



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

U
L
A

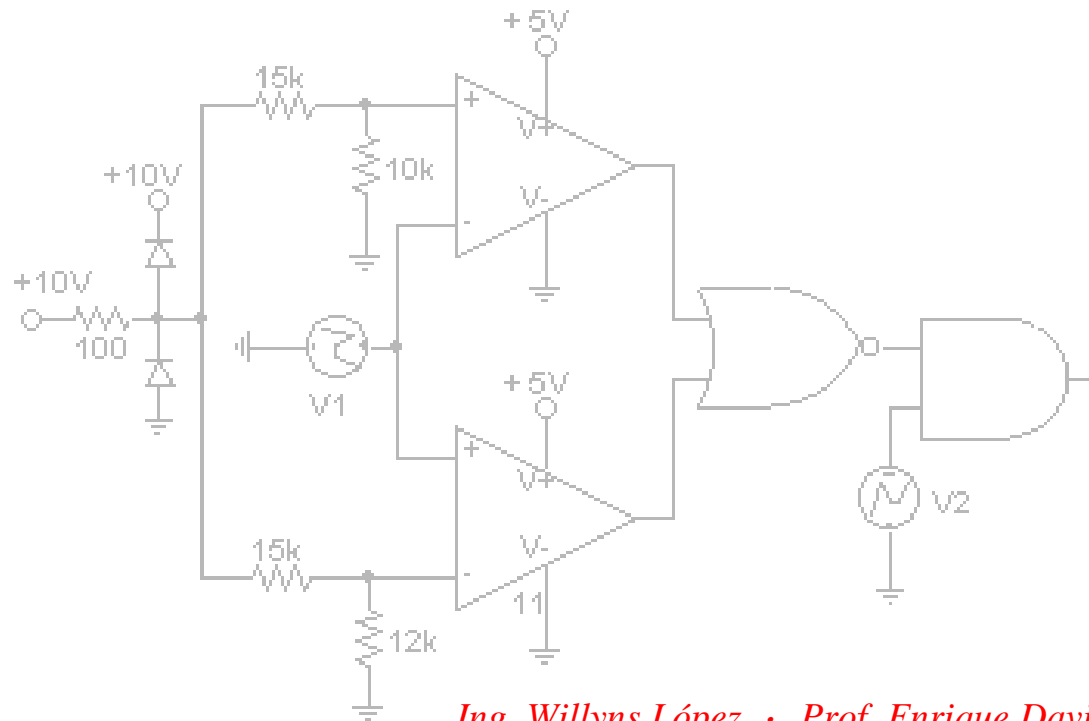
RELEASE

8

It Sets
the Standard for
Desktop EDA.

DesignLab™
Start to Finish
EVALUATION
COPYRIGHT © 1997 MICROSIM CORPORATION

Simulación de transitorios en circuitos eléctricos y/o electrónicos utilizando el programa DesingLab Eval 8 de *MicroSim Corporation*



Ing. Willyns López · Prof. Enrique Davis

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
1. PROGRAMA SCHEMATICS PARA DIBUJO DE CIRCUITOS	1
1.1 El programa <i>Schematics</i> .	1
1.2 Entorno del programa <i>Schematics</i> .	1
1.2.1 La barra de menús y la barra de herramientas de <i>Schematics</i> .	2
1.2.2 Descripción de los botones principales de la barra de herramientas.	3
1.3 Dibujo de circuitos en el programa <i>Schematics</i> .	4
1.4 Preparación de circuitos para análisis transitorio.	6
1.5 Herramienta Draw Block.	7
2. PROGRAMA <i>MICROSIM PROBE</i> PARA GRAFICAR SIMULACIÓN.	9
2.1 El programa MicroSim Probe.	9
2.2 Barra de menús y de herramientas del programa <i>MicroSim Probe</i> .	9
2.2.1 Descripción de los botones principales de la barra de herramienta de <i>Probe</i> .	10
2.3 ¿Cómo agregar nuevas gráficas en la misma ventana?.	11
2.4 ¿Cómo agregar un nuevo Plot (ventana gráfica)?.	12
2.5 ¿Cómo modificar los límites de los ejes?.	12
2.6 ¿Cómo obtener valores de variable o parámetro analizado y tiempo?.	13
3. EJEMPLOS DE SIMULACIONES CON SCHEMATICS, PSPICE Y PROBE.	14
3.1 Ejemplo N° 1: Simulación de circuito RC con alimentación de señal.	14
3.2 Ejemplo N° 2: Simulación de circuito con comparador y transistor.	16
3.3 Ejemplo N° 3: Simulación de circuito con diodo.	18
3.4 Ejemplo N° 4: Simulación de circuito con Integrado 555.	19
3.5 Ejemplo N° 5: Elaboración de señal diente de sierra utilizando lógica digital.	20
3.6 Ejemplo N° 6: Circuito VCO.	22
3.7 Ejemplo N° 7: Circuito con Triac (cálculo de potencia).	23
3.8 Ejemplo N° 8: Respuesta de un filtro activo.	28
3.9 Ejemplo N° 9: Control independiente de ángulos de disparo en semiciclo positivo y negativo de onda de voltaje.	29
4. PROBLEMAS PROPUESTOS.	34
4.1 Problema N° 1.	34
4.2 Problema N° 2.	34
4.3 Problema N° 3.	34
4.4 Problema N° 4.	35

INTRODUCCIÓN

La finalidad de este trabajo, como su título lo indica es orientar al lector en la simulación de transitorios de circuitos eléctricos y/o electrónicos utilizando para ello el software de aplicación *DesignLab Eval 8* de *MicroSim Corporation*.

Este paquete en realidad posee muchas aplicaciones interrelacionadas entre sí que pueden realizar diversas funciones, pero nuestro enfoque será en el programa *Schematics*, de *MicroSim Eval 8* en el cual pueden dibujarse circuitos para simulación de transitorios y en los paquetes llamados por este programa para realizar las funciones de simulación transitoria (*PspiceAD*) y la respuesta gráfica transitoria (*Probe* ó *MicroSim Probe*).

Al final de este curso introductorio de realizarán unos ejemplos detallados de análisis transitorio a manera de dar una mejor visión al lector a cerca de las potencialidades de este paquete y definir también las limitaciones del mismo.

1. PROGRAMA SCHEMATICS PARA DIBUJO DE CIRCUITOS

1.1 El programa *Schematics*.


Schematics es un programa de interfaz gráfica en el cual pueden colocarse directamente y de manera muy sencilla componentes eléctricos y/o electrónicos e interconectarlos entre sí, para realizar simulaciones. Este programa posee una interfaz directa a otros programas de *DesignLab Eval 8*, que le permiten integrar en un solo ambiente diferentes funciones. En forma resumida mediante *Schematics* usted puede realizar las siguiente tareas:

- Diseñar y dibujar circuitos.
- Simular circuitos utilizando *Pspice*.
- Analizar resultados de simulación de circuitos a través gráficos elaborados mediante el programa *Probe*.
- Tener acceso directo a los diferentes dispositivos analógicos y digitales contenidos en la librería del paquete en general.

Existen otras funciones que puede realizar *Schematics*, pero las mismas están fuera del alcance de este curso introductorio, por lo cual solo nos dedicaremos a estudiar en detalle los puntos mencionados anteriormente.

1.2 Entorno del programa *Schematics*.

Para arrancar un nuevo proyecto de simulación de transitorio utilizando el programa *Schematics* de *MicroSim Corporation* usted debe ir al menú de **inicio** en la barra de tareas de

Microsoft *Windows*, hacer click y posteriormente a *programas/DesignLab Eval 8* en el cual debe seleccionar la opción *Schematics* que presenta el siguiente icono: 

Una vez realizado esto aparecerá una ventana similar a la mostrada en la figura 1.1, que representa la interfaz gráfica del programa *Schematics*.

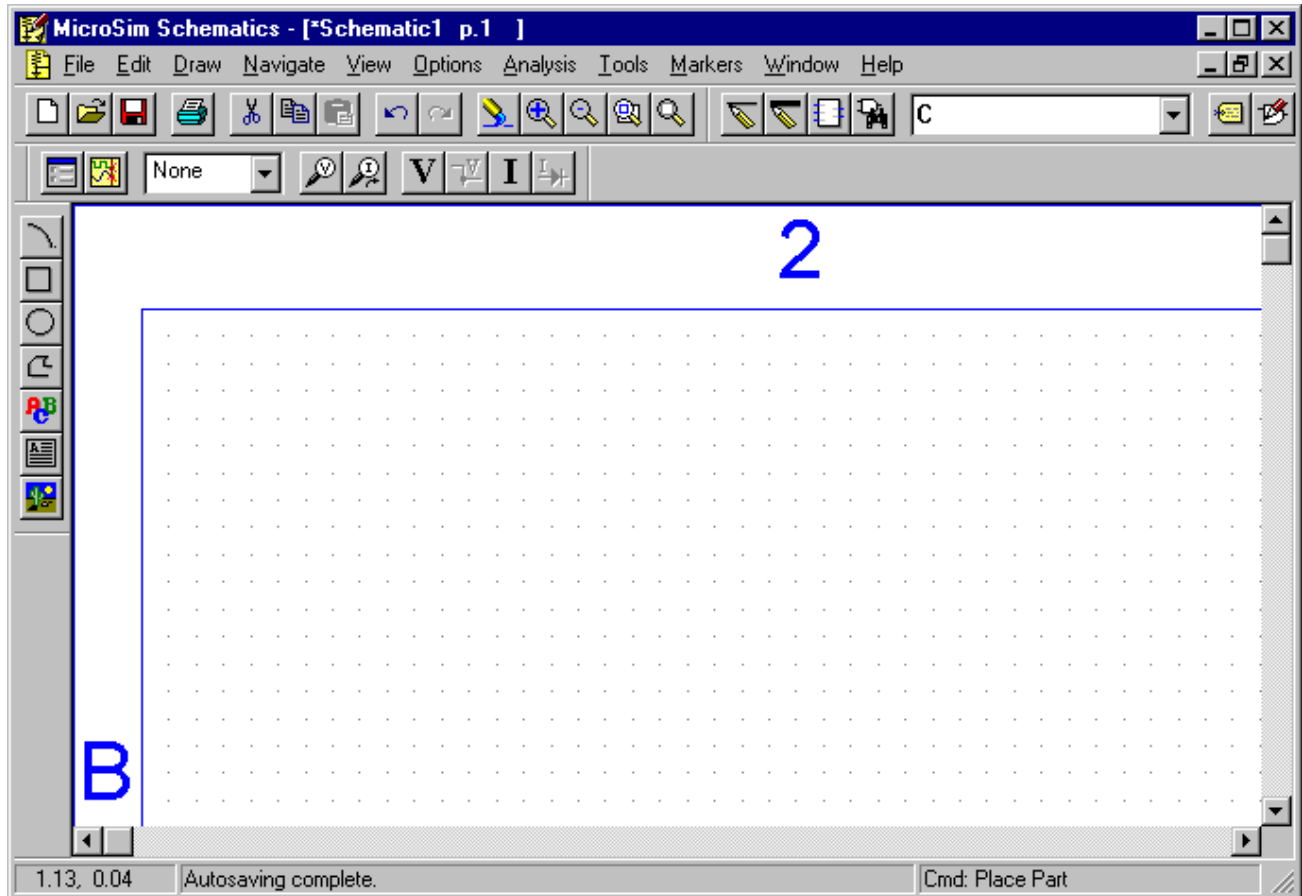














Figura 1.1. Entorno de programa *Schematics*.

1.2.1 La barra de menús y la barra de herramientas de *Schematics*.






El programa *Schematics* presenta una barra de menús similar a la de cualquier programa o aplicación de *Windows*, tal y como puede observarse en la figura 1.1 (caracterizada por los nombres *File*, *Edit*, *Draw*, *Navigate*, etc...). Debajo de esta barra aparece la barra de herramientas, con una serie de botones que permiten acceder fácilmente a las opciones más importantes de la barra de menús. En la figura 1.1 se observan los botones que contiene la barra de herramientas de la aplicación *Schematics*, necesarios para realizar las simulaciones requeridas y de los cuales se dará una breve descripción a continuación.

1.2.2 Descripción de los botones principales de la barra de herramientas


Tabla 1.1. Descripción de botones de barra de herramientas de *Schematics*.

Número de botón	Descripción de función
	Botón Zoom In : Permite incrementar el tamaño del circuito diseñado, mediante la aplicación de un Zoom. Es equivalente en la barra de menús a hacer click en View/In .
	Botón Zoom Out : Permite decrementar el tamaño del circuito diseñado. Equivalente en la barra de menús: View/Out .
	Botón Zoom Area : Aplica un Zoom (Incremento de tamaño) al área marcada por el mouse. Primero se hace click en el botón y luego se marca el área deseada con el mouse. Equivalente en la barra de menús: View/Area .
	Botón Zoom to Fit Page : Se aplica un Zoom optimo tal que el tamaño del circuito diseñado abarca por completo la pantalla de dibujo en Schematics . Equivalente en la barra de menús: View/Fit .
	Botón Draw Wire : Permite realizar la conexión entre los diferentes pines de los dispositivos que conforman el circuito diseñado. Equivalente en la barra de menús: Draw/Wire .
	Botón Draw Bus : Permite realizar la conexión de buses en un circuito, es decir de varios pines. Para entender mejor la utilidad de los buses, se recomienda revisar el ejemplo N°5 de este documento o el archivo de ejemplo Frqchkx.sch contenido en la carpeta Frqchkx bajo la siguiente dirección, C:\MSimEv_8\Examples\Digsim\Frqchk . Equivalente en la barra de menús: Draw/Bus .
	Botón Draw Block : Permite dibujar una caja en la cual se puede introducir un circuito para hacer una especie de circuito integrado, es decir, toda una circuiteria puede ser representada por una caja Draw Block . Equivalente en la barra de menús: Draw/Block .
	Botón Get New Part : Permite acceder de forma inmediata a la librería de componentes o dispositivos analógicos y digitales. Equivalente en la barra de menús: Draw/Get New Part .
	Botón Edit Attributes : Permite acceder a las propiedades del elemento o dispositivo seleccionado. Equivalente en la barra de menús: Edit/Attributes ...También puede hacerse doble click el el elemento para mostrar sus propiedades.
	Botón Edit Symbol : Permite editar el elemento seleccionado para modificar el dibujo del mismo. Equivalente en la barra de menús: Edit/Symbol .
	Combo Get Recent Part : En esta caja quedan almacenado los últimos dispositivos o componentes cargados desde la librería. También sirve para cargar directamente un componente con solo colocar el nombre del mismo en el combo y presionar la tecla Enter.
	Botón Setup Analysis : Permite establecer que tipo de análisis se va a realizar sobre el circuito diseñado. Equivalente en la barra de menús: Analisis/Setup .

Continuación *Tabla 1.1*

	Botón Simulate : Permite iniciar la simulación del circuito diseñado. Equivalente en la barra de menús: Analisis/Simulate (tecla F11).
	Botón Voltaje/Level Marker : Con este botón se puede obtener la gráfica del voltaje transitorio en cualquier parte del circuito donde sea ubicado el icono correspondiente, una vez realizada la simulación, es decir, basta colocar el icono de voltaje/Level Marker en el nodo donde se quiera obtener la gráfica de voltaje y realizada la simulación, aparecerá por defecto la gráfica correspondiente. Equivalente en la barra de menús: Markers / Mark Voltaje Level .
	Botón Current Marker : Idem al caso anterior, con la salvedad de que la gráfica en este caso es de la corriente. Equivalente en la barra de menús: Markers / Mark Current into Pin .
	Botón Enable Bias Voltage Display : Permite obtener el voltaje puntual en los diferentes nodos del circuito en un momento específico, generalmente en el punto inicial de la simulación.
	Botón Enable Bias Current Display : Idem al caso anterior, con la salvedad de que en este caso el parámetro medido es la corriente.

1.3 Dibujo de circuitos en el programa *Schematics*.

Para dibujar componentes eléctricos y/o electrónicos en el programa *Schematics*, es necesario recurrir a la librería del mismo. Por ejemplo si queremos dibujar una fuente debemos hacer click en el botón **Get New Part**,  con lo cual se abrirá una ventana similar a la de la figura 1.2.

Esta es la ventana sencilla de la librería de *Schematics*. En la parte inferior izquierda pueden observarse los componentes con los cuales está dotada esta librería y a la derecha de estos se observan una serie de botones que cumplen las siguientes funciones:

- **Close** : Cierra la ventana de librería.
- **Place** : Permite pegar en la interfaz gráfica de *Schematics*, el componente seleccionado de la librería mediante el mouse, a la vez que deja activa la ventana de esta librería.
- **Place & Close** : Idem al caso anterior pero esta vez la ventana de librería se cierra.
- **Help** : Llama la ayuda de la librería.

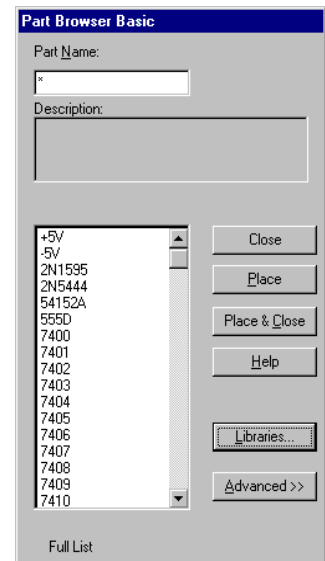


Figura 1.2. Librería de *Schematics*

- **ibraries...** : Este botón abre otra ventana de librería semejante a la mostrada en la figura 1.3, en la que se muestran todos los componentes organizados por categorías.
- **Advanced>>** : Haciendo click en este botón, se habrá una ventana avanzada de la librería como la mostrada en la figura 1.4 en la cual además se edita el símbolo del componente seleccionado. Es recomendable usar esta ventana al seleccionar componentes para el diseño del circuito.

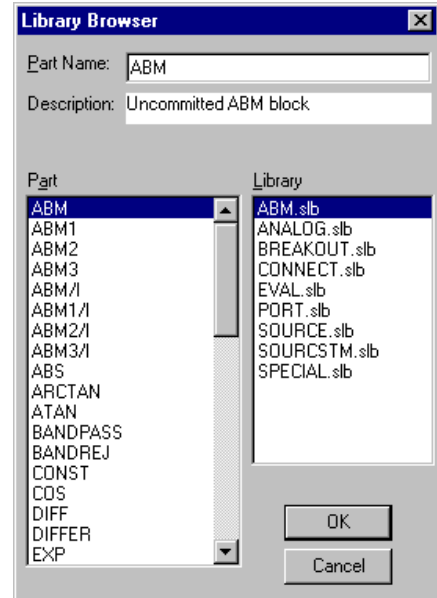


Figura 1.3. Librería de Schematics con componentes organizados por categoría

Siguiendo con nuestro ejemplo, en la figura 1.4 se ha seleccionado una fuente sinusoidal. Una vez seleccionado el componente se hace click en **Place** (en caso de querer mantener activa la ventana de librería) o en **Place & Close** (para cerrar esta ventana), y arrastramos el mouse sobre la ventana de **Schematics** hasta el sitio donde queremos colocar el componente y hacemos click. Podemos colocar este componente tantas veces como queramos con solo hacer click con el mouse. Para obviar el componente seleccionado, presionamos la tecla ESC...

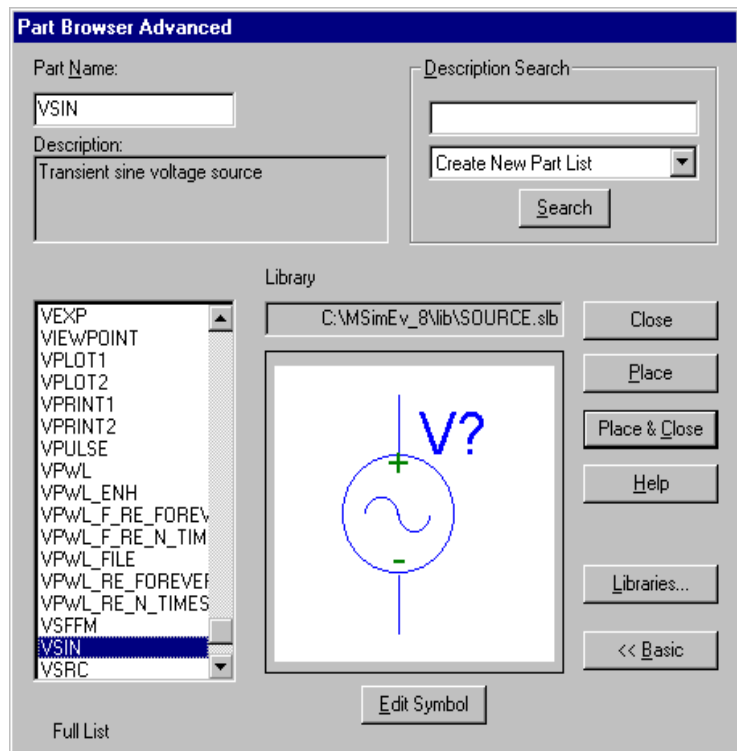


Figura 1.4. Ventana avanzada de librería de Schematics

Cada componente como es obvio, posee ciertas propiedades a las que se puede acceder seleccionando (color rojo) el componente o dispositivo y haciendo doble click con el mouse. Esto abre una ventana con las propiedades de dicho componente de manera que el usuario pueda modificar las que necesite. En la figura 1.5 se muestra el dibujo de un circuito RC con una fuente sinusoidal, la respectiva tierra del circuito (GND_EARTH, de la librería), y la forma como unir los diferentes nodos del circuito (utilizando el botón **Draw Wire** de la barra de herramientas).

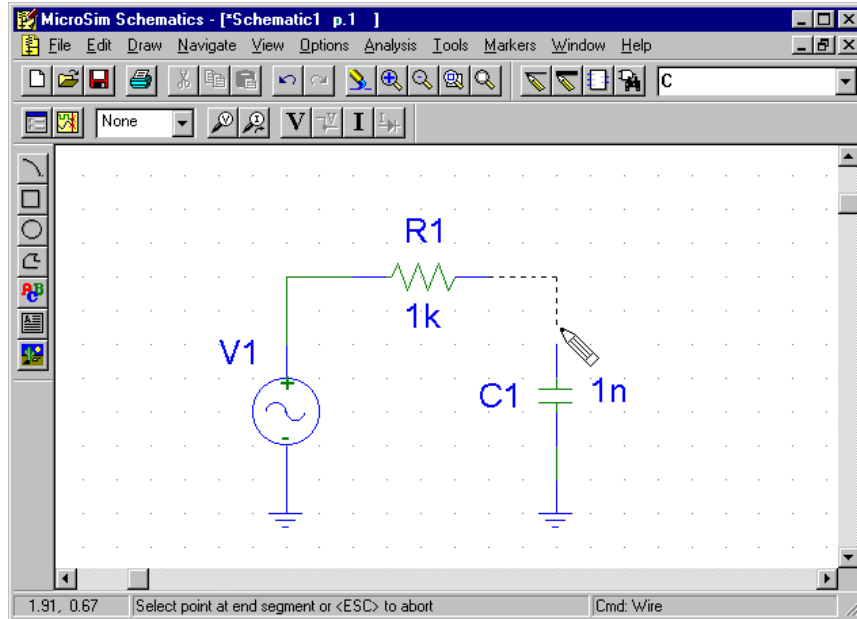



Figura 1.5. Dibujo de circuito RC en Schematics.

En caso de querer cambiar el valor de una resistencia, condensador, inductor, etc.. se debe hacer doble click en el valor correspondiente, con lo que se abrirá una ventana en la cual se debe introducir el nuevo valor. Las unidades aceptadas por el programa Schematics son: (**p**) para pico, (**n**) para nano, (**u**) para micro, (**m**) para mili, (**k**) para kilo, (**M**) para mega. Los nombres de los dispositivos o elementos también pueden ser cambiados de manera análoga al de los valores.

1.4 Preparación de circuitos para análisis transitorio.

Antes de iniciar la simulación del circuito diseñado es necesario almacenar éste en el computador. Para ello utilizamos el icono de la barra de herramienta (Save). El archivo almacenado en este caso tiene extensión **.sch*. Luego de almacenado el archivo es necesario establecer el rango de tiempo en el cual se hará el análisis transitorio. Para esto se puede hacer click en el botón **Setup Analysis**  de la barra de herramientas, con lo cual aparecerá una ventana semejante a la mostrada en la figura 1.6.

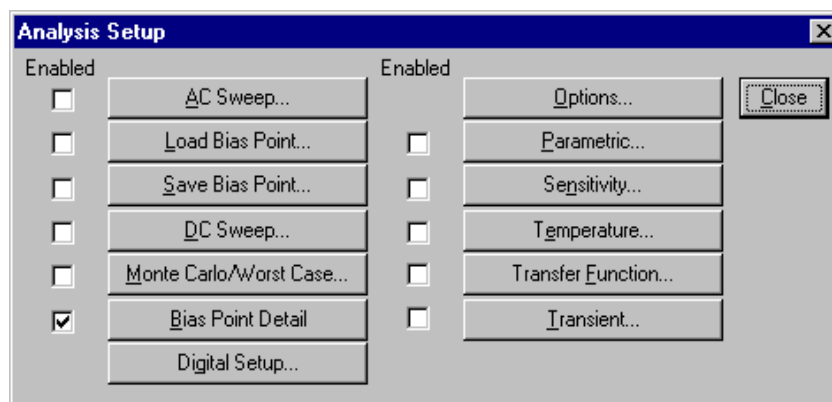


Figura 1.6. Ventana de Setup Analysis.

Como solo es de interés en este momento el análisis transitorio de circuitos, debemos seleccionar la casilla **Transient...** y pulsar en dicho botón, así aparecerá la ventana de la figura 1.7. En esta ventana debemos introducir los valores de tiempo inicial para el análisis (**Print Step**), que por defecto es de 20 ns, y el valor de tiempo final del análisis (**Final Time**) que por

defecto es de 1000 ns. Por ahora estos dos valores son los únicos en los cuales concentraremos nuestro interés.

Introducidos los límites inicial y final de tiempo para la simulación, pulsamos en OK, y el circuito esta ya listo para realizar la simulación. Para hacer esto pulsamos en el botón **Simulate** de la barra de herramientas, ó pulsamos F11. Luego de realizada la simulación, se abrirá la ventana del programa **MicroSim Probe**, en el cual se graficarán los resultados.

Para que el programa **MicroSim Probe** se habrá automáticamente al finalizar la simulación del circuito se debe hacer lo siguiente: en la barra de menús seleccione **Analysis** y luego **Probe Setup**, con lo cual se abrirá una ventana. En esta nueva ventana seleccione la solapa **Probe Startup** y en ésta debe seleccionar la opción **Automatically run Probe after simulation**.

1.5 Herramienta Draw Block.

Esta herramienta es de gran utilidad cuando se desee integrar en un solo bloque, todo un circuito. La mejor manera de entender este punto es con un ejemplo. El ejemplo consiste en la simulación de un circuito que genere dos ondas, una cuadrada y otra triangular; dicho circuito estará conformado por un comparador y un integrador de los cuales se obtendrán estas dos señales. Este circuito se presenta en la figura 1.8.

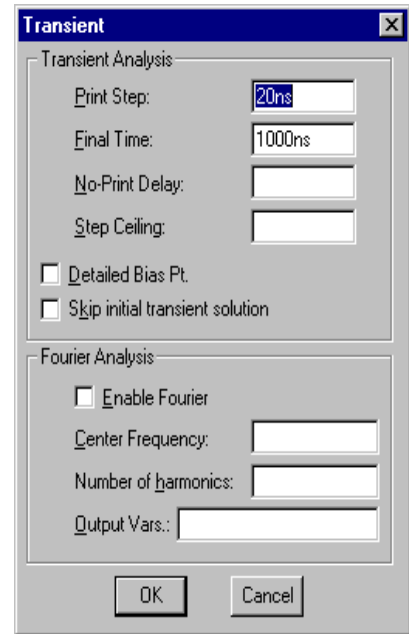


Figura 1.7. Ventana Transient de Analysis Setup

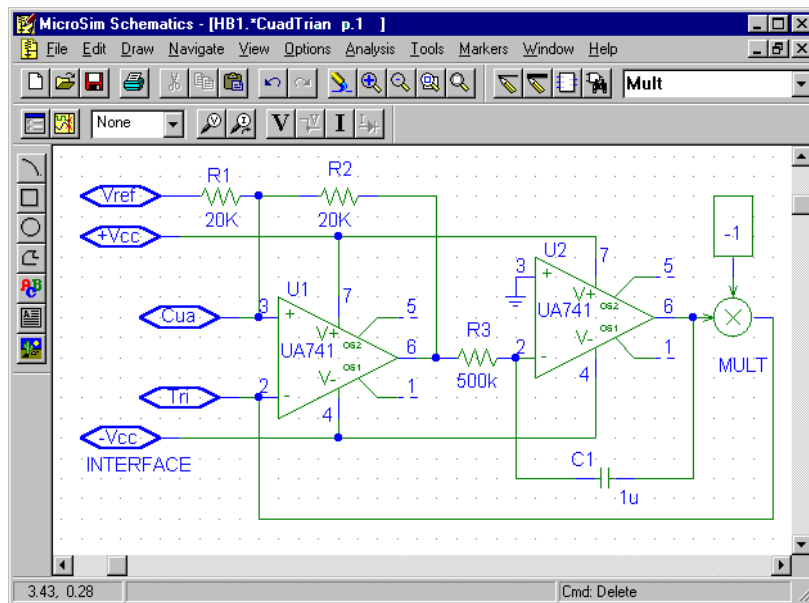


Figura 1.8. Circuito para generar las señales del ejemplo

La salida del integrador es invertida. Otro elemento utilizado es una interfaz (INTERFACE), cuya función es la de hacer las veces de pines del bloque **Draw Block**.

Cabe señalar los siguientes puntos:

- En la figura anterior puede observarse el nombre de elementos no muy comunes, como son: un multiplicador (MULT), cuya función es invertir la señal triangular que sale del integrador (esto se hace al multiplicar por (-1) esta señal). La razón de realizar esta operación es debido a que la señal de

- Este circuito se almacenó bajo el nombre de **CuadTrian.sch**.

El siguiente paso es abrir un documento nuevo, en el cual se coloca una caja **Draw Block** y se almacena dicho archivo. En nuestro ejemplo (**Senales.sch**), luego se hace doble click sobre esta caja, con lo que aparecerá una ventana sobre la que debe hacerse click en el botón **Browse...** para buscar el archivo a ser cargado, en este caso **CuadTrian.sch**. Una vez localizado el archivo se hace click en abrir y se cargará automáticamente el mismo dentro de la caja **Draw Block**, tal y como puede observarse en la siguiente figura.

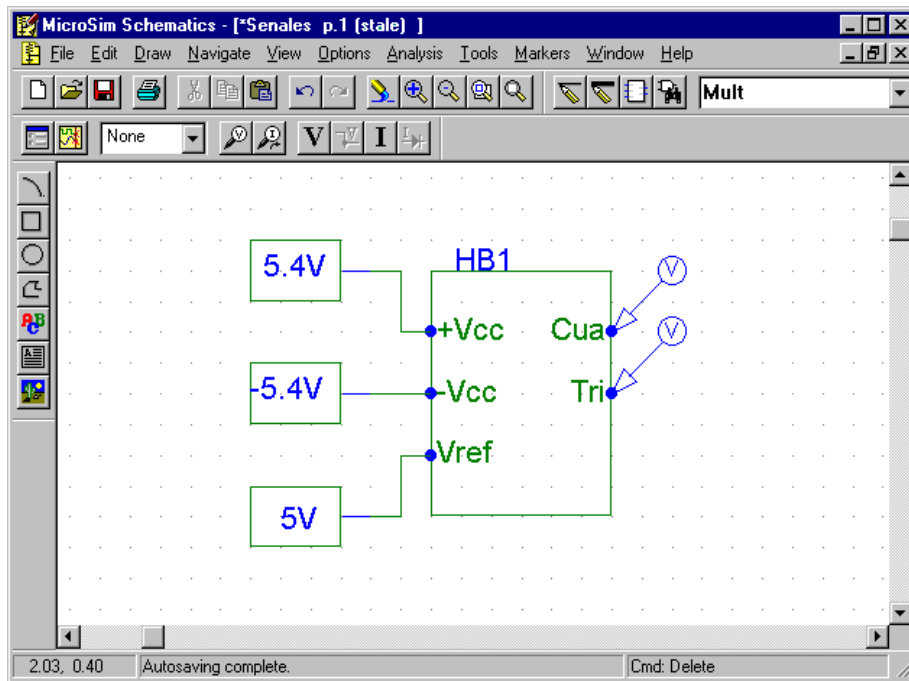


Figura 1.9. Caja Draw Block del ejemplo al cargar el circuito

Sobre esta figura se analizan los siguientes puntos:

- Puede observarse que los nombres de las interfaces de la figura 1.8, aparecen como pines en la caja **Draw Block**, lo que permite la conexión con otros elementos en el circuito diseñado.
- Las cajas con números son las fuentes de voltaje DC con las que se alimentan los amplificadores. Estas cajas corresponden al elemento (CONST) de la librería.
- En los pines con nombres **Cua** y **Tri** se han colocado dos elementos que permiten graficar el voltaje en estos dos pines inmediatamente después de realizada la simulación. Estos se obtienen con **Voltaje/Level Marker** de la barra de herramientas.
- En **Analysis Setup** se colocó como tiempo de inicio (**Print Step**) para el transitorio, 20ms y como tiempo final (**Final Time**) 3s.

Realizada la simulación (mediante el botón **Simulate**), la respuesta transitoria obtenida se presenta en la figura 1.10. En un apartado posterior se explicará como manipular las gráficas obtenidas en simulaciones de transitorios (Programa **MicroSim Probe**).

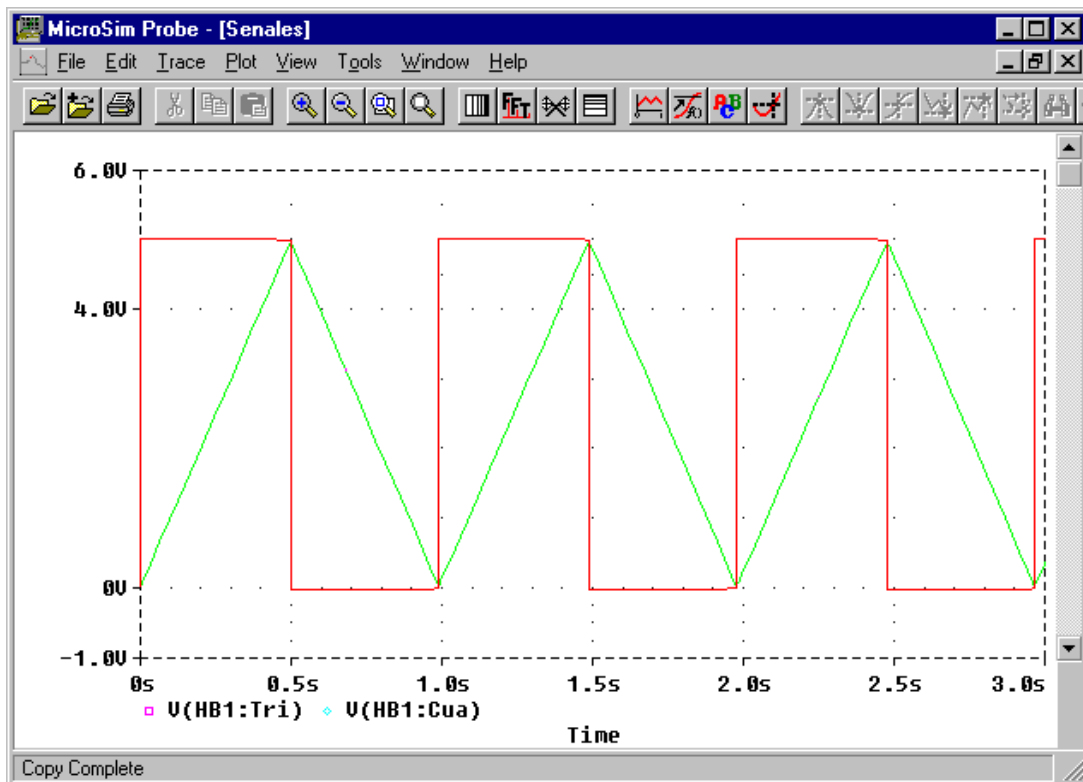


Figura 1.10. Respuesta gráfica obtenida de simulación del ejemplo planteado.

2. PROGRAMA MICROSIM PROBE PARA GRAFICAR SIMULACIÓN.

2.1 El programa MicroSim Probe.













Este programa permite graficar todos los voltajes y corrientes derivados de la simulación de un circuito en todos los nodos y mallas del mismo. *Microsim Probe* se carga automáticamente al finalizar la simulación del circuito, pero en caso de que esto no sea así, se puede cargar *MicroSim Probe* haciendo click en el menú *Analysis* del programa *Schematics* y posteriormente en *Run Probe*. También lo puede hacer presionando la tecla F12. En la figura 1.10 se muestra la ventana principal de MicroSim Probe, donde puede observarse también las barras de menús y de herramientas de este programa, sobre las cuales se entra en detalle a continuación.

2.2 Barra de menús y de herramientas del programa *MicroSim Probe*.





En la barra de herramientas del programa MicroSim Probe se encuentran una serie de botones de acceso directo a las principales funciones de este programa. En la siguiente tabla se explican cada una de estas funciones, al igual que se indica el botón que accede a dicha función. Los botones de Zoom cumplen una función similar a los del programa *Schematics* por lo que se obviará entrar en detalles sobre la función de los mismos.

2.2.1 Descripción de los botones principales de la barra de herramienta de *Probe*.


Tabla 2.1. Descripción de botones de barra de herramientas de *MicroSim Probe*.

Botón	Descripción de función
	Botón Log X Axis : Permite transformar el eje de la abcisas (eje de tiempo) a escala logarítmica. Para hacer esto la gráfica no debe incluir el cero. Si se hace click de nuevo, el eje regresa a escala lineal. Es equivalente en la barra de menús a hacer click en Plot/X Axis Settings y seleccionar la opción Log .
	Botón Fourier : Permite Graficar la transformada de Fourier (en función de la frecuencia) del parámetro analizado en cuestión. Equivalente en la barra de menús: Trace/Fourier .
	Botón Log Y Axis : Idem a Botón Log X Axis pero para el eje de las ordenadas (parámetro medido). Es equivalente en la barra de menús a hacer click en Plot/Y Axis Settings y seleccionar la opción Log .
	Botón Add Trace : Permite abrir una ventana en la cual se puede seleccionar el parámetro a graficar. Equivalente en la barra de menús: Trace/Add ó presionar la tecla Insert .
	Botón Text Label : Permite agregar texto en la gráfica. Equivalente en la barra de menús: Tools/Label/Text .
Botones para manejo de cursor	
	Botón Toggle Cursor : Permite utilizar el cursor para medir puntos de la gráfica, los cuales son observados en una pequeña ventana en la parte inferior derecha de la ventana Microsim Probe . Equivalente en la barra de menús: Tools/Cursor/Display . Los botones que a continuación se presentan, solo se habilitan cuando Toggle Cursor es seleccionado.
	Botón Cursor Peak : Permite desplazar el cursor sobre los picos superiores (cresta) de la gráfica. Equivalente en la barra de menús: Tools/Cursor/Peak .
	Botón Cursor Trough : Permite desplazar el cursor sobre los picos inferiores (valles) de la gráfica. Equivalente en la barra de menús: Tools/Cursor/Trough .
	Botón Cursor Slope : Permite desplazar el cursor sobre los puntos de la gráfica en los cuales se produce un cambio de concavidad (cambio de pendiente de recta tangente). Equivalente en la barra de menús: Tools/Cursor/Slope .
	Botón Cursor Min : Permite ubicar el cursor en el valor mínimo de la gráfica. Equivalente en la barra de menús: Tools/Cursor/Min .
	Botón Cursor Max : Permite ubicar el cursor en el valor máximo de la gráfica. Equivalente en la barra de menús: Tools/Cursor/Max .
	Botón Cursor Point : Permite desplazar el cursor sobre los diferentes puntos con los cuales es elaborada la gráfica. Equivalente en la barra de menús: Tools/Cursor/Point .

Continuación *Tabla 2.1*

	Botón Cursor Next Tran : Solo se utiliza o funciona cuando se tienen gráficas de circuitos digitales. Permite desplazar el cursor hasta el punto de transición de Alto a Bajo o de Bajo a Alto en sentido de izquierda a derecha. Equivalente en la barra de menús: Tools/Cursor/Next Transition .
	Botón Cursor Prev Tran : Idem al caso anterior pero esta vez el sentido de desplazamiento es de derecha a izquierda. Equivalente en la barra de menús: Tools/Cursor/Previous Transition .
	Botón Mark Label : Permite imprimir sobre la gráfica, el valor del punto sobre el cual está ubicado el cursor (coordenada X "Tiempo" , coordenada Y "Parámetro"). Equivalente en la barra de menús: Tools/Label/Mark .
	Botón Mark Data Points : Permite observar en la gráfica, los diferentes puntos con los cuales es elaborada la misma.

2.3 ¿Cómo agregar nuevas gráficas en la misma ventana?.

Ya fue expuesto anteriormente que para que una gráfica se cargue automáticamente luego de realizada la simulación, se debe utilizar el botón **Voltaje/Level Marker** (para graficar voltaje) o el botón **Current Marker** (para graficar corriente) de la barra de herramientas del programa *Schematics*. Sin embargo en muchas ocasiones nos vemos en la necesidad de agregar nuevas gráficas, para lo cual debemos utilizar el botón **Add Trace**  de la barra de herramientas de *MicroSim Probe* (también puede usarse la tecla **Insert**), presionando este botón se nos carga una ventana como la mostrada en la figura 2.1.

En la parte izquierda de esta ventana, aparecen todas las variables resultantes de la simulación y que pueden ser graficadas por *MicroSim Probe*, a la derecha se encuentran una serie de funciones que pueden ser aplicadas a la variable que se desea graficar y en la parte inferior izquierda aparece un recuadro en el cual debe introducirse el nombre de la variable que se desea graficar. Por ejemplo en la figura 2.1, se ha seleccionado la variable “**V2(R1)**”, que representa el

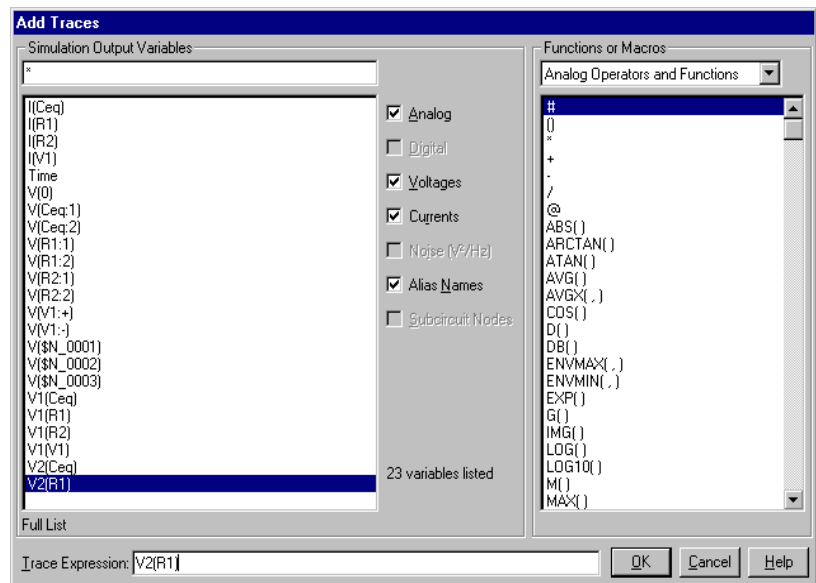


Figura 2.1. Ventana Add Trace del programa *MicroSim Probe*

voltaje en el nodo 2 de una resistencia “R1”. Esto puede ser escrito directamente en el recuadro (**Trace Expresión**) ó puede seleccionarse la variable correspondiente y hacer click, con lo que aparecerá automáticamente en este recuadro.

Una vez seleccionada la variable a graficar presionamos Ok. En caso de querer aplicar una función a la gráfica, por ejemplo “ABS()”, se debe colocar: “ABS(V2(R1))”. Si queremos graficar varios parámetros a la vez, los nombres de las variables deben ir separados por comas (,), ejemplo: V2(R1), V2(Ceq), V(V1:+).

2.4 ¿Cómo agregar un nuevo Plot (ventana gráfica)?.

Esta función es especialmente útil cuando se quieren graficar variables de diferentes unidades (voltajes, corrientes, potencia), puesto que la misma divide la ventana principal de **MicroSim Probe** en tantas ventanas como se desee. Para hacer esto, seleccionamos **Plot** en la barra de menús y seguidamente hacemos click en la opción **Add Plot**, así aparecerá una nueva ventana (Ver figura 2.2).

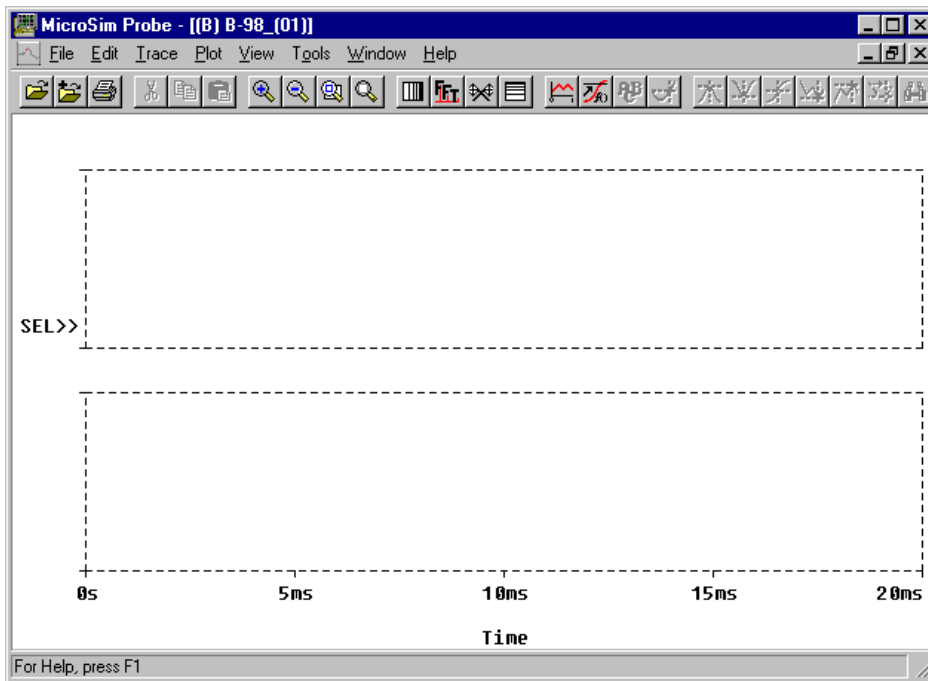


Figura 2.2. Programa **MicroSim Probe** con dos ventanas para graficar parámetros deseados

Luego se puede graficar una variable en la ventana que este seleccionada (SEL>>). Cuando se quiera eliminar una ventana, primero la seleccionamos (haciendo click con el mouse) y luego en el menú **Plot** escogemos **Delete Plot**.


2.5 ¿Cómo modificar los límites de los ejes?.

Siempre ha sido de gran utilidad poder manipular los ejes sobre

los cuales se gráfica una función, con la finalidad de obtener solo la parte que interesa de la gráfica. Para hacer esto se selecciona el menú **Plot** y en ella se escoge “**X Axis Settings...** ó **Y Axis Settings...**, según se quiera modificar el eje **X** ó **Y**. Luego se abrirá una ventana como la mostrada en la siguiente figura.

Por defecto la opción seleccionada es **Auto Range**, así si queremos modificar los límites se escoge la opción **User Defined** y en los recuadros siguientes se introducen los límites inferior y superior que se deseen.

2.6 ¿Cómo obtener valores de variable o parámetro analizado y tiempo?.

Para hacer esto es necesario recurrir a las funciones del cursor. Si se quiere obtener por ejemplo en la simulación de un circuito, el voltaje en un componente de éste, transcurrido cierto tiempo, se debe hacer lo siguiente: Teniendo elaborada la gráfica de la magnitud analizada, se hace click en el botón **Toggle Cursor** con lo que aparecerán en la gráfica dos rectas (horizontal y vertical) que se cortan sobre la curva seleccionada. También aparece un recuadro donde se indica el valor de la magnitud medida y el tiempo transcurrido (este valor es el indicado por el cursor “intersección de las rectas antes mencionadas”). En la figura 2.4 se presenta este caso. Si por ejemplo se quiere fijar un valor determinado, se debe hacer click en el botón **Mark Label**  de la barra de herramientas con lo que se indicará en la gráfica el punto correspondiente, tal y como puede observarse en la Figura 2.4.

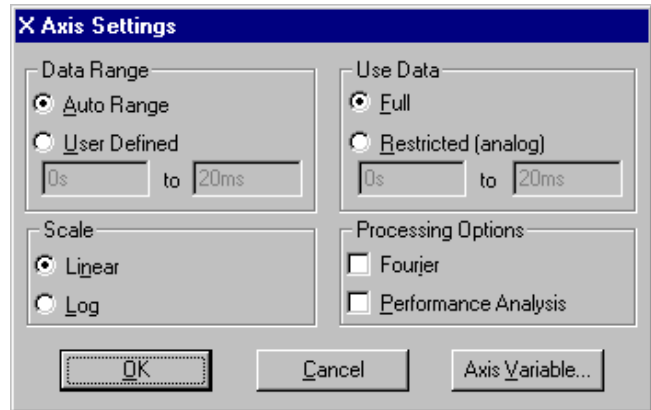


Figura 2.3. Ventana para modificar los límites de los ejes.

En caso de tener varias curvas en una misma gráfica, y se desee seleccionar una de ellas, basta con hacer click en el nombre correspondiente de la curva (los nombres aparecen en la parte inferior izquierda de la ventana de **MicroSim Probe**), y quedará seleccionada. Cuando se desee borrar una curva, primero se selecciona y luego se presiona la tecla **Supr**.

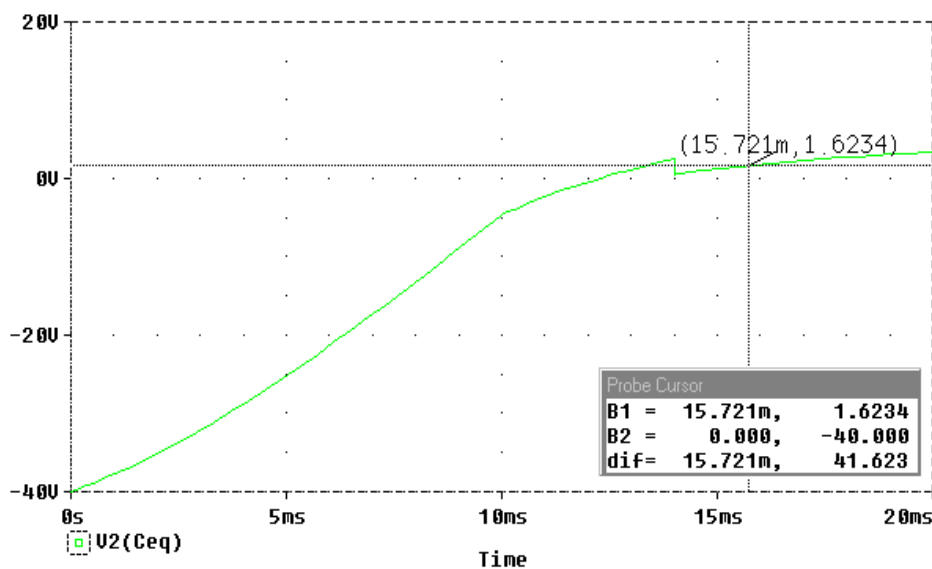


Figura 2.4. Selección de punto en una curva mediante el cursor.

A continuación se realizan una serie de ejemplos explicados en detalle con la finalidad de afianzar los conocimientos adquiridos durante este curso introductorio.

3. EJEMPLOS DE SIMULACIONES CON SCHEMATICS, PSPICE Y PROBE.

3.1 Ejemplo N° 1: Simulación de circuito RC con alimentación de señal.

Planteamiento: En el circuito de la figura 3.1, dibujar $V_o(t)$ para $t > 0s$.

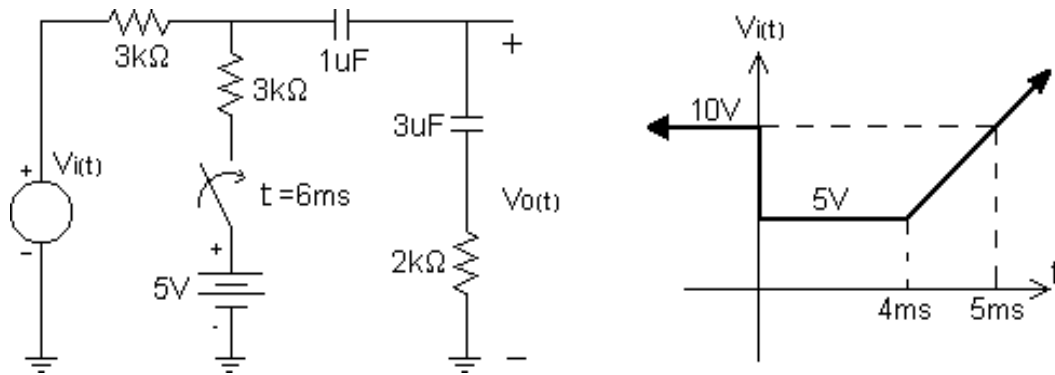


Figura 3.1. Circuito del ejemplo N° 1

En *Schematics (Pspice)* no puede hacerse la simulación de dos condensadores conectados en serie ya que el programa da un error (se recomienda al lector que compruebe este hecho). Para solventar este problema, se realizará la simulación usando el equivalente de ambos condensadores en serie y luego se determinará el voltaje en el condensador de $3\mu F$, aplicando un divisor de tensión para condensadores en serie. El voltaje $V_o(t)$ será la suma del voltaje en el condensador de $3\mu F$ y el voltaje en la resistencia de $2k\Omega$. El circuito a simular se presenta en la figura 3.2.

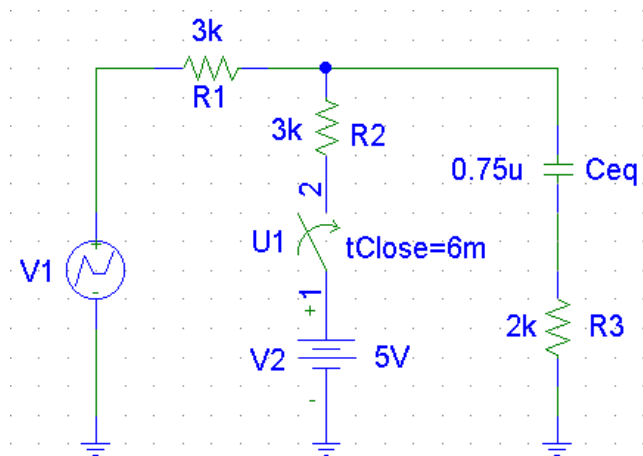


Figura 3.2. Circuito en *Schematics* para simulación del ejemplo N° 1

Sobre el circuito de la figura anterior cabe mencionar los siguientes aspectos:

- Se utilizó un condensador equivalente ($C_{eq} = 0,75\mu F$) resultado de la conexión en serie de los condensadores $C_1 = 1\mu F$ y $C_2 = 3\mu F$. El voltaje en el condensador (C_2) se obtiene aplicando divisor de tensión capacitivo, es decir:

$$V_{C_2} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} V_{C_{eq}} = \frac{1}{1 + 3} V_{C_{eq}}$$

$$V_{C_2} = 0,25 V_{C_{eq}}$$

- El voltaje $V_o(t)$ será: $V_{o(t)} = V_{C2(t)} + V_{R3(t)}$, donde $V_{R3(t)}$ es el voltaje en $R3 = 2k\Omega$. Antes de realizar la simulación es necesario definir algunas propiedades de los elementos del circuito, las cuales se explican a continuación:
 - La fuente de alimentación $V_{i(t)}$ fue simulada utilizando una fuente de la librería, llamada (VPWL), en la cual puede caracterizarse cualquier tipo de onda de voltaje, puesto que en las propiedades de la misma se puede introducir un valor de voltaje correspondiente a un tiempo determinado. Los valores introducidos en las propiedades de esta fuente fueron: DC = 0; AC = 0; T1 = 0, V1 = 10V; T2 = 0.0001ms, V2 = 5V; T3 = 4ms, V3=5V; T4 = 10ms, V4 = 35V. Esta fuente no admite valores de tiempo negativos.
 - Como no puede simularse para $t < 0$, fue necesario establecer condiciones iniciales para el condensador, puesto que la alimentación es diferente de cero (0) para $t < 0$ y en consecuencia el condensador para $t = 0$ se encuentra cargado. Según el circuito simulado, el condensador para $t = 0$ tiene un voltaje inicial de $V_i = 10V$. Luego en las propiedades del condensador se colocó IC = 10V (condición de carga inicial). Debe tenerse cuidado con la polaridad del condensador para establecer las condiciones iniciales, puesto que el borne positivo siempre corresponde al nodo (1) del condensador, es decir en la simulación el voltaje en el nodo (1) se define como: V(Ceq:1) y en el nodo (2): V(Ceq:2).
 - En Schematics, los componentes de la librería no son dispositivos ideales, por lo cual en las propiedades del interruptor se colocó Rclosed = 0.001 Ω y Ropen=100M Ω . El resultado de la simulación se presenta en la figura 3.3.

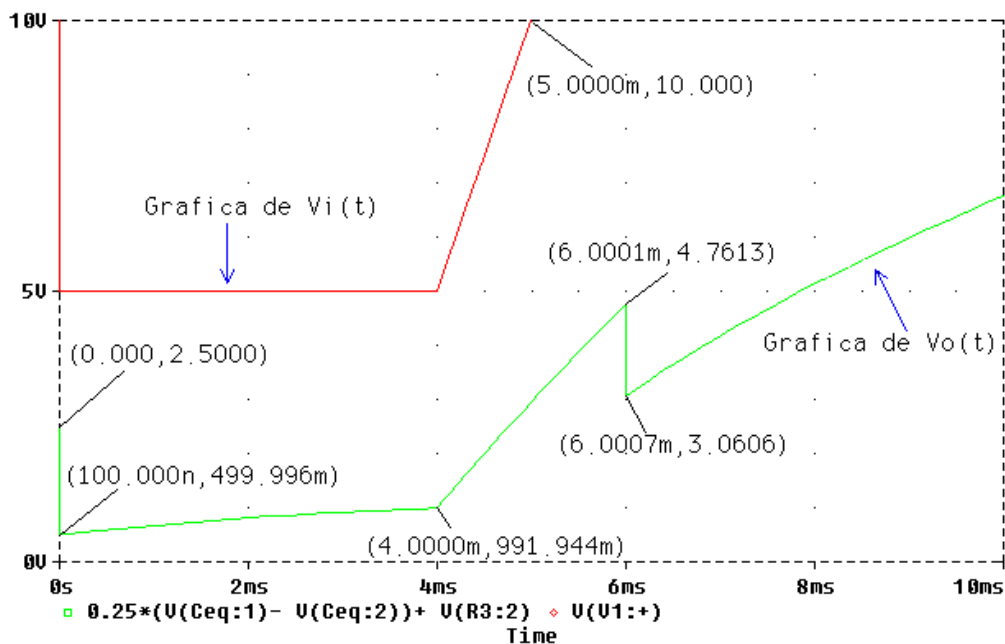


Figura3.3. Resultado gráfico de simulación de circuito de ejemplo N° 1

- 2) Como elemento que hace las veces de comparador se utilizó un amplificador operacional de la librería (LF411), al que se le alimentó con los niveles de tensión mostrados en la figura 3.5 para permitir el corte y saturación del transistor (Q1).
- 3) El transistor de carga utilizado de la librería fue el (QbreakN) “NPN” ya que el mismo tiene una ganancia muy próxima a 100. En la figura 3.6 se presentan un Zoom de la respuesta transitoria pedida (con la finalidad de observar mejor los cambios), y en la figura 3.7 se presenta una respuesta más completa.

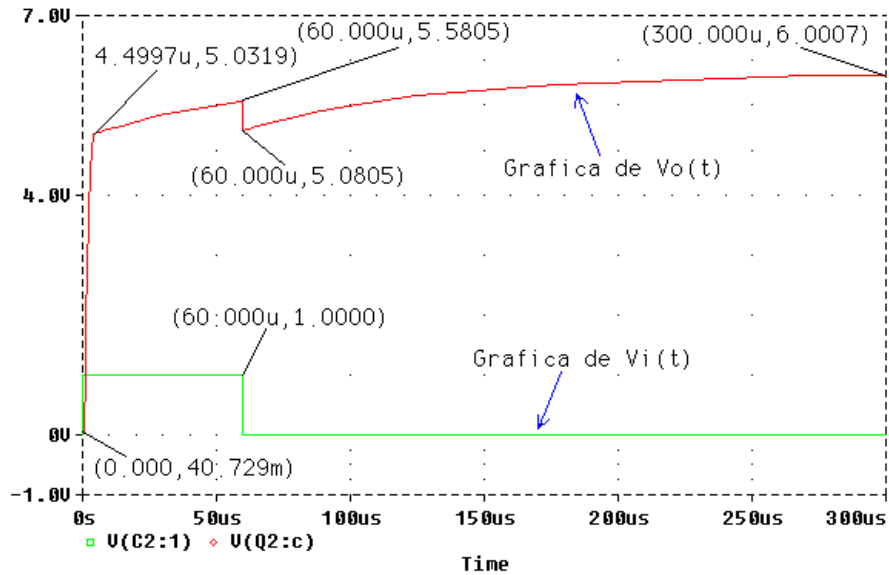


Figura3.6. Zoom de resultado gráfico en simulación del circuito de ejemplo N° 2

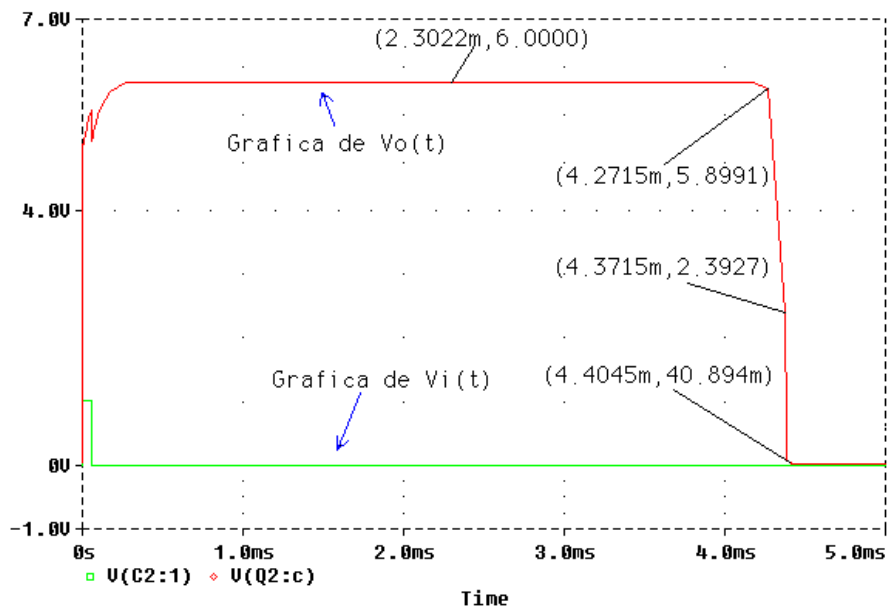


Figura3.7. Resultado gráfico de simulación de circuito de ejemplo N° 2

3.3 Ejemplo N° 3: Simulación de circuito con diodo.

Planteamiento: En el circuito de la figura 3.8, dibujar $V_{C1(t)}$ y $V_{C2(t)}$.

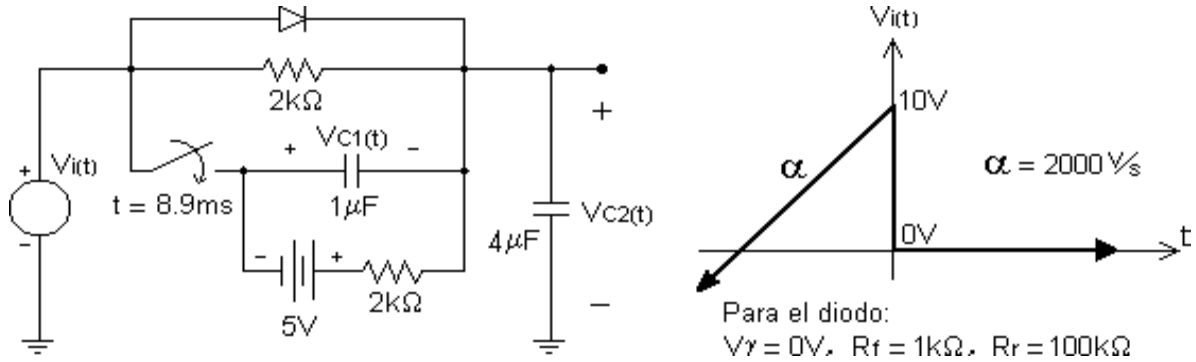


Figura 3.8. Circuito del ejemplo N° 3

En la siguiente figura se presenta el diagrama diseñado en *Schematics*:

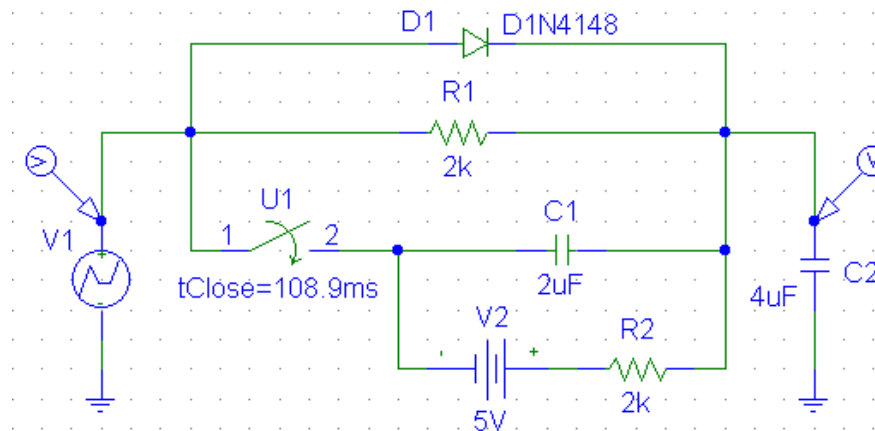


Figura 3.9. Circuito en *Schematics* para simulación del ejemplo N° 3

En este caso, como para $(t < 0)$ la señal de entrada es una rampa y recordemos que la fuente no admite valores de voltaje para tiempos negativos, se tuvo que tomar el siguiente criterio: con la finalidad de observar la carga de los condensadores, se desplazó la simulación un tiempo $t' = t + 100\text{ms}$, así los tiempos y voltajes de la fuente de señal son, $T1 = 0, V1 = -190\text{V}; T2 = 100\text{ms}, V2 = 10\text{V}; T3 = 100.0001\text{ms}, V3 = 0; T4 = 200\text{ms}, V4 = 0$.

La respuesta se presenta en la figura 3.10.

Puede observarse en esta figura el desplazamiento de tiempo empleado en la simulación para poder obtener las condiciones iniciales de los condensadores, sin embargo esto no cambia la forma de respuesta pedida.

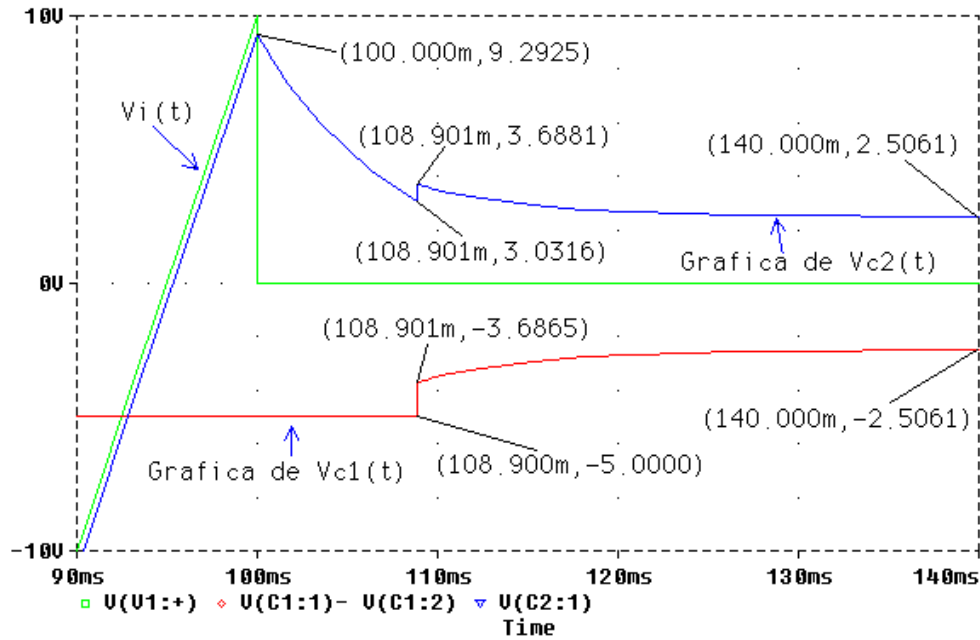


Figura 3.10. Resultado gráfico, simulación de circuito de ejemplo N° 3

3.4 Ejemplo N° 4: Simulación de circuito con Integrado 555.

Planteamiento: En el circuito de la figura 3.11, dibujar $V_{01(t)}$ y $V_{02(t)}$.

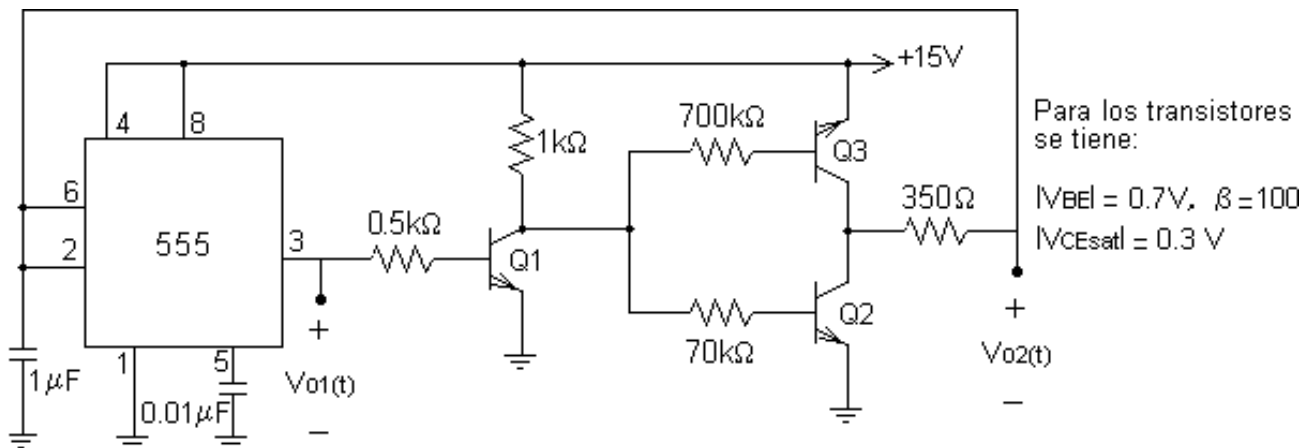


Figura 3.11. Circuito de ejemplo N° 4

En *Schematics* se tiene el circuito de la figura 3.12.

En un análisis previo se determinó que la carga inicial del condensador de $1\mu F$ es de 5V. Realizada la simulación se obtuvo la gráfica mostrada en la figura 3.13. En esta gráfica puede observarse que la carga del condensador es lineal (producto de la corriente constante del transistor

Q3), mientras que la descarga del mismo es en un principio lineal y luego transcurrido cierto tiempo comienza a descargarse exponencialmente. En la gráfica se indicó el momento en que ocurre el cambio en la descarga del condensador. No está de más señalar que se trata de un circuito inestable y que en la gráfica solo se muestra un periodo de la señal de salida.

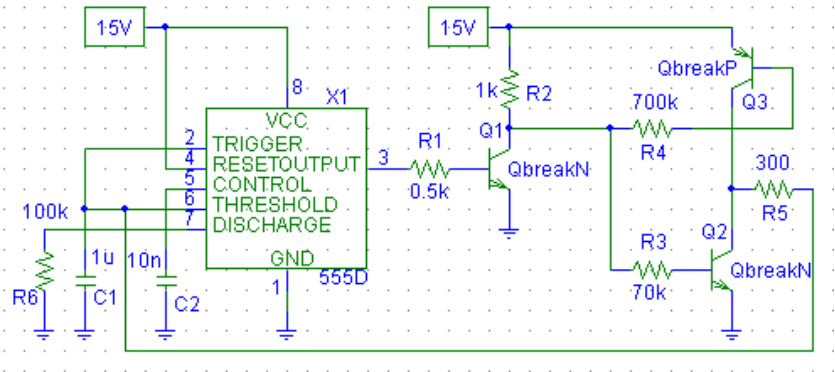


Figura 3.12. Circuito en *Schematics* para simulación del ejemplo N° 4

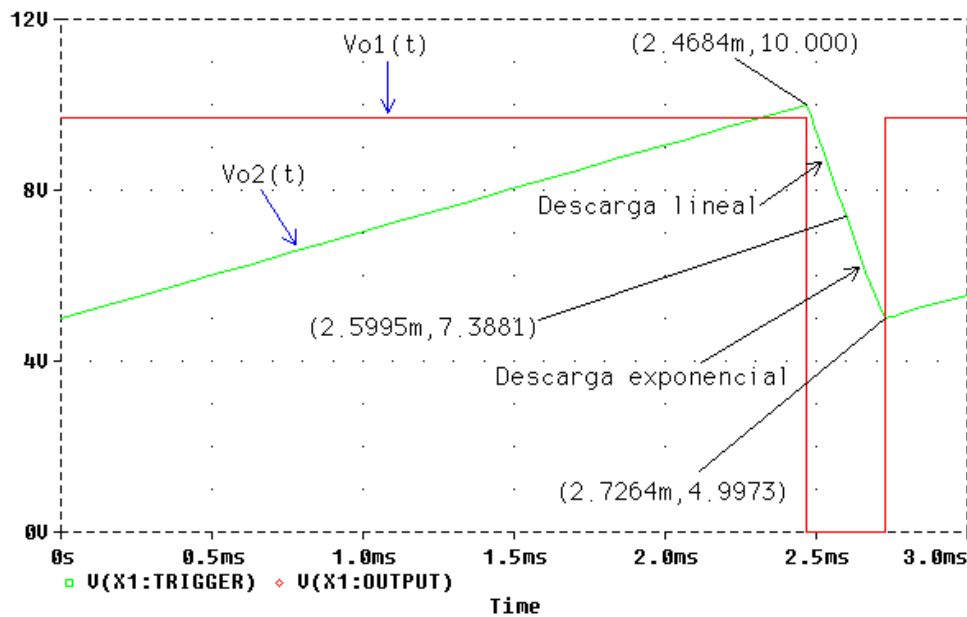


Figura 3.13. Resultado gráfico de simulación de circuito de ejemplo N° 4

3.5 Ejemplo N° 5: Elaboración de señal diente de sierra utilizando lógica digital.

Este ejemplo es especialmente importante porque en él se mostrará el uso del botón *Draw Bus* de la barra de herramientas de *Schematics* y la integración de circuitos en un *Draw Block*, además por supuesto de servir de introducción en la simulación de circuitos digitales. Esta señal será obtenida utilizando dos contadores binarios de 4 bits ascendente (Integrado 74161) y un convertidor digital analógico de 8 bits, además claro de el reloj respectivo y una señal de inicio de conversión y RESET. En la figura 3.14 se muestra en circuito diseñado (puede observarse el componente *Draw Block* “HB1”) y en la figura 3.15 se presenta el circuito que contiene esta caja *Draw Block* (Bloque de contadores).

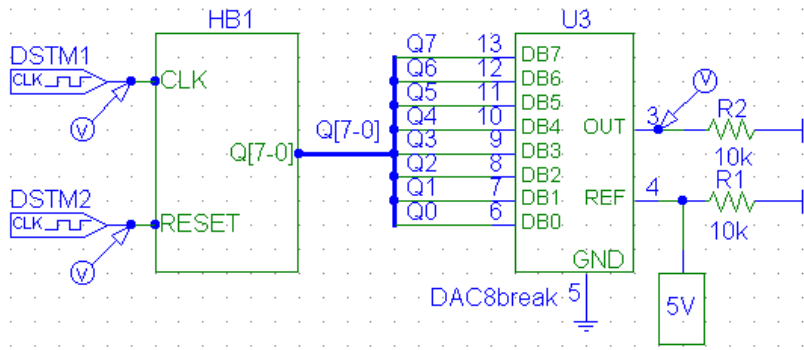


Figura 3.14. Circuito de ejemplo N° 5.

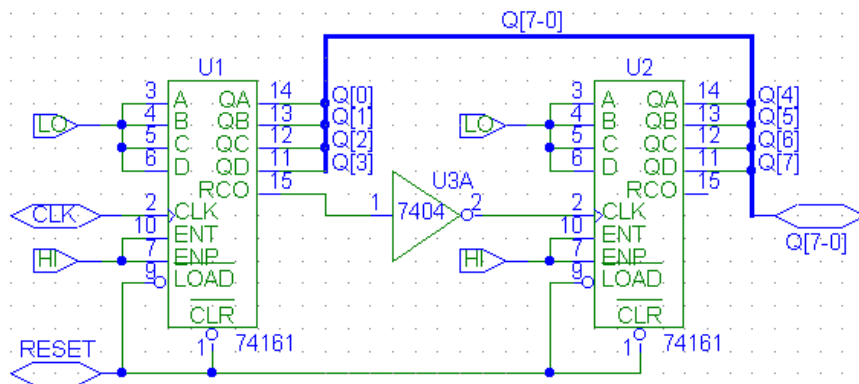


Figura 3.15. Bloque de contadores contenidos en caja Draw Bus de ejemplo N° 5.

nombre (en la figura 3.15 son Q0...Q7). Para asignar tal nombre solo tenemos que hacer doble click en la línea (línea fina) que une cada pin de los contadores con la línea **Draw Bus** (línea más gruesa) y enseguida aparecerá una ventana en la cual colocaremos el nombre correspondiente. Se debe hacer lo mismo para cada pin unido con el **Draw Bus**.

2. Colocados todos los nombres de los pines, hacemos doble click en el **Bus** para colocarle un nombre. En la figura 3.15 el nombre es Q[7-0]. Se recomienda que el nombre del **Bus** sea el mismo de la INTERFACE (figura hexagonal en el extremo del **Draw Bus**). En el circuito de la figura 3.15 también se colocaron interfaces para la señal de reloj (CLK) y para la señal de RESET.
3. Luego de hacer esto, se debe cargar el bloque de contadores en el **Draw Block** y seguidamente del pin Q[7-0] debemos hacer las uniones mostradas en la figura 3.14 con el **Draw Bus**. Debemos repetir el procedimiento para colocar los nombres respectivos a los pines que unen el **Draw Bus** con los pines del convertidor digital analógico (ADC). Terminada esta acción, debemos colocar el nombre del **Bus**, que debe ser el mismo al colocado en el **Bus** del bloque de contadores. Se recuerda que para colocar estos nombres

En un apartado anterior fue explicado en detalle como cargar un circuito dentro de una caja **Draw Block**, por lo que nos enfocaremos en explicar la forma de utilizar la opción **Draw Bus**. Para hacer esto tomaremos como referencia los circuitos de las figuras anteriores, siguiendo los siguientes pasos:

1. Primero se conectan los pines de salida de los contadores (figura 3.15) utilizando el botón **Draw Bus** de la barra de herramientas de **Schematics**. Seguidamente a cada punto de conexión se le asigna un

solo basta hacer doble click en la línea correspondiente. En la siguiente figura se presenta la respuesta obtenida.

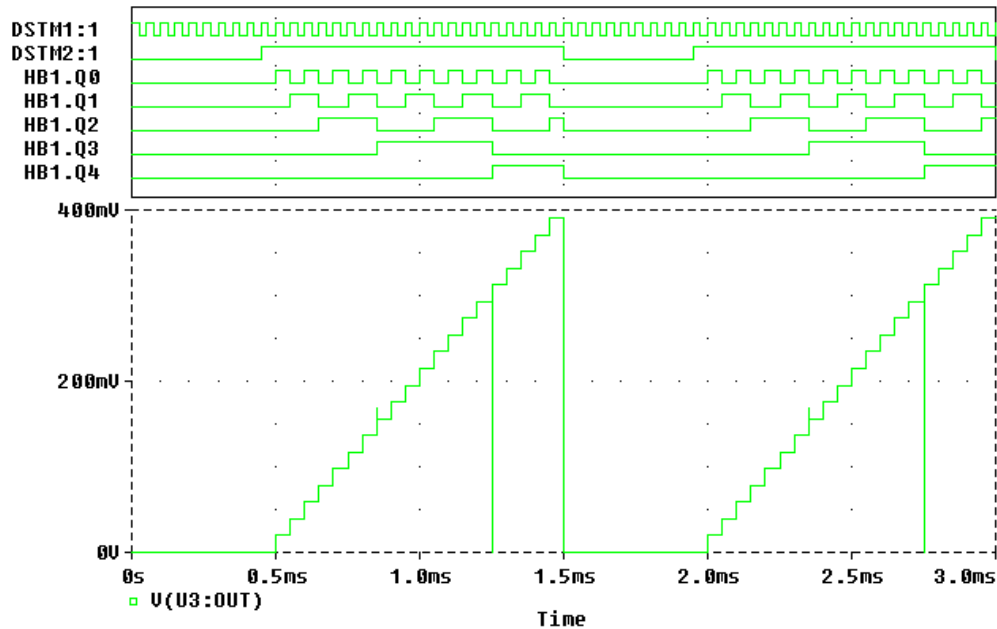


Figura 3.16. Respuesta del circuito de ejemplo N° 5 (Señal diente de sierra).

En la figura anterior, la ventana superior contiene las graficas de la señal de reloj (DSTM:1), la señal de inicio de conteo y RESET (DSTM:2) y las salidas de los cuatro bits menos significativos del bloque de contadores (entre ambos contadores suman 8 bits). En la ventana inferior se observa la señal diente de sierra pedida. En esta figura también puede observarse que se aplico un RESET a los contadores cada 20 pulsos de reloj (y no cada 256 pulsos “8 bits”). Para hacer esto se manipularon las señales de reloj y de reset de la siguiente manera:

- Ambas señales fueron obtenidas utilizando el dispositivo *DigClock* de la librería que permite generar señales digitales periódicas de reloj.
- Las propiedades manipuladas de estos dispositivos fueron: (DSTM:1); **ONTIME** = 25 μ s, **OFFTIME** = 25 μ s que son los tiempos para un alto y un bajo de reloj (Frecuencia = 20kHz), **STARTVAL** = 1 y **OPPVAL** = 0 para iniciar los pulsos con un alto. Para (DSTM:2); **ONTIME** = 1.05ms, **OFFTIME** = 450 μ s (esto permite el conteo de 20 pulsos y un RESET de 10 pulsos), **STARTVAL** = 0 y **OPPVAL** = 1 para iniciar los pulsos con un bajo.

3.6 Ejemplo N° 6: Circuito VCO.

Un VCO de las siglas en ingles (*Voltage Controlled Output*) es un circuito que permite variar la frecuencia de la señal de salida en relación proporcional a un voltaje de entrada. Esta característica

puede ser negativa o positiva, es decir, es negativa cuando al aumentar el voltaje disminuye la frecuencia y positiva cuando un aumento de voltaje se traduce en un aumento de frecuencia. En la siguiente figura se presenta un ejemplo sencillo de un circuito VCO de característica positiva.

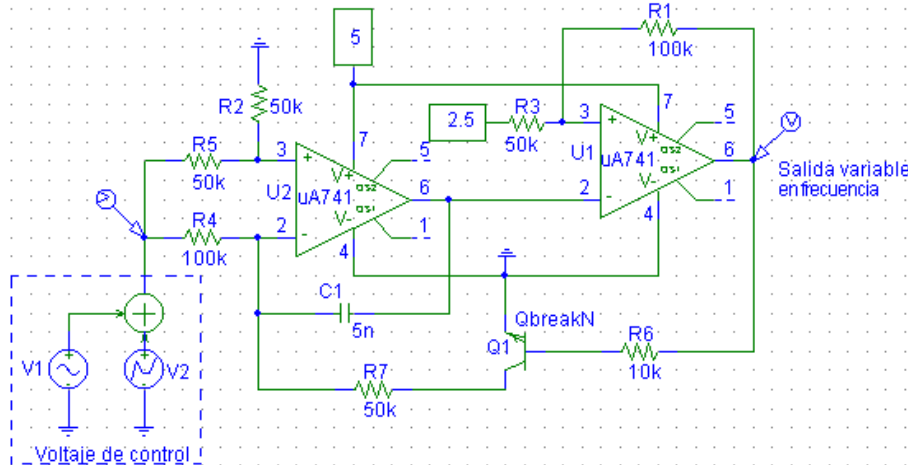


Figura 3.17. Circuito de ejemplo N° 6.

Se introdujo una señal de voltaje compuesta por dos señales (sinusoidal y triangular) para observar los cambios en frecuencia de la señal de salida. En la figura 3.18 se presenta la respuesta obtenida, puede observarse el aumento de la frecuencia en la señal de salida con el aumento de voltaje en la entrada (esto define la característica positiva del VCO).

3.7 Ejemplo N° 7: Circuito con Triac (cálculo de potencia).

Se trata de un ejemplo práctico en el cual se desea de determinar la potencia disipada por una carga al igual que el voltaje eficaz entregada a la misma. Por supuesto este análisis debe hacerse en régimen permanente, pero esto no representa un problema puesto que solo debemos dar suficiente tiempo a la simulación hasta “apreciar” que el circuito ha entrado en su “régimen permanente”. En este ejemplo se observa la utilidad de los disparadores *triacs* como reguladores de tensión suministrada a una carga.

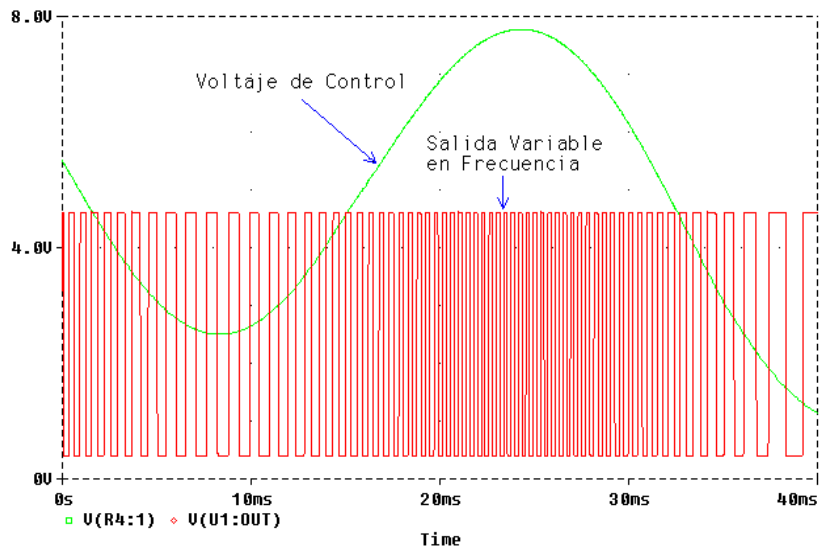


Figura 3.18. Respuesta del circuito de ejemplo N° 6 (Señal variable en frecuencia).

Planteamiento: En el circuito de la figura 3.19 determinar el valor eficaz mínimo y máximo del voltaje y de la potencia suministrada a la carga R_L , cuando el reóstato (R_x) varía entre 0Ω y $50k\Omega$.

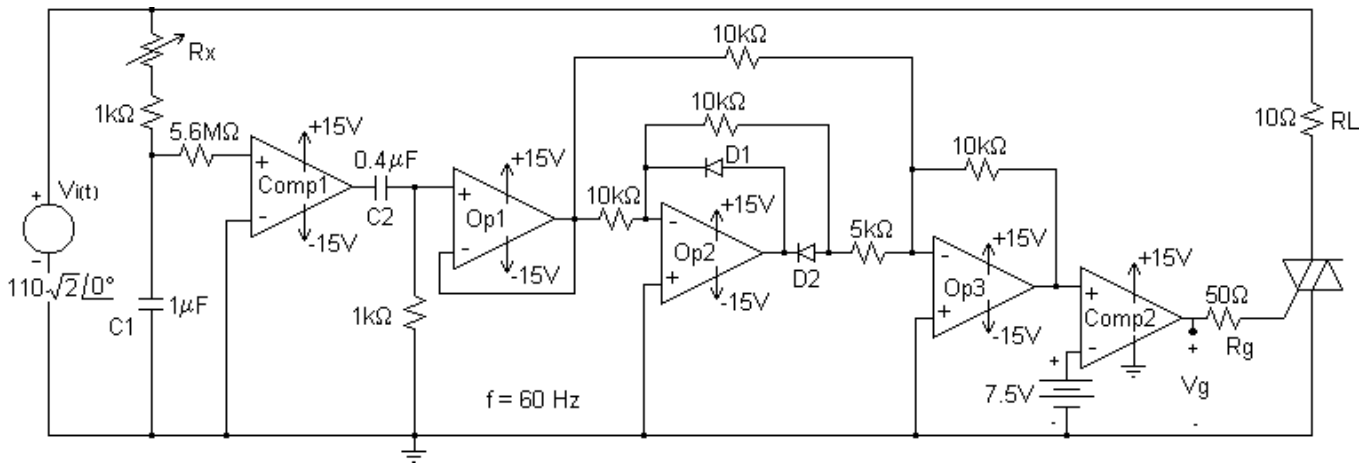


Figura 3.19. Circuito del ejemplo N° 7

DesingLab Eval 8 presenta una limitación cuando se simulan circuitos analógicos, estos deben tener como máximo 64 nodos. Si este valor es superado el programa detiene la simulación.

Como puede observarse en la figura anterior, este circuito supera los 64 nodos que tiene como límite máximo DesingLab Eval 8 (versión de evaluación) para la simulación de circuitos analógicos, por tal motivo la simulación será realizada en dos partes. En la primera se determinará el voltaje (Vg) de salida del comparador 2 para producir los disparos del triac y en una segunda simulación, se representará este voltaje mediante una fuente para determinar en la carga los parámetros deseados. En la figura 3.20 se presenta la primera sección de simulación.

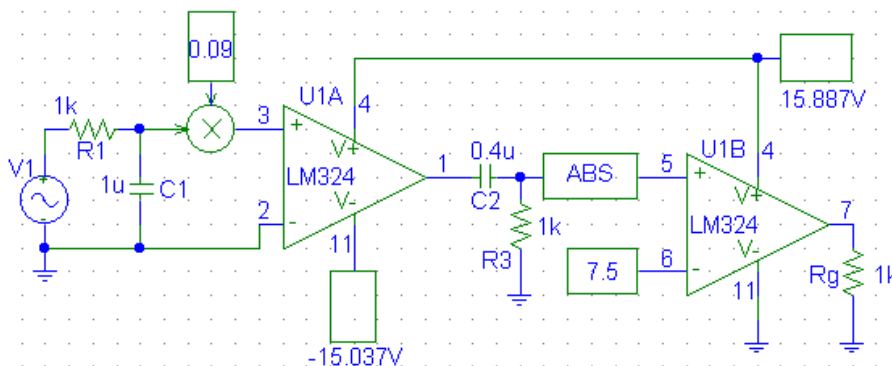


Figura 3.20. Circuito en Schematics para simulación de ejemplo 7 (primera etapa).

La fuente de alimentación es sinusoidal (senoidal) con un voltaje pico de $110\sqrt{2}$ V (110 eficaz). Cuando $R_x = 0$, el voltaje en el terminal V+ del comparador es muy elevado, por lo cual la salida de éste se ve distorsionada, debido a esto se colocó un atenuador a la entrada V+, representado

por un multiplicador y una constante de atenuación (0.09). Con esto la tensión en este terminal se ve reducida y el comparador funcionará normalmente, además como los cambios ocurrirán en el cruce por cero del voltaje en el condensador (C1), la respuesta del comparador no se ve afectada al compararla con el circuito original.

El rectificador de onda completa conformado por los Amplificadores Operacionales del circuito de la figura 3.19, son sustituidos por el dispositivo (ABS) que cumple la misma función (a su salida se obtiene el valor absoluto de la señal en su entrada). Al circuito de la figura 3.20 le fue colocado un triac y la carga RL, pero se superaron los 64 nodos de límite, por lo cual solo se colocó una carga ($R_g = 1k$) para determinar la señal de salida del comparador 2. En la siguiente figura se presenta la respuesta obtenida para $R_x = 0\Omega$.

En esta figura se presenta la gráfica del voltaje de entrada ($V_i(t)$) y la salida del comparador que produce los disparos del triac (tren de pulsos). Se realizó la simulación dando un tiempo prudente para que se alcance el régimen permanente del circuito. De esta figura se determinó el desfase que existe entre el voltaje de alimentación

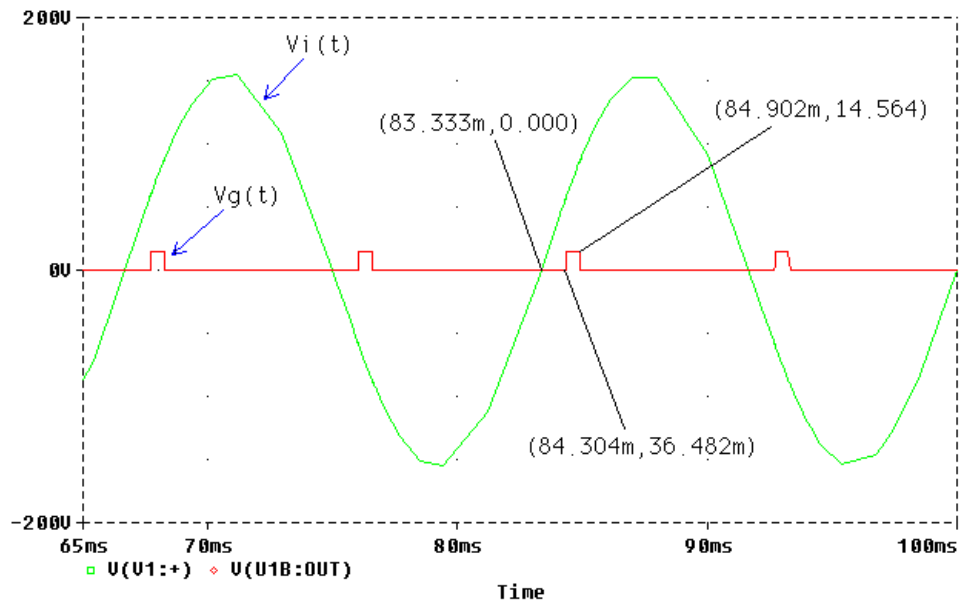


Figura 3.21. Resultado de simulación del circuito de la figura 3.20

y el pulso de disparo (hay una diferencia de tiempo de $971\mu s$ que se traduce en un atraso del tren de pulsos con respecto a $V_i(t)$ de 20.97°). También se determinó al ancho del pulso ($ton = 598\mu s$) y el periodo del mismo ($T = 8.333ms$). En la figura 3.22 se presenta el circuito utilizado para la segunda etapa de la simulación

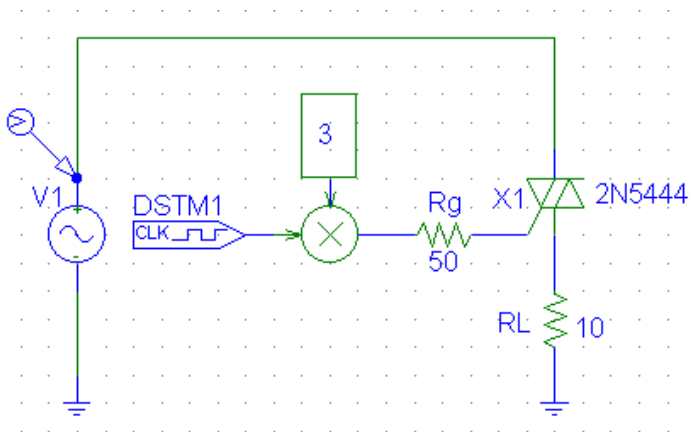


Figura 3.22. Circuito en Schematics para simulación de ejemplo 7 (segunda etapa).

En este circuito el tren de pulsos de salida del comparador es generado con el dispositivo DSTM1 al cual se le modificaron las siguientes propiedades: **ONTIME** = 7.735ms, **OFFTIME** = 598 μs , **STARTVAL** = 1 y **OPPVAL** = 0 para iniciar los pulsos con un alto. La amplitud de la señal de salida de este dispositivo es de 5V, razón por la cual se amplificó la señal mediante un multiplicador y una constante (3), para obtener los 15V del diseño original.

Para cumplir con el ángulo de desfase entre el voltaje de alimentación y el tren de pulsos, se modificó el ángulo inicial de fase de la alimentación mediante la propiedad: **PHASE** = 20.97. Otras propiedades de la fuente modificadas fueron: **AC** = 0; **DC** = 0; **VOFF** = 0; **VAMPL** = 155.57; **FREQ** = 60. En la siguiente figura se presenta la forma de la señal de voltaje obtenida en la carga en conjunto con el voltaje de alimentación y los pulsos de disparo.

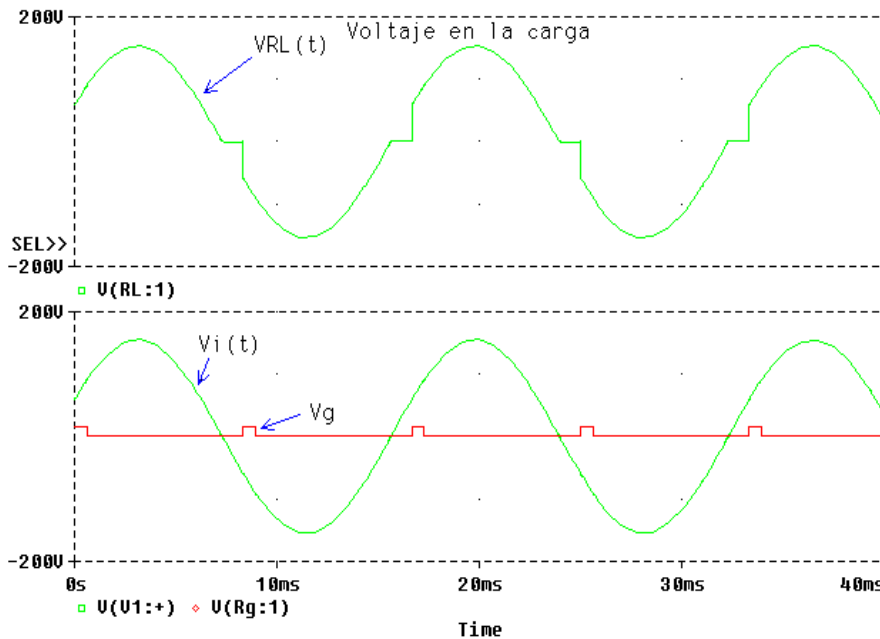


Figura 3.23. Voltaje de alimentación y en la carga para $R_x = 0\Omega$.

En la figura 3.24 se tiene el voltaje eficaz en la carga y la potencia eficaz en la misma cuando $R_x = 0\Omega$.

En dicha figura puede observarse el transitorio para el voltaje y la potencia eficaz en la carga, los cuales se van haciendo constantes a medida que el circuito entra en régimen permanente. Se obtiene un voltaje eficaz de aproximadamente 106.945V y una potencia eficaz de 1.1437 kW.

Para el caso de $R_x = 50k\Omega$, en la figura 3.25 se presenta el resultado de la simulación del circuito de la figura 3.20.

Debido a la resistencia elevada de entrada, en este caso el régimen permanente se alcanza transcurrido varios segundos. De la gráfica se obtiene un tiempo de retardo de 4,2ms (desfase de 90.72°), un ancho de pulso de $600\mu s$ y un periodo igual al caso anterior de 8.333ms.

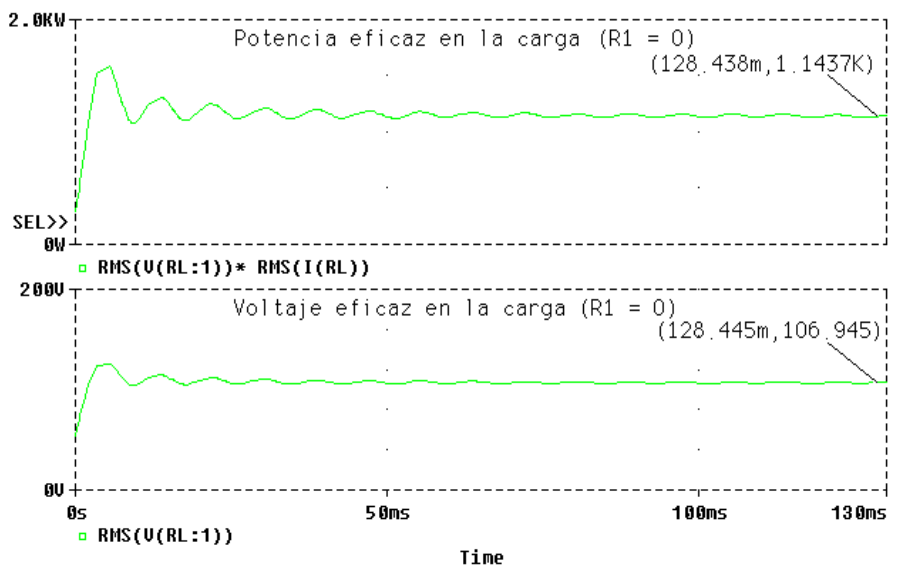


Figura 3.24. Voltaje y potencia eficaz en la carga para $R_x = 0\Omega$.

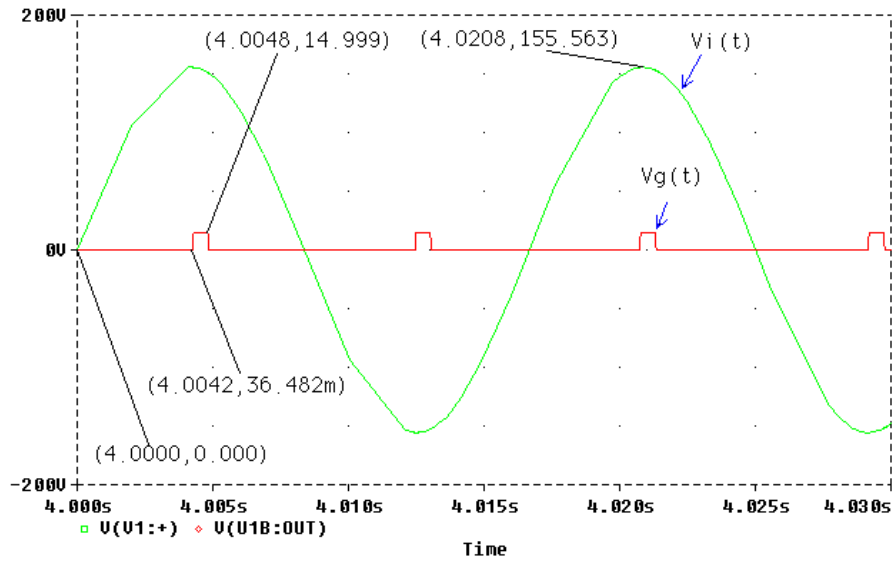


Figura 3.25. Resultado de simulación del circuito de la figura 3.20 (primera etapa con $R_x = 50k\Omega$).

En la figura 3.26 se muestra el voltaje en la carga obtenido de la simulación del circuito de la figura 3.22 bajo las condiciones antes mencionadas.

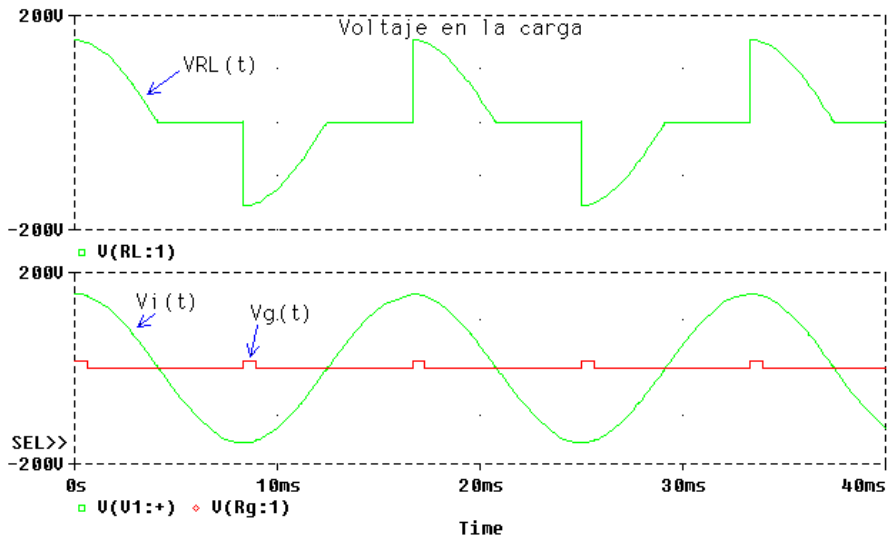


Figura 3.26. Voltaje de alimentación y en la carga para $R_x = 50k\Omega$.

En la figura 3.27 se observa el voltaje y la potencia eficaz en la carga para este caso. Se obtiene un voltaje eficaz de aproximadamente 77.555V y una potencia eficaz de 601.478W. Estos valores son inferiores al caso anterior, debido a que los disparos ocurren transcurrido un tiempo mayor, es decir el ángulo de desfase entre los pulsos y el voltaje de alimentación es mayor. Con este

ejemplo hemos visto la forma de controlar los valores eficaces de voltaje y potencia en una carga, en caso de que estos necesiten ser regulados.

3.8 Ejemplo N° 8: Respuesta de un filtro activo.

Con este ejemplo se pretende explicar otras funcionalidades de la ventana *Analysis Setup*. Para lograr esto se utilizará el diseño de un filtro activo pasa banda con frecuencia central de 10kHz y un ancho de la banda de paso de 1.5kHz. Este circuito se presenta en la siguiente figura.

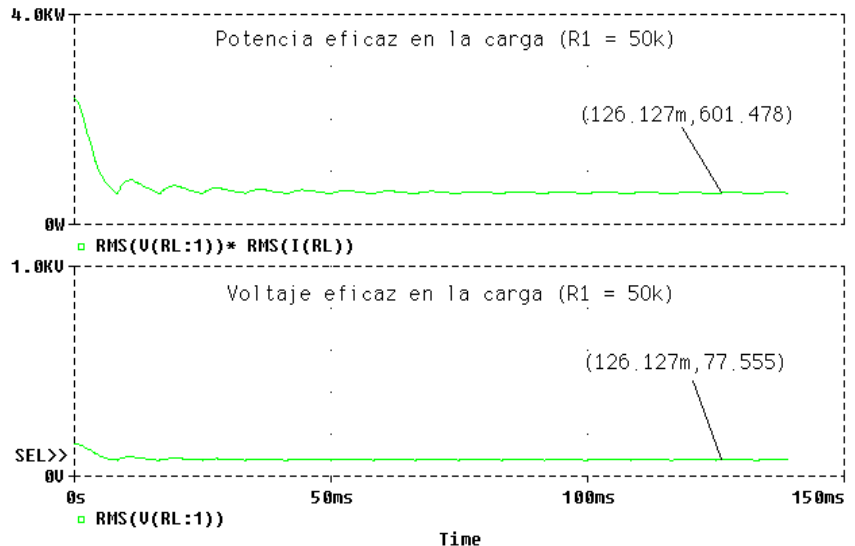


Figura 3.27. Voltaje y potencia eficaz en la carga para $R_x = 50k\Omega$.

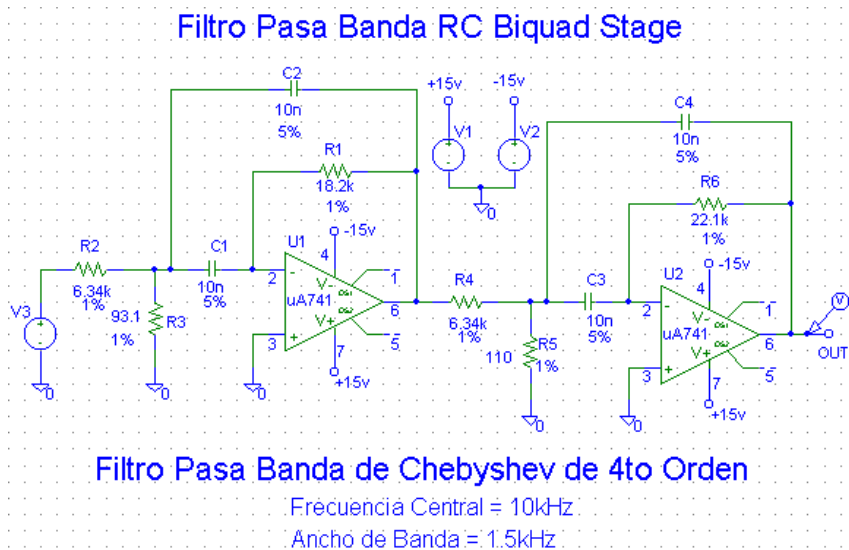


Figura 3.28. Filtro Pasa Banda para simulación de ejemplo N° 8.

En este diseño se han utilizado nuevos componentes como son: los **CONNECTION BUBBLE**, representados por los dispositivos con etiquetas +15V y -15V, estos dispositivos permiten realizar la interconexión entre componentes (parecido a la función de los dispositivos **INTERFACE**). Fuentes de Voltaje (**VSRC**) que suministran voltaje **AC** y **DC**; luego las fuentes V1 y V2 representan la alimentación de los Amp. Op., para lo cual se colocaron las propiedades DC de las mismas en 15V y -15V respectivamente. La idea del problema es graficar la respuesta del filtro, para lo cual en la ventana *Analysis Setup* se debe seleccionar la opción *AC Sweep...*, haciendo click se abre la ventana de la figura 3.29.

En esta ventana debemos indicar el punto de inicio para el barrido de frecuencia (*Start Freq*) y el punto final (*End Freq*), que en este ejemplo se inicia en 1kHz y finaliza en 100kHz. Además

debemos colocar los puntos por década (*Pts/Decade*) y también podemos indicar el voltaje de salida a graficar (*Output Voltage*), que según puede observarse en la figura 3.28 es el dispositivo con etiqueta (**OUT**). También se debe seleccionar el tipo de barrido en AC (*AC Sweep Type*), para nuestro ejemplo se seleccionó (*Decade*). Para poder obtener la respuesta del filtro debemos excitar el sistema con una fuente AC (en el ejemplo se tomó una fuente **VSRC** (V3) con la propiedad AC = 1). Establecidas todas las condiciones se obtuvo la respuesta mostrada en la figura 3.30 que representa la ganancia del filtro en función de la frecuencia.

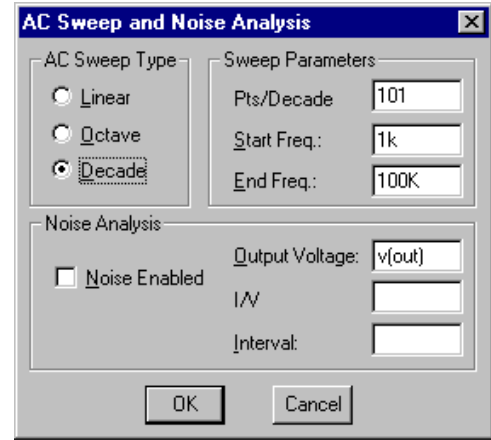


Figura 3.29 Ventana AC Sweep

3.9 Ejemplo N° 9: Control independiente de ángulos de disparo en semiciclo positivo y negativo de onda de voltaje.

Este ejemplo (en su concepción) es un poco similar al ejemplo N° 7, pero su finalidad es además del cálculo mismo, ofrecer alternativas de solución a problemas cuando el programa *Eval 8* presenta limitaciones (límite de nodos) para realizar simulación.

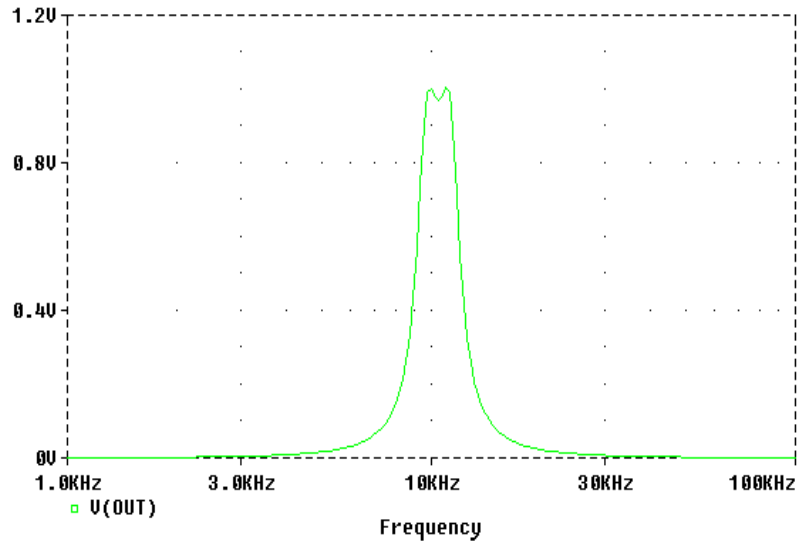


Figura 3.30. Respuesta grafica del filtro Pasa Banda

Planteamiento: En el circuito de la figura 3.31 determinar el valor de R2 y R4 para que se produzcan disparos en el triac cuando la onda de voltaje pase por los 30° y 270° de los semiciclos positivos y negativos respectivamente. Calcule además el voltaje promedio y eficaz entregado a la carga para la condición anterior.

Funcionamiento: Cuando la onda de voltaje esta en su semiciclo (+) el comparador Comp1 presenta un alto a su salida (15V) que mantiene en corte el transistor Q1 y en activa Q2, que a su vez carga el condensador C1 con una corriente constante (el condensador se carga linealmente en proporción a esta corriente). Cuando el voltaje pasa por el semiciclo (-) la salida de Comp1 es -15V que coloca a Q2 en corte y Q1 en saturación, con lo cual el condensador de descarga bruscamente manteniendo un voltaje de aproximadamente 0V durante todo este semiciclo. Con C2 ocurre lo mismo, con la salvedad de que la carga se produce durante el semiciclo (-) de la alimentación.

acondicionar esta señal (se recuerda que el **DigClock** (Comparador) permite obtener señales de pulso periódicas (bajo = 0V y alto = 5V). Las propiedades del **DigClock** manipuladas fueron: **ONTIME** = 8.33ms, **OFFTIME** = 8.33ms, **STARTVAL** = 1 y **OPPVAL** = 0.

- Debido al retardo que se produce en la respuesta de los comparadores y a la pendiente no infinita de los mismos, se tuvo que disminuir el voltaje de referencia (en muy poca proporción) para producir los pulsos en los tiempos necesarios; en relación a esta disminución se obtuvo $R2 = 581\Omega$ y $R4 = 1.976k\Omega$.
- A la salida de la compuerta OR se obtienen pulsos con 5V de magnitud por lo cual fue necesario utilizar un multiplicador para amplificar esta señal. En esta etapa interesa solo obtener los pulsos de disparo para utilizarlos en una simulación posterior (La etapa de potencia fue obviada por superarse el límite de nodos).

En la siguiente figura se presenta la respuesta obtenida en la simulación del circuito de la figura 3.32.

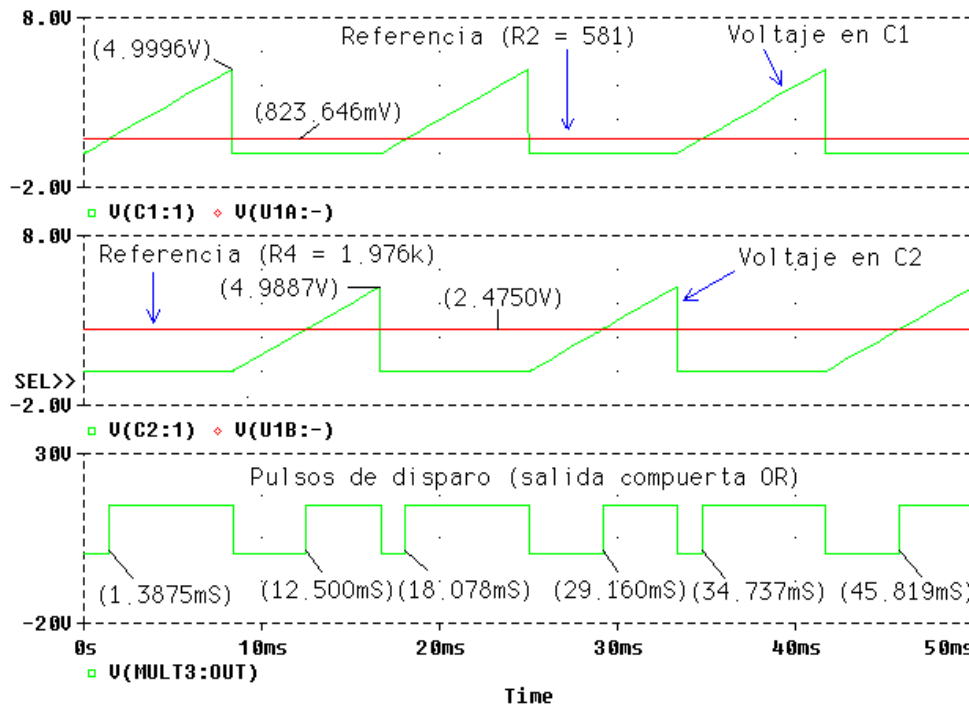


Figura 3.33. Resultado de simulación del circuito de la figura 3.32

Obtenidos los tiempos en los cuales se producen los disparos se procedió a realizar la segunda etapa de la simulación que consiste en generar estos pulsos utilizando el componente **DigClock** y aplicarlos al triac para obtener la forma de onda del voltaje en la carga. Para hacer esto se utilizó el circuito de la figura 3.34. En este circuito para obtener el tren de pulsos que producen disparos en el semiciclo (+) fue

necesario utilizar dos componentes **DigClock** con la siguiente configuración en sus propiedades: para **Comp1**: **ONTIME** = 8.3529ms, **OFFTIME** = 8.3137ms, **STARTVAL** = 1 y **OPPVAL** = 0. Para **Val_Comp1**: **ONTIME** = 15.2791ms, **OFFTIME** = 1.3875ms, **STARTVAL** = 0 y **OPPVAL** = 1.

En relación al generador de pulsos en semiciclo (-) se tiene, **Comp2: ONTIME** = 4.1665ms, **OFFTIME** = 12.5ms, **STARTVAL** = 0 y **OPPVAL** = 1.

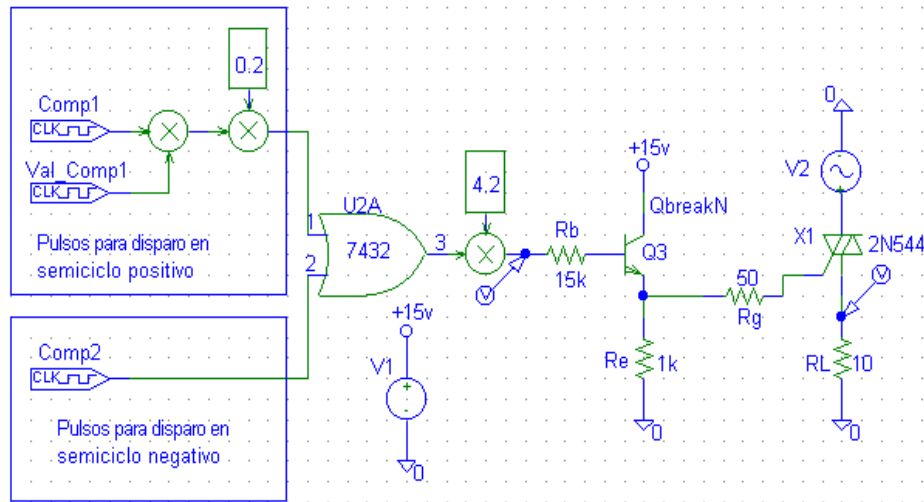


Figura 3.34. Circuito en *Schematics* para simulación de ejemplo N° 9 (segunda etapa).

La respuesta obtenida en la simulación de esta etapa se presenta en la figura 3.35. Puede observarse la similitud que existe entre los tiempos de los pulsos de disparo en la figura 3.33 y los obtenidos en la figura 3.35. De todos modos se recomienda al lector que intente otra configuración para generar los pulsos en ambos semiciclos.

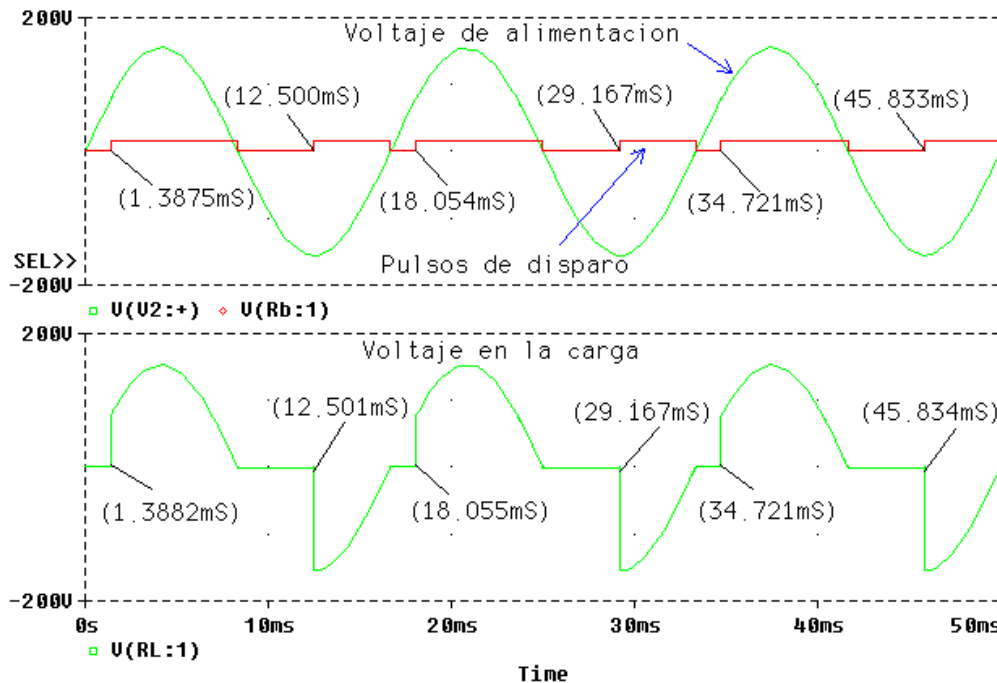


Figura 3.35. Voltaje obtenido en la carga para simulación del circuito de la figura 3.34

En la figura 3.36 se determina el voltaje eficaz y medio en la carga para la condición expuesta. Para determinar estos parámetros se recurrió a las funciones RMS (gráfica el valor eficaz) y AVG

(gráfica el valor medio). De la gráfica se obtiene un voltaje eficaz de aproximadamente 92.781V y un valor medio de este de aproximadamente 21.076V.

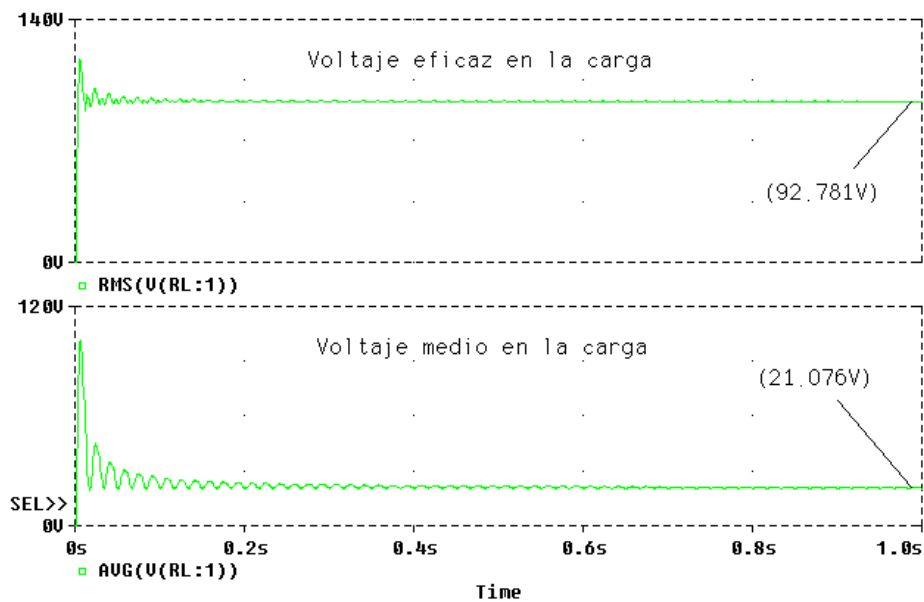


Figura 3.36. Voltaje eficaz y medio en la carga, para ejemplo N° 9.

El valor medio del voltaje también puede determinarse aplicando la transformada de Fourier, y hallando la magnitud de este voltaje para $f = 0\text{Hz}$ (componente continua). En la siguiente figura se presenta este caso. Se obtiene $V_{dc} = 21.152\text{V}$

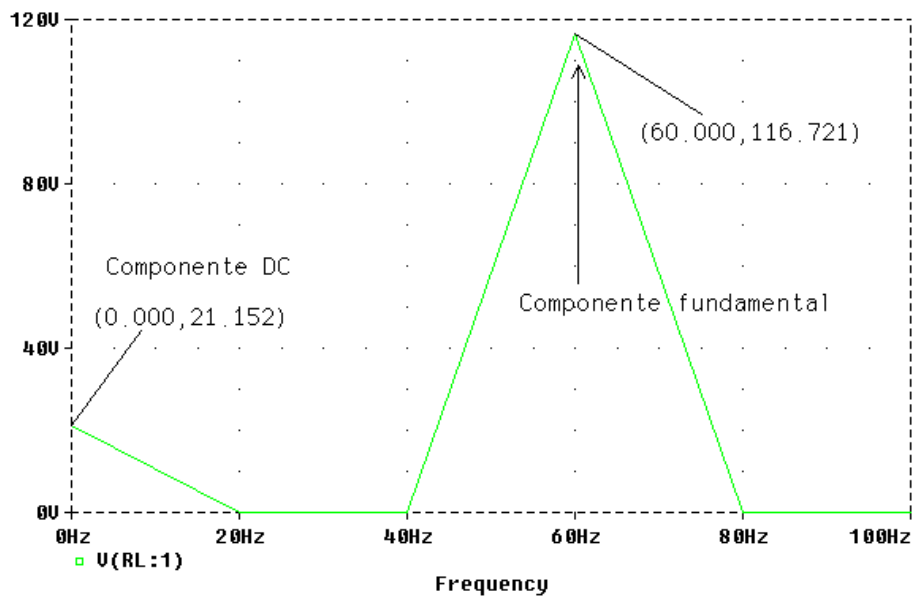


Figura 3.37. Voltaje medio en la carga, para ejemplo N° 9 (método de transformada de Fourier)

A continuación se proponen algunos problemas para realiza prácticas con este paquete.

4. PROBLEMAS PROPUESTOS.

4.1 **Problema N° 1.** En el circuito de la figura 4.1, graficar $V_o(t)$ indicando puntos de interés.

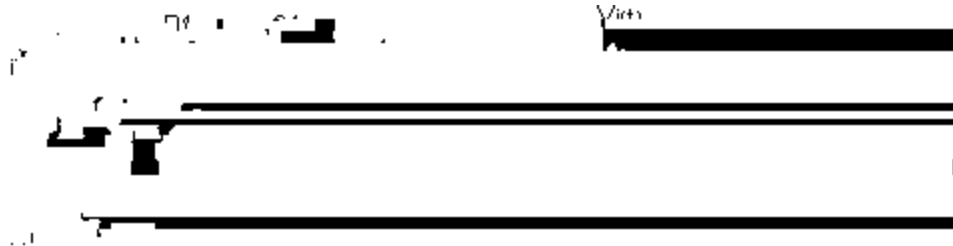


Figura 4.1 Circuito problema N° 1.

Nota: Este es un problema muy sencillo de resolver por cálculo manual, se incita al lector a realizar dicho cálculo para comparar el resultado.

4.2 **Problema N°2.** En el circuito de la figura 4.2, se ha determinado el valor de la resistencia R_B para que el mismo oscile a 1 kHz, demuestre mediante simulación en *DesingLab 8* la afirmación anterior.

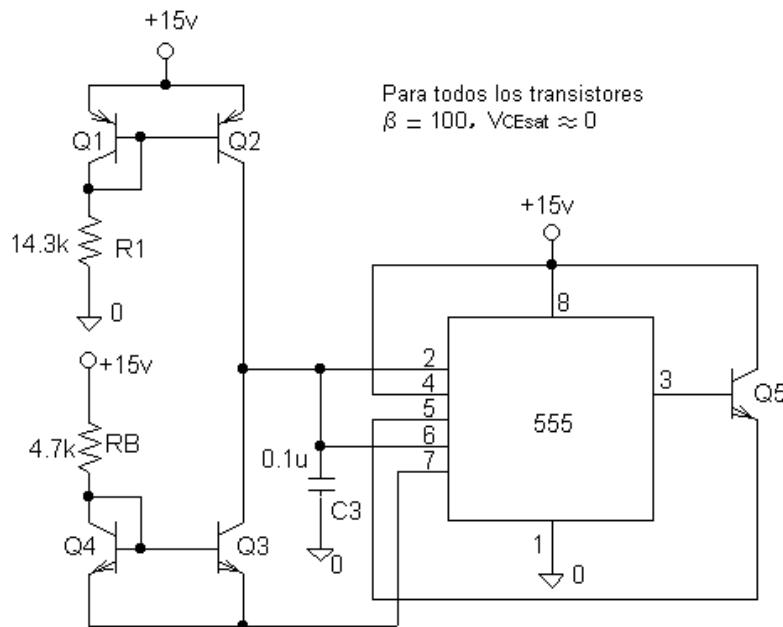


Figura 4.2 Circuito problema N° 2.

4.3 **Problema N° 3.** En el circuito de la figura 4.3 determine el valor de V_1 , para que el voltaje promedio entregado a la carga sea de 60V.

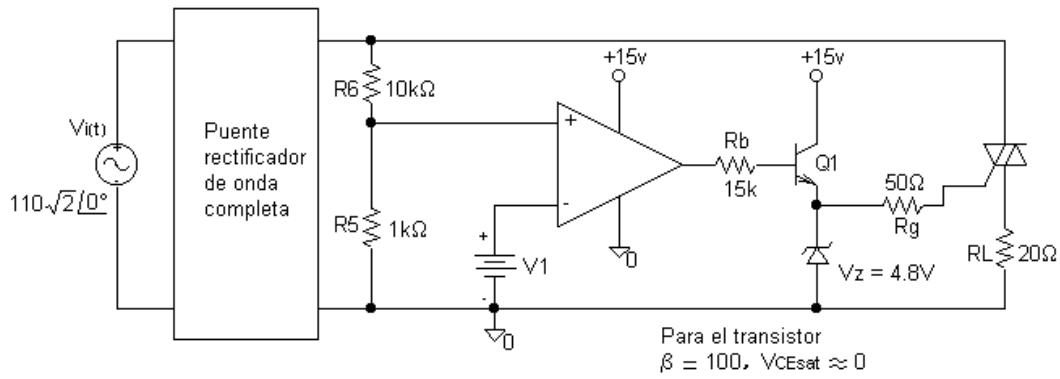


Figura 4.3 Circuito problema N° 3.

Sugerencia: Para obtener el valor de V1, realice el cálculo integral de valor promedio para obtener el tiempo al cual debe ocurrir el disparo del triac. Con este tiempo, determine el voltaje en terminal positivo del comparador, con lo cual se obtendrá el valor de V1. Para realizar la simulación puede sustituir el puente rectificador por la función **ABS** de la librería de *Schematics*.

4.4 Problema N° 4. Determine la forma de onda del voltaje a la salida del amplificador del circuito mostrado en la siguiente figura.

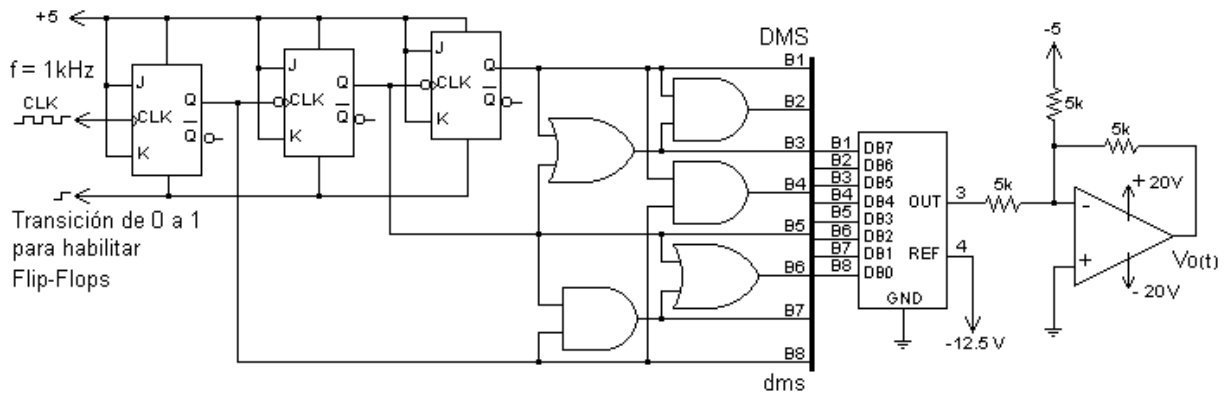


Figura 4.4. Circuito problema N° 4.

RESPUESTA A PROBLEMAS PROPUESTOS.

1. Problema N° 1.

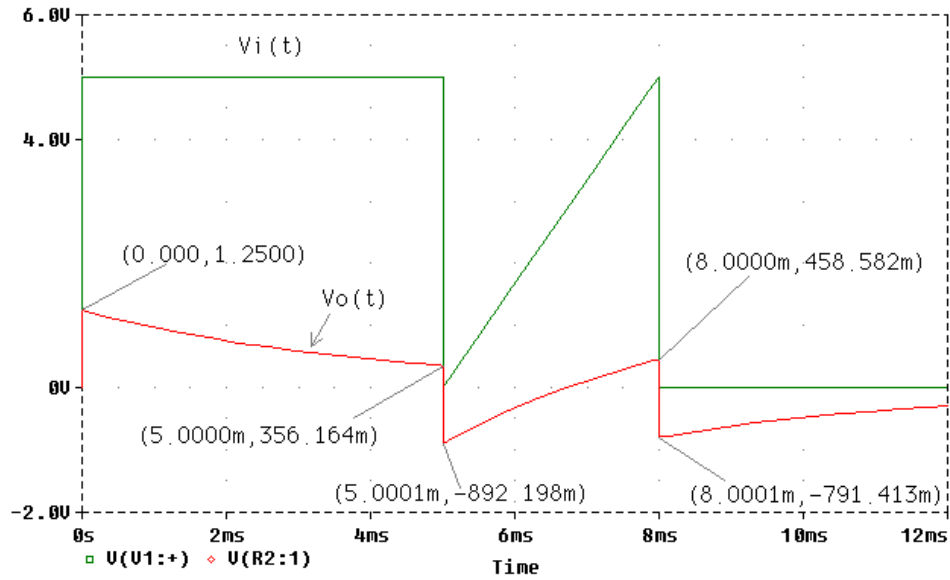


Figura 4.5. Respuesta a problema N° 1.

2. Problema N° 2.

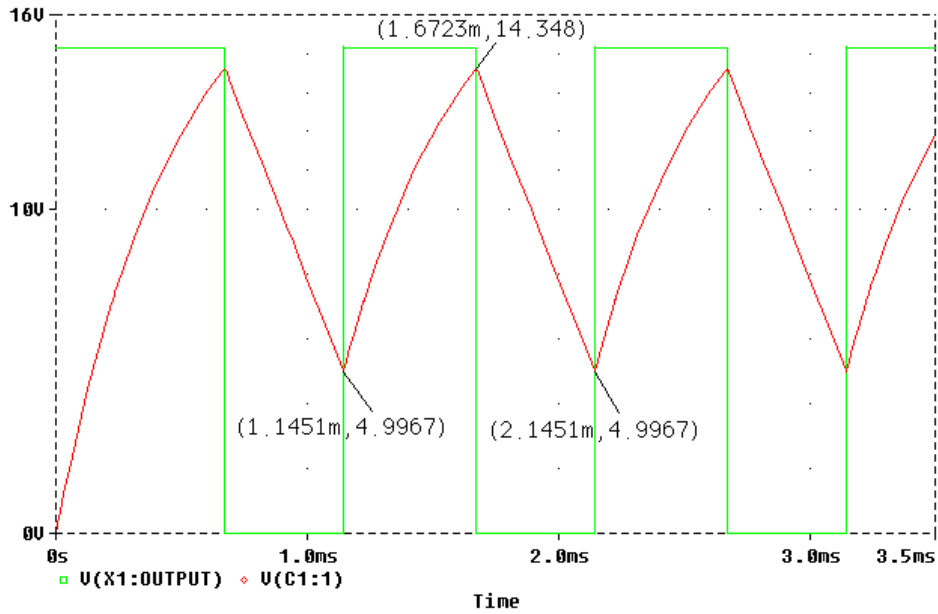


Figura 4.6. Respuesta a problema N° 2.

3. Problema N° 3.

Por cálculo se determinó que los disparos deben ocurrir a 3.6ms después que la onda de voltaje pase por cero (0), con lo cual se obtuvo $V1 = 13.80V$.

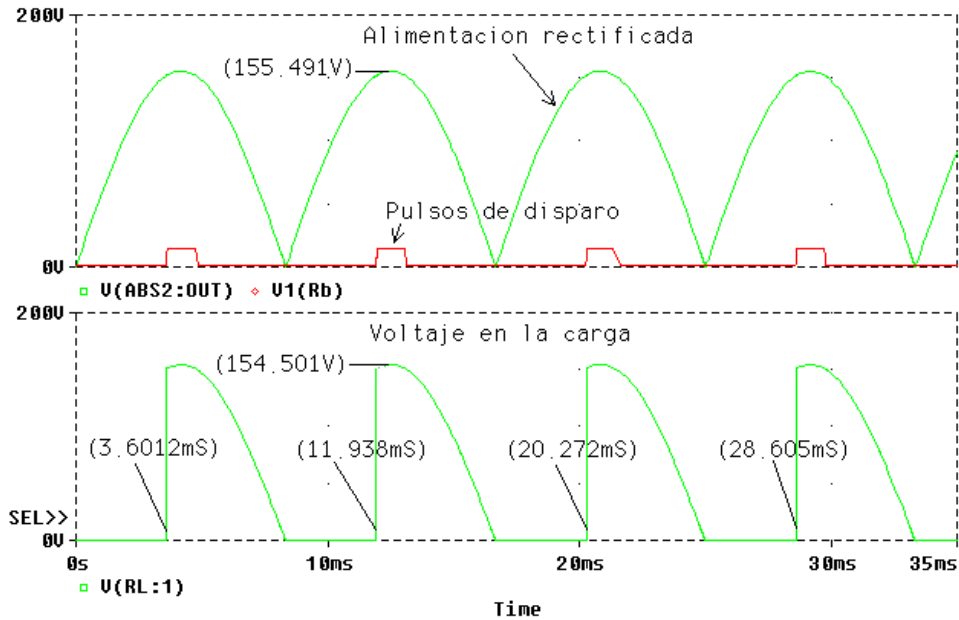


Figura 4.7. Respuesta a problema N° 3 (Onda de Voltaje en la carga).

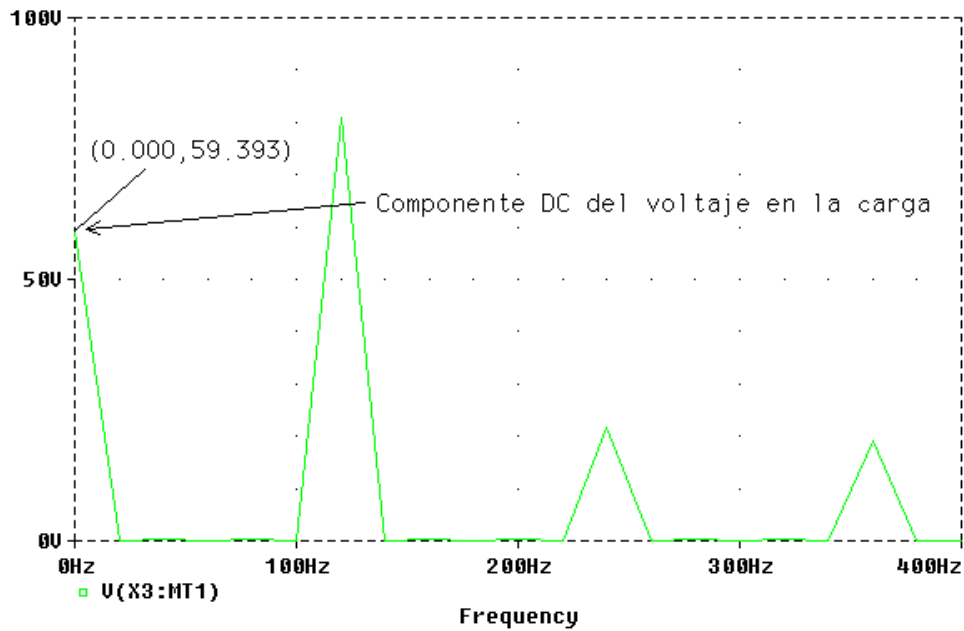


Figura 4.8. Respuesta a problema N° 3 (Magnitud DC de voltaje en la carga).

4. Problema N° 4.

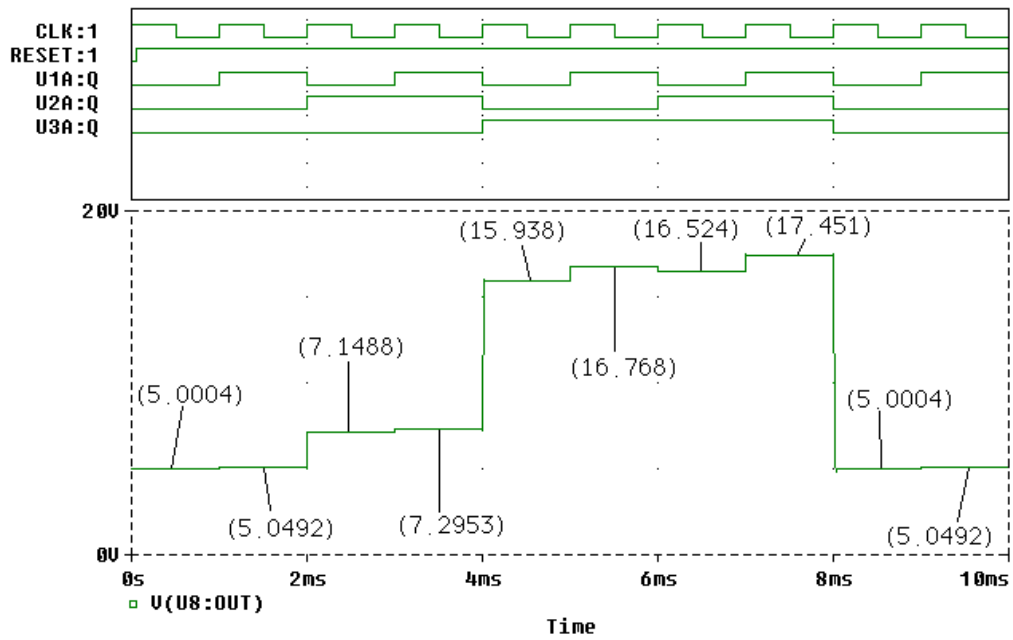


Figura 4.9. Respuesta a problema N° 4.