

Trabajo Práctico Número 1

Filtros Pasivos y Análisis Computacional

Grupo 5

AUTORES:

Federico TONDI (59341)
Franco MORICONI (58495)
Alan VEKSELMAN (59378)
Carola PEDROSA (59059)
Franco SCAPOLLA (58465)

PROFESORES:

Daniel JACOBY
Carlos BELAUSTEGUI GOITIA

Contenido

1. Introducción	3
1.1. Presentación del trabajo	3
1.2. Transformación de Kenelly	3
2. Filtro Notch Pasivo	4
2.1. Análisis del circuito	4
2.2. Respuestas del circuito	9
2.3. Conclusiones y comentarios	11
3. Parte 2: Plot Tool	11
3.1. Instrucciones de uso	11

1. Introducción

1.1. Presentación del trabajo

El presente trabajo tiene como objetivo, por un lado, realizar el análisis y la simulación de algunas características de un circuito Notch Pasivo, y por otro, la elaboración de un programa en Python capaz de graficar curvas de interés a partir de datos tomados de LTSpice o del dispositivo Digilent Explorer.

En la primera sección se realiza el análisis circuital del filtro Notch, y luego se comparan los resultados teóricos de dicho análisis con los simulados a través del programa LTSpice. La segunda sección presenta un instructivo de uso del programa desarrollado en Python.

1.2. Transformación de Kenelly

En primera instancia, para poder hallar la transferencia del circuito de una forma más sencilla se hizo uso del método de la Transformación de Kennelly. Éste consiste en redibujar un circuito en forma de 'T' en uno en forma 'Pi', modificando el valor de las impedancias del mismo como indican las figuras 1.2 y 1.3. Un esquema visual de la transformación se presenta en la figura 1.1.

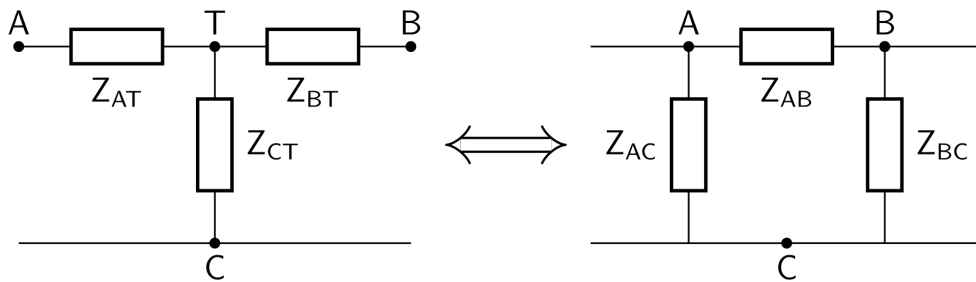


FIGURA 1.1: Transformación de Kennelly

En función de las impedancias	En función de las admitancias
$Z_{AB} = \vec{Z}_{AT} + \vec{Z}_{BT} + \frac{\vec{Z}_{AT} \cdot \vec{Z}_{BT}}{\vec{Z}_{CT}}$	$\vec{Y}_{AB} = \frac{\vec{Y}_{AT} \cdot \vec{Y}_{BT}}{\vec{Y}_{AT} + \vec{Y}_{BT} + \vec{Y}_{CT}}$
$Z_{BC} = \vec{Z}_{BT} + \vec{Z}_{CT} + \frac{\vec{Z}_{BT} \cdot \vec{Z}_{CT}}{\vec{Z}_{AT}}$	$\vec{Y}_{BC} = \frac{\vec{Y}_{BT} \cdot \vec{Y}_{CT}}{\vec{Y}_{AT} + \vec{Y}_{BT} + \vec{Y}_{CT}}$
$Z_{AC} = \vec{Z}_{AT} + \vec{Z}_{CT} + \frac{\vec{Z}_{AT} \cdot \vec{Z}_{CT}}{\vec{Z}_{BT}}$	$\vec{Y}_{AC} = \frac{\vec{Y}_{AT} \cdot \vec{Y}_{CT}}{\vec{Y}_{AT} + \vec{Y}_{BT} + \vec{Y}_{CT}}$

FIGURA 1.2: Transformación estrella- triángulo

En función de las impedancias	En función de las admitancias
$\vec{Z}_{AT} = \frac{\vec{Z}_{AB} \cdot \vec{Z}_{AC}}{\vec{Z}_{AB} + \vec{Z}_{BC} + \vec{Z}_{AC}}$	$\vec{Y}_{AT} = \vec{Y}_{AB} + \vec{Y}_{AC} + \frac{\vec{Y}_{AB} \cdot \vec{Y}_{AC}}{\vec{Y}_{BC}}$
$\vec{Z}_{BT} = \frac{\vec{Z}_{AB} \cdot \vec{Z}_{BC}}{\vec{Z}_{AB} + \vec{Z}_{BC} + \vec{Z}_{AC}}$	$\vec{Y}_{BT} = \vec{Y}_{AB} + \vec{Y}_{BC} + \frac{\vec{Y}_{AB} \cdot \vec{Y}_{BC}}{\vec{Y}_{AC}}$
$\vec{Z}_{CT} = \frac{\vec{Z}_{AC} \cdot \vec{Z}_{BC}}{\vec{Z}_{AB} + \vec{Z}_{BC} + \vec{Z}_{AC}}$	$\vec{Y}_{CT} = \vec{Y}_{AC} + \vec{Y}_{BC} + \frac{\vec{Y}_{AC} \cdot \vec{Y}_{BC}}{\vec{Y}_{AB}}$

FIGURA 1.3: Tranformación triángulo- estrella

Se puede observar que ésta no es la única forma posible de resolución del circuito planteado, dado que se puede hacer por métodos alternativos, como por ejemplo tomando al circuito como un cuadripolo y calculando sus parámetros Y .

2. Filtro Notch Pasivo

2.1. Análisis del circuito

2.1.1. Cálculo teórico

En primer lugar se buscó diseñar un filtro rechaza-banda con una frecuencia de corte $f_0 = 16,2kHz$. Para ello, se tomó el siguiente circuito de referencia:

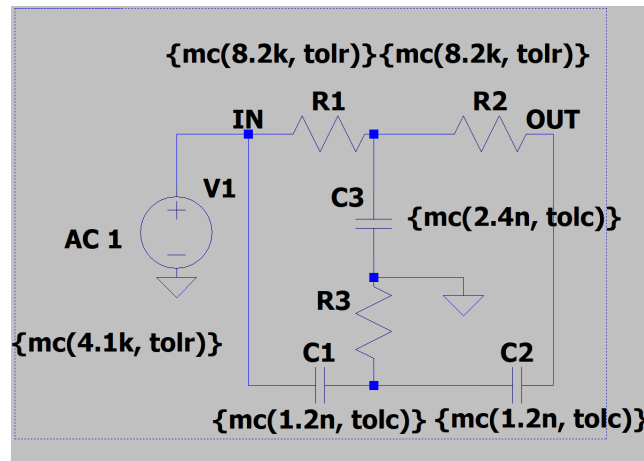


FIGURA 2.1: Circuito analizado

Los valores se calcularon tomando $R_1 = R_2 = 2R_3$ y $C_1 = C_2 = \frac{C_3}{2}$. A partir de la función transferencial, se obtuvo una frecuencia de corte para este filtro de $\frac{1}{2\pi R_3 C_3}$. Por lo tanto, se obtuvo que $\frac{1}{R_3 C_3} = 2\pi 16.2KHz$.

Cabe destacar que los valores elegidos fueron los más cercanos para cumplir con las especificaciones de la cátedra. Se fijó $C_3 = 1.2nF$, por lo que el valor de R_3 quedó determinado en 8186Ω . Se redondeó el valor a $8.2K\Omega$.

Para calcular la función transferencial $H(s)$ de forma analítica se realizaron los siguientes cálculos:

1. Primero se separó en un circuito equivalente para facilitar el análisis.
2. Luego, aplicando Transformación de Kennelly y calculando los parámetros de conversión correspondientes, se pasó a conexión Pi.
3. Se asociaron las impedancias.
4. Se calculó la función de transferencia $H(s)$ de dicho circuito, que resulta como:

$$H(s) = \frac{1 + (sCR)^2}{1 + 4sCR + (sCR)^2} \quad (2.1)$$

Con esta función de transferencia se puede calcular la respuesta al escalón y la respuesta al impulso.

Se puede notar que, $\mathcal{L}^{-1}\{\frac{H(s)}{s}\} = y(t)$ siendo $y(t)$ la respuesta al escalón. Asimismo, $\mathcal{L}^{-1}\{H(s)\} = a(t)$ siendo $a(t)$ la respuesta al impulso. Si se realizan las antitransformadas mencionadas, se obtiene:

- $y(t) = (1 + 1.15e^{-379876.5t} - 1.15e^{-27273.906t}).u(t)$
- $a(t) = (-438643.6e^{-379876.5t} + 31493.194e^{-27273.906t}).u(t)$

Siendo $u(t)$ el escalón unitario.

Teniendo en cuenta las ecuaciones teóricas halladas, se pueden graficar la respuesta en frecuencia del sistema y el diagrama de Bode correspondiente. Dichos gráficos serán de utilidad para visualizar ciertos comportamientos del circuito y comparar los valores teóricos con los simulados.

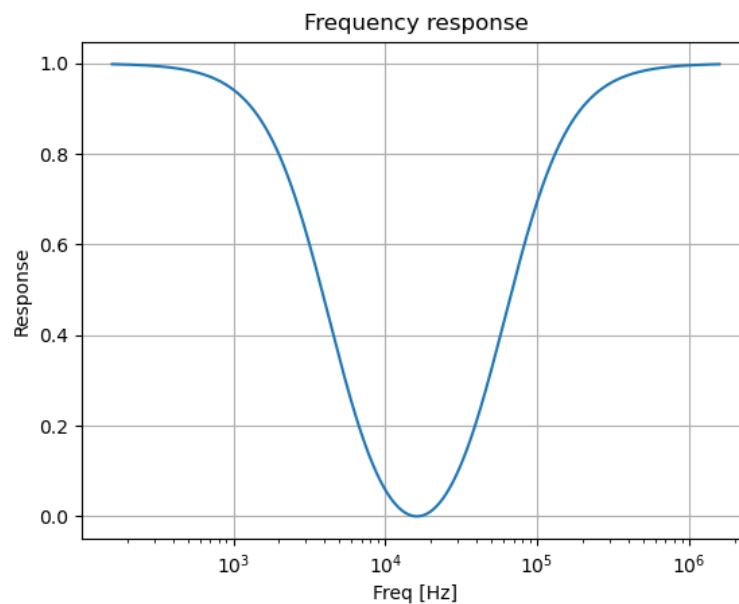


FIGURA 2.2: Respuesta en frecuencia

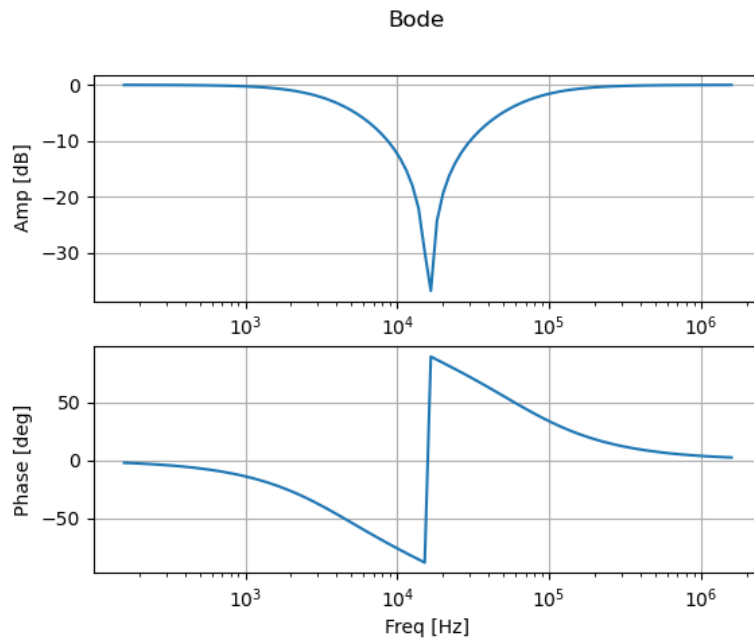


FIGURA 2.3: Amplitud y fase teóricas

Puede observarse que este filtro rechaza la frecuencia de 16,2 KHZ, que es la frecuencia de corte mencionada con anterioridad. Respecto a la fase, se aprecia mayor desfase en la cercanía de la frecuencia de corte.

2.1.2. Simulación en LTSpice

Se simuló el siguiente circuito:

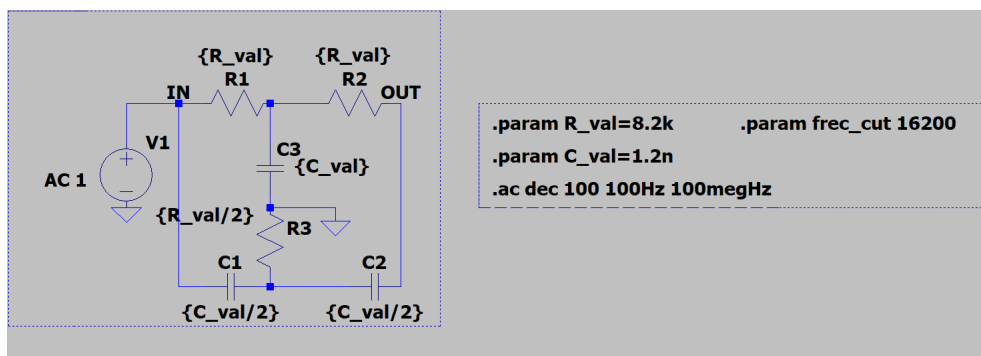


FIGURA 2.4: Circuito simulado

Y se obtuvieron los siguientes diagramas de amplitud y fase:

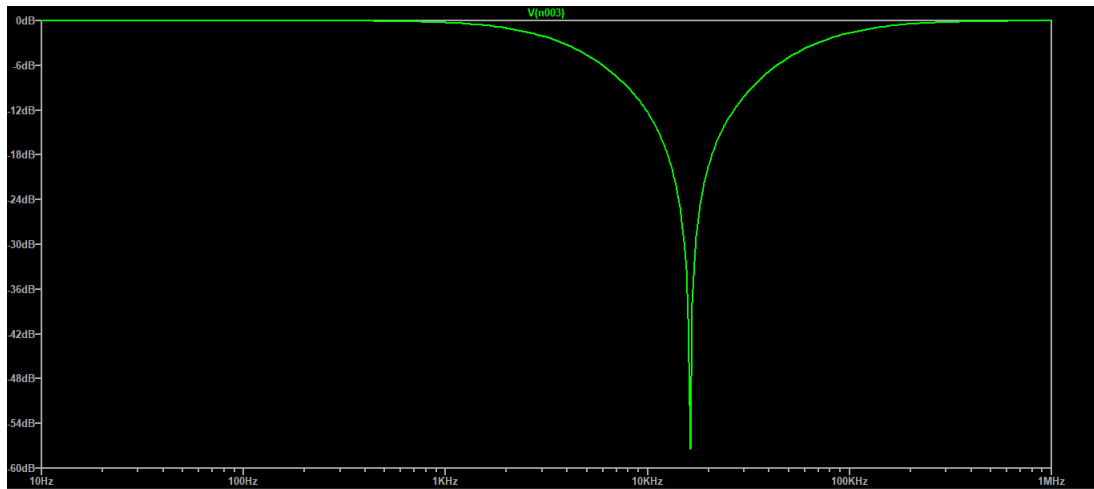


FIGURA 2.5: Amplitud

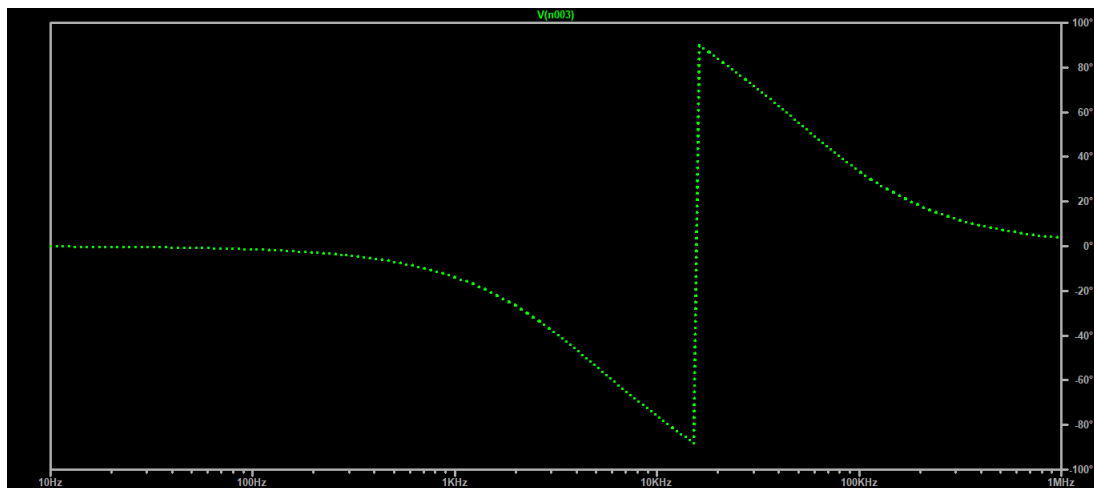


FIGURA 2.6: Fase

Se puede ver en la figura (2.5) de amplitud que el filtro notch bloquea las frecuencias desde aproximadamente 12 KHz hasta 88 KHz. Se observa que cumple con la forma teórica calculada previamente, tanto en amplitud como en fase. Sin embargo, para obtener resultados más exactos sobre las desviaciones con respecto a la teoría, se realizó un análisis de Montecarlo, (ver sección 2.1.3)

Se puede observar que, como se calculó para la función transferencia, el filtro tiene la frecuencia de resonancia en $\frac{1}{2\pi R_3 C_3}$, que en este caso se ajustó a 16.2 KHz.

De la misma manera, la fase en la figura (2.6) cumplió con la forma teórica calculada. Se observa

que a altas y bajas frecuencias, el filtro no genera desfase a la señal de entrada.

2.1.3. Análisis de Montecarlo

Haciendo un análisis de Montecarlo con una tolerancia del 10 % para todos los componentes en LTSpice, se observaron los siguientes resultados:

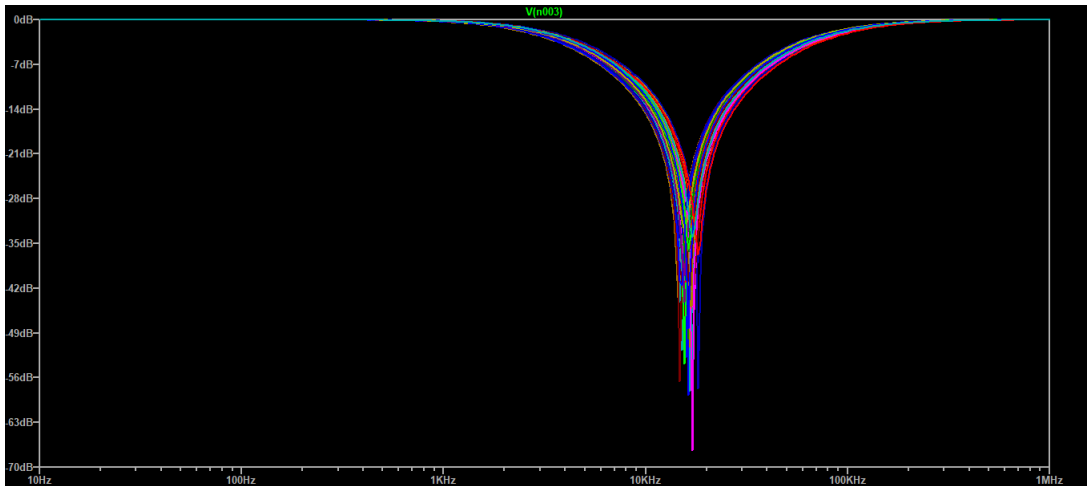


FIGURA 2.7: Montecarlo: amplitud

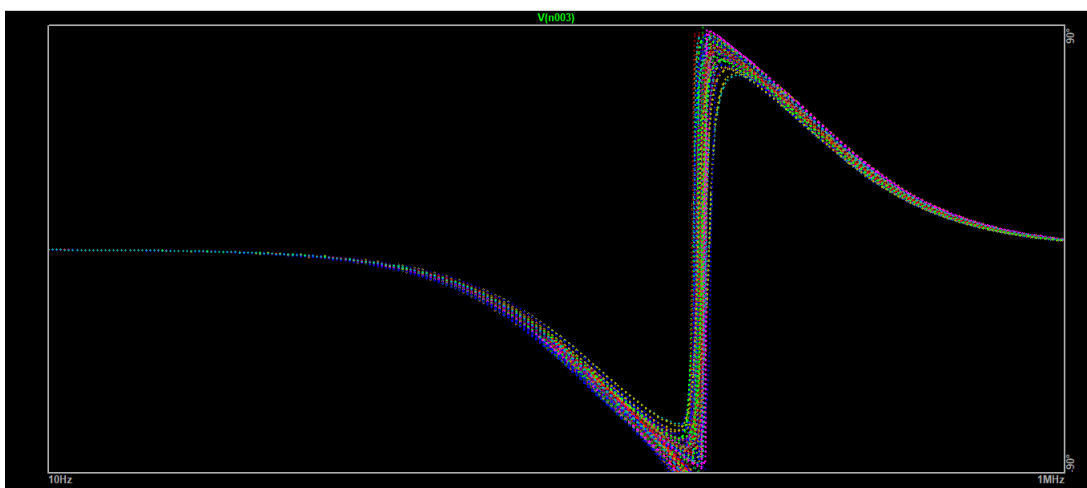


FIGURA 2.8: Montecarlo: fase

En cuando al módulo, si se mira la figura (2.7), se observa que la amplitud no varía significativa-

mente con las tolerancias de los componentes, dado que el circuito sigue comportándose como un filtro notch.

Asimismo, para la fase cabe destacar que ésta mantiene mayormente su forma en comparación con el análisis realizado previamente con 0 % de tolerancia para los componentes, lo cual indica que el filtro se seguirá comportando como notch incluso si los componentes no son ideales.

2.2. Respuestas del circuito

2.2.1. Respuesta al impulso y al escalón teórica

A continuación se observa la respuesta al impulso del circuito simulado:

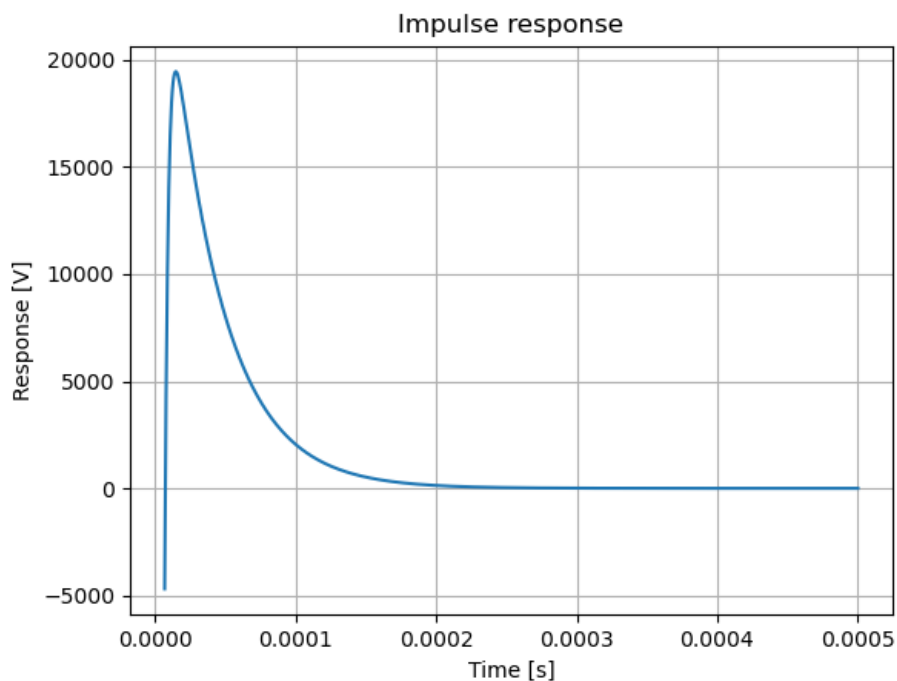


FIGURA 2.9: Respuesta al impulso teórica

La respuesta al escalón del circuito simulado queda:

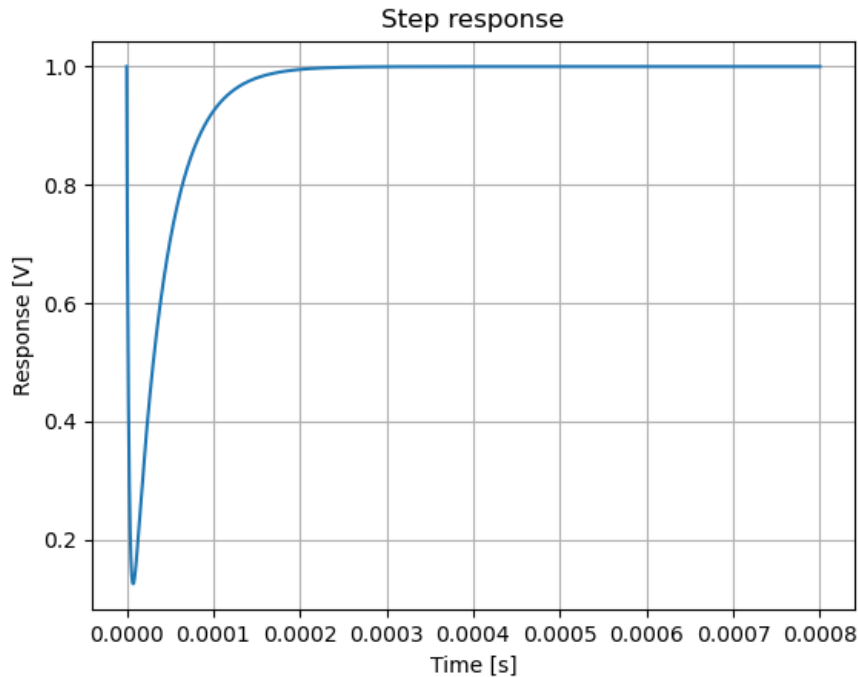


FIGURA 2.10: Respuesta al escalón teórica

Cabe aclarar que ambos gráficos se realizaron con funciones de librerías de Python, pero analizando las ecuaciones $y(t)$ y $a(t)$, correspondientes a las respuestas graficadas, tanto la ecuación como el gráfico son consistentes. Dado que el impulso es una señal de amplitud muy grande y tiempo muy pequeño, es esperable que a la salida de un circuito con elementos pasivos, tales como los capacitores, la señal crezca de manera abrupta en los primeros tiempos hasta un valor elevado y luego comience a decrecer de forma paulatina. Este efecto en parte se debe a que los capacitores impiden que la tensión entre sus terminales cambie rápidamente.

2.2.2. Respuesta al impulso y al escalón simulada

A continuación se puede ver un gráfico de la respuesta al escalón, simulada utilizando LTSpice. Para esto se simuló una excitación cuadrada con una frecuencia muy pequeña, de forma que la misma actúe como un escalón, y un tiempo de encendido lo suficientemente largo para que el sistema llegue al estado estacionario.

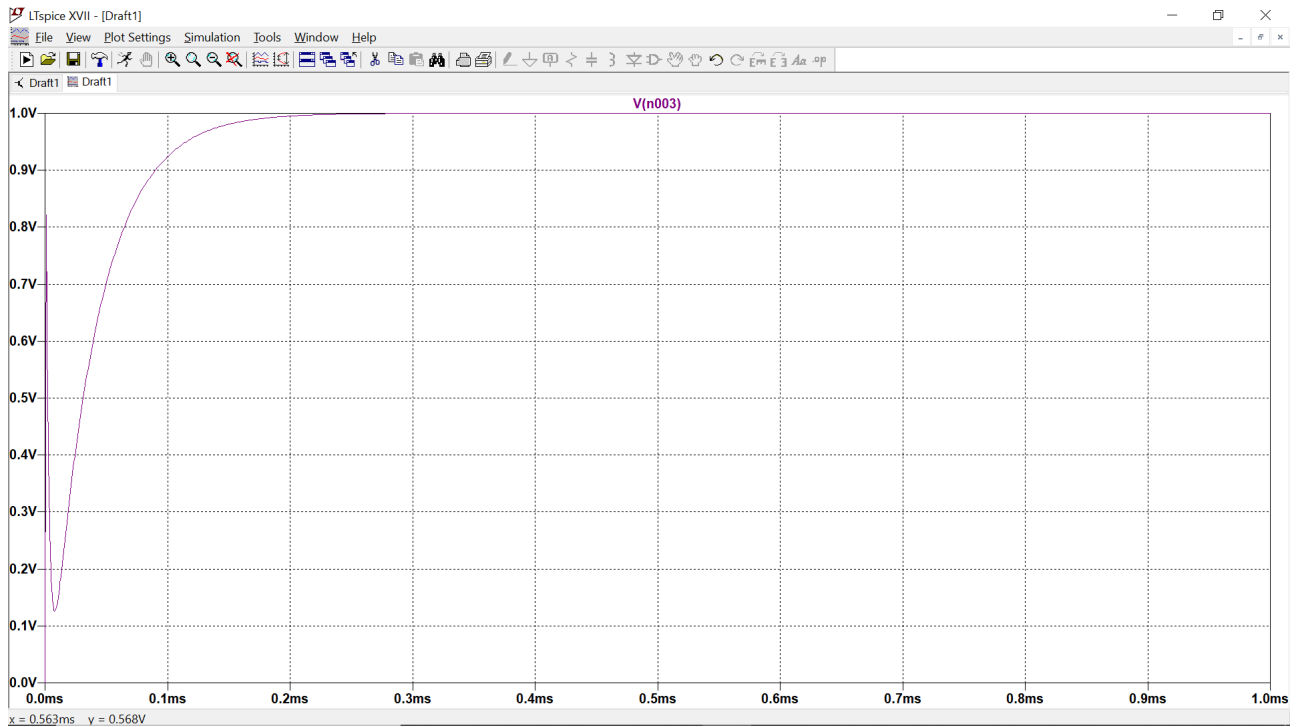


FIGURA 2.11: Respuesta al escalón simulada

Puede notarse que la simulación coincide con el gráfico teórico previo, tanto en el transitorio como en el valor estacionario.

2.3. Conclusiones y comentarios

Luego de resolver el circuito utilizando el método de Kennelly, se encontró la función transferencia del sistema. Con esta función se pudo hallar el diagrama de Bode teórico y se lo comparó con el simulado. Los resultados obtenidos de forma teórica y simulada representan correctamente un filtro notch con frecuencia de resonancia de $16,2\text{KHz}$. Cabe destacar también que las simulaciones y los cálculos en LTSpice y Python (tanto Montecarlo y la ideal) dan resultados bastante consistentes y similares entre si, lo cual deja en evidencia que el filtro seguirá comportándose como notch aún cuando los componentes no sean ideales y presenten variaciones respecto de su valor teórico.

3. Parte 2: Plot Tool

3.1. Instrucciones de uso

A continuación se presenta un breve instructivo de uso para el programa Plot Tool escrito en Python y desarrollado por el grupo. El objetivo de este instructivo es el de especificar las funcionalidades básicas del programa, y servir como manual para aquéllos interesados en utilizar el mismo.

3.1.1. General

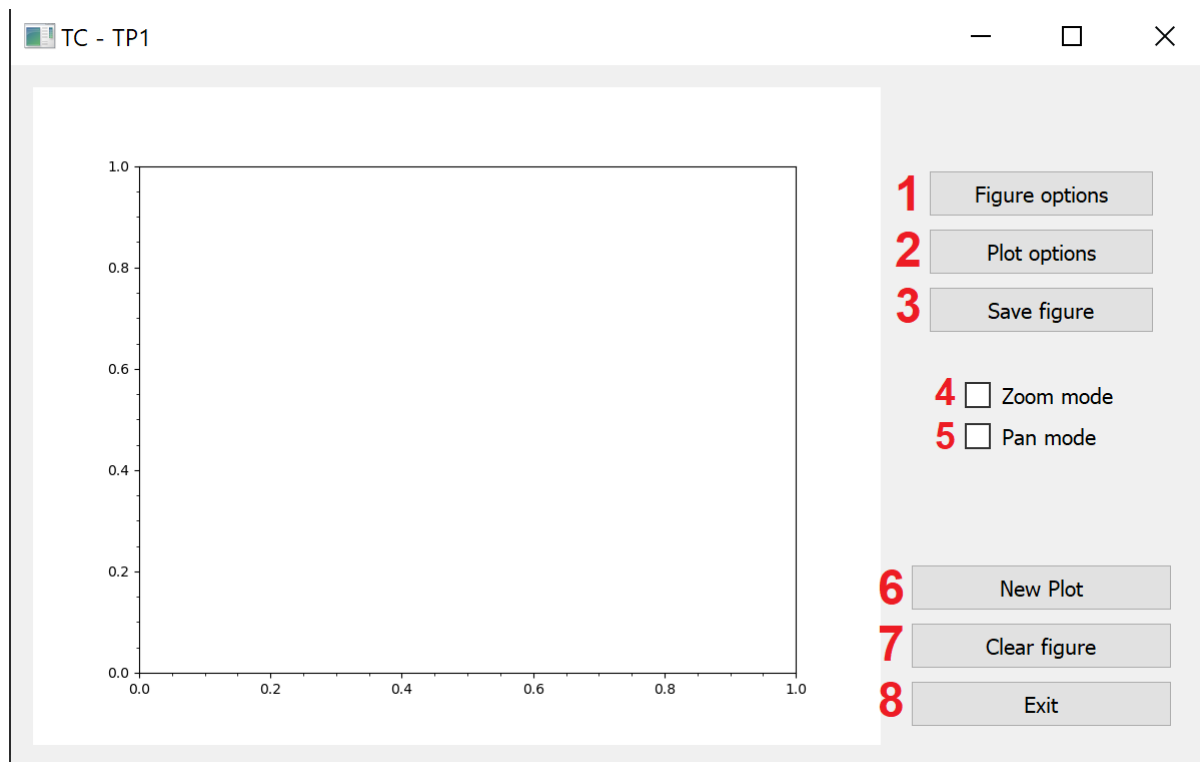


FIGURA 3.1: Interfaz con botones enumerados

1. *Figure Options*: permite configurar parámetros de la figura en general, tales como posiciones relativas entre los ejes, por ejemplo.
2. *Plot Options*: abre un menú que permite al usuario configurar diversos parámetros de los ejes y sus curvas asociadas.
3. *Save Figure*: abre el explorador de archivos y permite guardar la figura actual en formato '.PNG'.
4. *Zoom Mode*: cambia el cursor y lo vuelve una herramienta para agrandar la imagen, recuadrando el área de interés. Con click derecho es posible alejar. Luego de hacer el zoom deseado, se puede eliminar el aumento presionando *Reset*.
5. *Pan mode*: permite al usuario mover la imagen para ajustar al gráfico según convenga. Luego de mover el gráfico se puede volver a centrar presionando *Reset*.
6. *New Plot*: abre un menú con opciones de input, las cuales se desarrollarán en subsecciones posteriores. Este botón se transforma en *Close* para cerrar dicho menú.
7. *Clear Figure*: eliminará cualquier gráfico dibujado.
8. *Exit*: cierra el programa.

A continuación se profundizarán las tres formas de ingresar datos por parte del usuario, las cuales se muestran al presionar *New Plot*.

3.1.2. Función transferencia

En este menú se muestran dos campos: *Numerator* y *Denominator*. Para ingresar una función transferencia $H(s) = \frac{aS^2+bS+c}{dS^2+eS+f}$ el *input* del usuario deberá ser el siguiente:

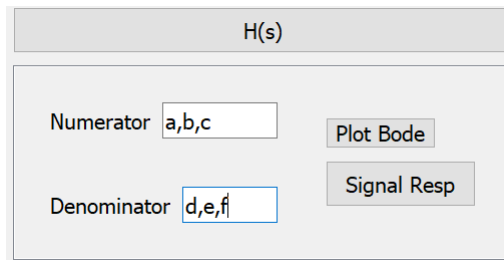


FIGURA 3.2: Ejemplo de entrada de función transferencia

En este ejemplo los coeficientes son genéricos. No hay límite de orden y se pueden agregar cuantos términos sean requeridos. El botón *Plot Bode* graficará el diagrama de Bode de la función transferencia ingresada por el usuario.

Por otra parte, si el usuario deseara ver la respuesta de esta función transferencia a tipos comunes de señales, podrá hacerlo a través de *Signal Resp*, que abrirá un nuevo menú debajo de los gráficos y permitirá elegir el tipo de señal y la frecuencia a evaluar. Las señales disponibles son:

- Senoidal
- Cuadrada
- Impulso
- Escalón

Éstas se computan y grafican tras presionar 'Plot Signal Response', que grafica tanto la señal de entrada como la respuesta del sistema a dicha señal, superpuestas. Las etiquetas de las curvas aparecerán con nombres *Plot i*, donde 'i' es un número empezando en 1. El número más bajo de cada nuevo par generado será el de la señal de entrada, y el más alto será el de la respuesta a dicha señal.

3.1.3. LTSpice

Una de las funcionalidades más poderosas del programa es la posibilidad que ofrece de tomar un circuito armado en LTSpice y graficar diferentes parámetros con suma facilidad.

Al presionar el botón etiquetado como 'LTSpice' el programa le solicitará al usuario cargar un

archivo de formato '.raw', que corresponde al esquemático del circuito armado en LTSpice. Una vez cargado, debajo del botón aparecerán un par de *Drop Down Lists*, que están asociadas a los ejes de los gráficos junto a un botón etiquetado como *Plot LTSpice*. En estas listas aparecerán todas las variables del circuito, incluyendo además el de la frecuencia o tiempo, dependiendo del tipo de análisis realizado en LTSpice. Cualquier combinación de parámetros es posible, pero es importante destacar que si se elige a la frecuencia en el eje X, se realizará automáticamente el diagrama de Bode, y aparecerá un segundo gráfico para separar la amplitud y la fase, de modo tal que no se superpongan las escalas, y contribuir a la facilidad de lectura e interpretación.

Al presionar *Plot LTSpice*, efectivamente aparecerán los gráficos a la izquierda. Es posible recombinar parámetros y graficarlos por encima de los ya existentes indefinidamente. Sólo al presionar el botón universal *Clear Figure* éstos desaparecerán.

3.1.4. CSV

El procesado de datos por medio de un archivo CSV es esencialmente idéntico a LTSpice, con los mismos campos, opciones y procedimiento. Se detectarán automáticamente las columnas del archivo y se crearán dos *Drop Down Lists* para seleccionar la columna a graficar en el eje X y otra para graficar en el eje Y. La única diferencia con respecto a LTSpice se encuentra en que al trabajar con un archivo '.csv' se pierde la capacidad de dibujar un Bode con fase y amplitud por separado al poner la frecuencia en el eje X.