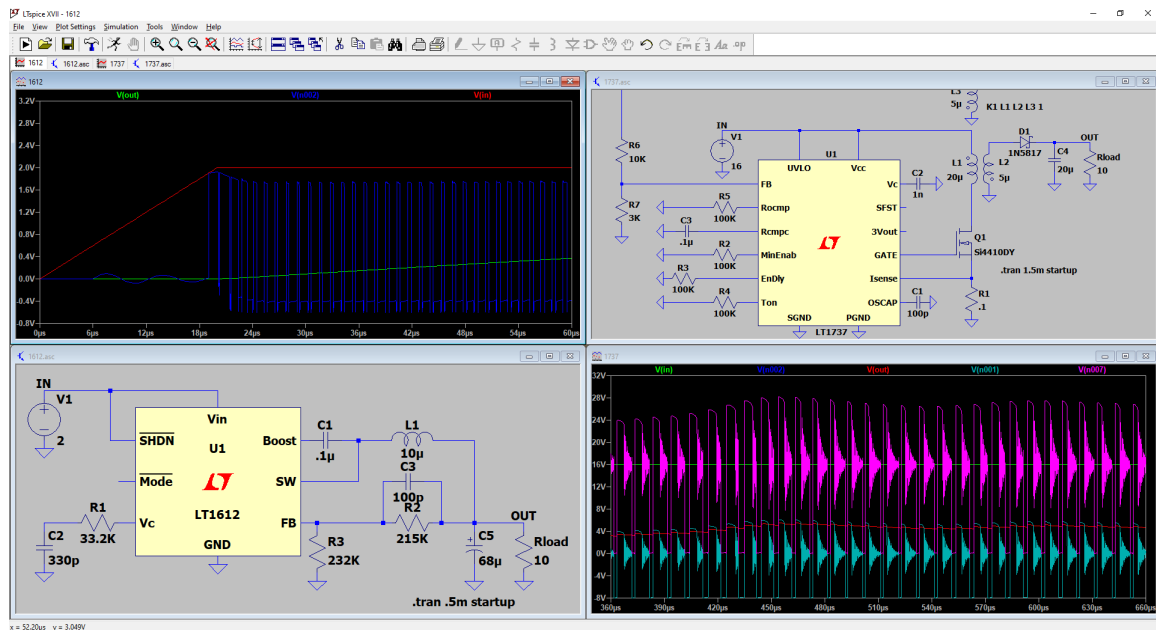


Figura 13: Circuitos completos y funcionales listos para su uso.

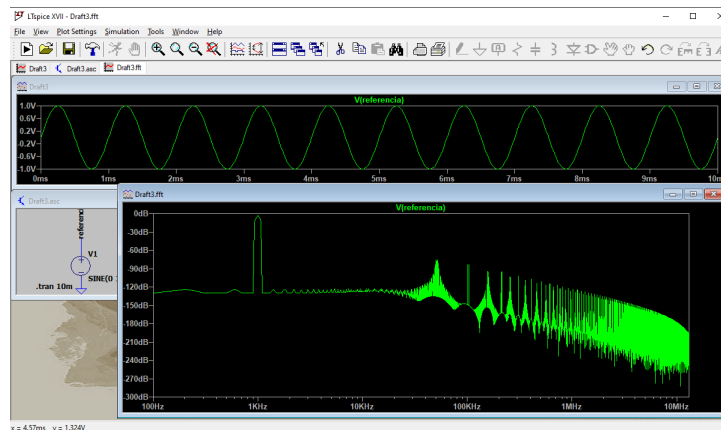


Figura 14: Vista de FFT para una fuente de 1KHz con amplitud de 1V.

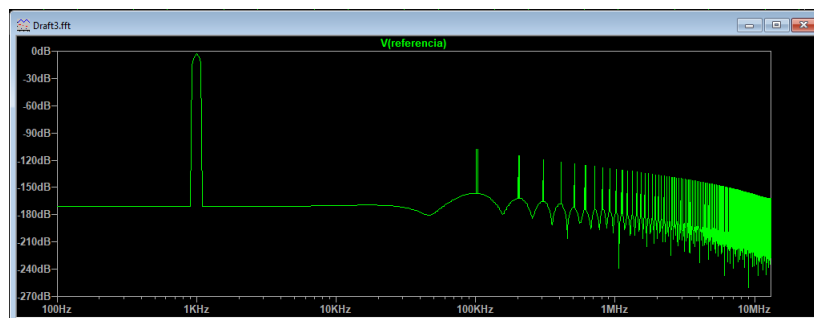


Figura 15: Vista de FFT para una fuente de 1KHz con amplitud de 1V usando `.options numdgt = 7` y `.options plotwinsize = 0`.

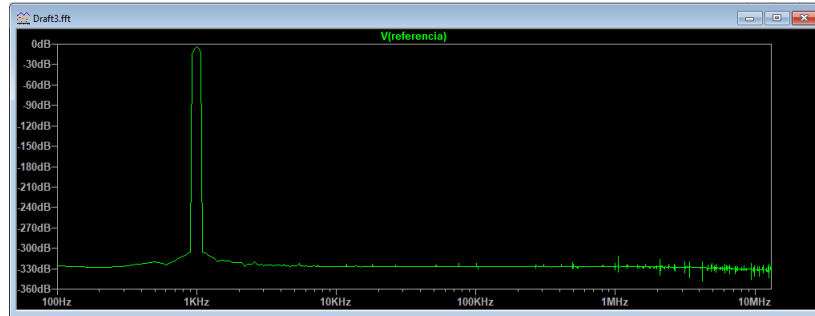


Figura 16: Vista de FFT para una fuente de 1KHz con amplitud de 1V usando .options numdgt = 7 y .options plotwinsize = 0. para un Timestep de 1n segundo.

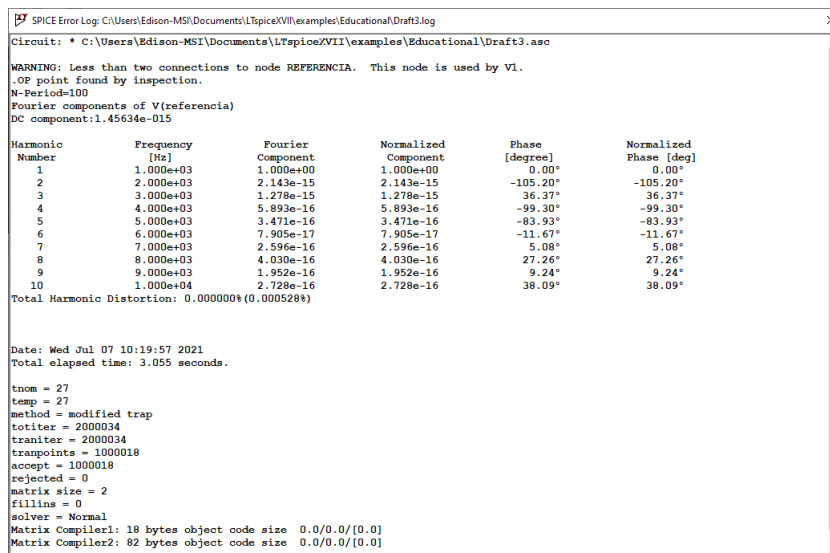


Figura 17: Datos mostrados de la FFT.

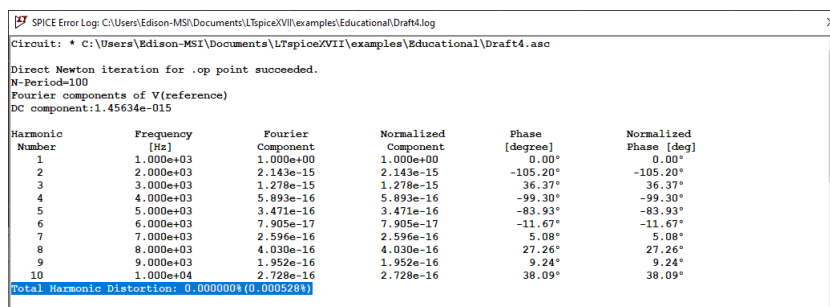


Figura 18: Datos mostrados de la FFT.

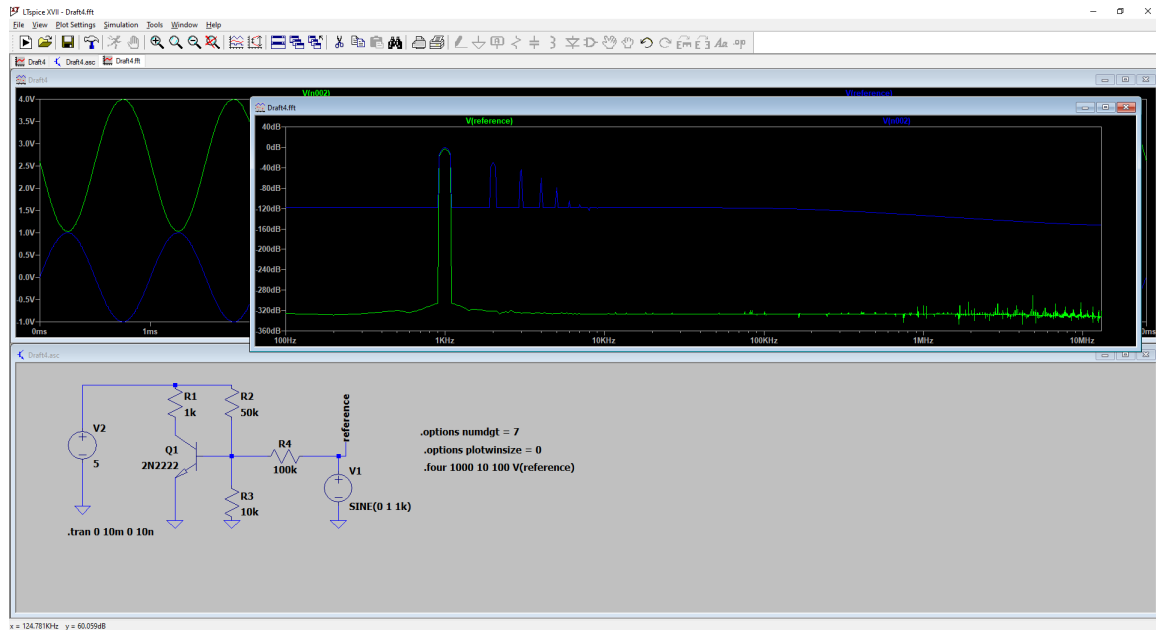


Figura 19: Resultado con el circuito sencillo que muestra la FFT.

7. Fuentes de Tension y Corriente dependientes.

Vamos a LTSpiceHelp para ver `.E` que es nuestra fuente de voltaje dependiente con lo que ya podemos ver toda su descripción ahí. para agregar el componente en nuestro esquemático, agregamos `e` de nuestro catálogo de componentes y vamos armando un circuito sencillo como se muestra en la figura (20) las diferentes configuraciones y sus usos se describen en la pestaña de LTSpiceHelp. Podemos ver las fuentes `.e`, `.g`, `.h`, `.f` o `B`. para usar formulas matemáticas para manejar fuentes dependientes con modelos matemáticos. esto puede ser util para modelar transistores como fuentes dependientes por ejemplo.

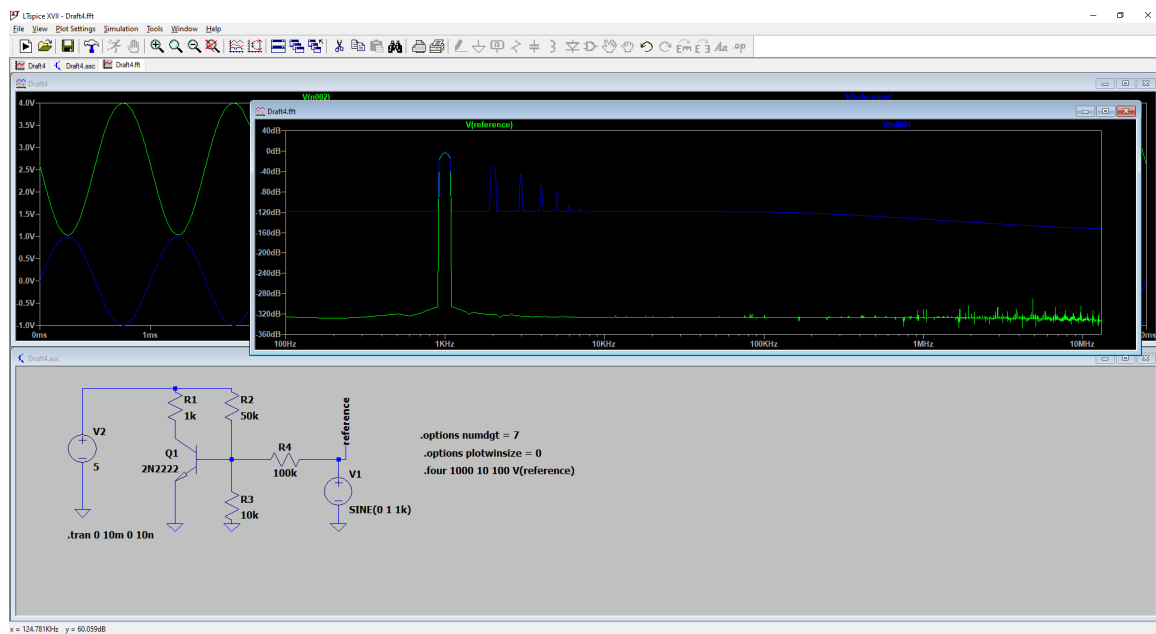


Figura 20: Fuente de tensión y corriente dependiente.