Instituto Tecnológico de Buenos Aires

Teoria de Circuitos

Trabajo Práctico de laboratorio N^o1

Filtros Pasivos y Análisis Computacional

Grupo 6:
Paulo Navarro 57.775
Benjamín Carlos Lin 57.242
Nicolas Lorenzo Mestanza 57.521
Facundo Nicolas Molina 60.526
German Carlos Bertachini 58.750

Responsables de la cátedra:
Daniel Andres Jacoby
Carlos Belaustegui Goitia

Presentado:
Corrección:

Índice

1. Ejercicio 1

1.1. Diseño del Circuito

Se deseo diseñar un filtro notch pasivo con $f_0 = 18.9kHz$ para el siguiente circuito:

../EJ1/circuito.png

Figura 1: Filtro Notch Pasivo

La determinación de los valores de las resistencias y capacitores requieren primeramente la función de trasferencia del circuito, es decir que se deberá hallar una resolución del circuito. Para ello tomaremos las siguientes direcciones de corriente, de las cuales obtenemos las siguientes ecuaciones:

../EJ1/circuitois.png

Figura 2: Flujo de Corrientes

$$Vin = R_1 * i_1 + X_{C3}.i_2 \qquad Vout = -R_2.i_3 + X_{C3}.i_2$$

$$Vin = R_3.i_5 + X_{C2}.i_4 \qquad Vout = R_3.i_5 - X_{C2}.i_2$$

Como sabemos que $i_1 = i_2 + i_3$, $i_4 = i_5 + i_6$ y $i_6 = -i_3$ podemos analizar las ecuaciones algebraicamente resultando en:

$$i_2(R_1 + 2.X_{C3}) = i_5(2.R_3 + X_{C1}) + i_3(X_{C2} - X_{C1})$$

Al considerar $R = R1 = R2 = 2 \cdot R3$ y $C = C1 = C2 = \frac{C3}{2}$

$$\therefore i_2 = i_5$$

Por lo que la función de transferencia sera igual a:

$$\frac{Vout}{Vin} = \frac{X_C^2 + R^2}{R^2 + 4RX_c + X_C^2} \qquad \Rightarrow \qquad H(s) = \frac{s^2C^2R^2 + 1}{s^2R^2C^2 + s4RC + 1}$$

Pues entonces

$$\omega_0 = \frac{1}{RC} \qquad \Rightarrow \qquad f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

. De acuerdo a esto y considerando que solo tenemos resistencias y capacitores comerciables, para que $f_0 = 18.9kHz$ seleccionamos utilizar las siguientes:

$$R = 1.2K\Omega \qquad C = 6.8nF$$

que resultaría en una un filtro rechaza banda de segundo orden con $f_0 = 19.5kHz$ en teoría. Cabe notar que al tomar mencionados valores de los componentes consecuentemente el valor de $R3 = 560\Omega$ y $C3 = 15nF$ que son los componentes comerciales mas aproximados la relación inicial planteada.

Puesto los valores mencionados de R y C, podríamos caracterizar el sistema por su respuesta impulsiva realizando la antitrasformada de Laplace de la respuesta en frecuencia obtenida resultando en:

$$h(t) = \delta(t) - 528113e^{-457359t}u(t) + 37916e^{-32836t}u(t)$$

1.2. Análisis de Resultados

Con la ecuación de la respuesta en frecuencia $H(s)$ con $s = jw$ podemos realizar un diagrama de Bode teórico; a su vez si simulamos el diseño en LTSpice podemos observar otra respuesta en frecuencia que difiere un poco. Concatenando ambos diagramas obtenemos lo siguiente:

Bode Magnitud.jpeg

Magnitud.jpeg Magnitud.jpeg Magnitud.jpeg Magnitud.jpeg Magnitud.jpeg Magnitud.jpeg

Figura 3: Comparación en magnitud

Bode Fase.jpeg

Fase.jpeg Fase.jpeg Fase.jpeg Fase.jpeg Fase.jpeg Fase.jpeg

Figura 4: Comparación en fase

Observamos que a grandes rasgos ambas curvas son similares teniendo la teórica su $f_{0teo} \approx$ y $f_{0sim} \approx$. Existe una diferencia pequeña debido a que en los cálculos teóricos asumimos que $R = R1 = R2 = 2 \cdot R3$ y $C = C1 = C2 = \frac{C3}{2}$, que al cabo de seleccionar los componentes notamos que, si bien se comportan aproximadamente a la relación mencionada, en la simulación la relación establecida fue: $\frac{R}{R3} \approx 2.14$ y $\frac{C}{C3} \approx 0.45$, por lo que significaría que $i_2 = i_5$ no es totalmente acertado. Además en la practica debemos tener en cuenta que los componentes no son perfectos, estas tienen tolerancias de un 10 % por lo que en un experimento estas curvas presentaran mas divergencia.

Por otra parte, podemos analizar su respuesta al escalón para caracterizar el circuito, cuyo respuesta calculada es:

$$v_{out}(t) = u(t) + 1.1547e^{-457359t}u(t) - 1.1547e^{-32836t}u(t)$$

Realizando una simulación de la misma observamos lo siguiente:

../EJ1/RElaqueva.png

Figura 5: Respuesta al Escalón

De la figura notamos que tiene cualidad de un oscilador críticamente amortiguado al notar solo un valor critico realizando la derivada en $t_{teo} = 6.2044\mu s$. A si mismo, en la simulación realizada, el mínimo absoluto encontrado fue en $t_{sim} \approx 6\mu s$ que coincide con lo esperado.

2. Ejercicio 2

2.1. Introducción a la G.U.I.

Se realizó una aplicación de interfaz gráfica, la cual permite representar Diagramas de BODE de fase y amplitud para una o múltiples funciones transferencias, en simultaneo o no, en gráficas separadas o no, ingresadas por el usuario mediante distintas fuentes:

- Ingreso Manual de los coeficientes del cociente de polimonios de la función de transferencia.
- Carga de archivo con outputs de simulaciones del software LT Spice.
- Carga de archivo de extensión CSV con métricas de mediciones.

2.2. Manual de Uso

Se enumerarán todas las funcionalidades disponibles que incluye la Plot Tool del presente grupo, se explicará su funcionamiento y cómo operar cada una de ellas:

`../EJ2/LatexScreenshots/plotToolVacia.png`

Figura 6: Pantalla Inicial de Plot Tool

2.2.1. Etiquetas para Ejes X e Y de los Diagramas de BODE

Mediante esta funcionalidad, se podrá ingresar en cada cuadro de texto las etiquetas deseadas para los Ejes X e Y de cada diagrama de BODE de manera independiente.

Para utilizar dicha función, basta con ingresar el texto deseado para ser representado en los campos *Etiqueta Eje X* o *Etiqueta Eje Y* y seleccionar mediante $H(S)$ o ϕ si esas etiquetas aplicarán para el Diagrama Bode de Magnitud, Fase o Ambos.

En el caso de querer eliminar las etiquetas ya añadidas a dichos ejes, el usuario debe dejar los campos *Etiqueta Eje X* o *Etiqueta Eje Y* en blanco según sea el caso y seleccionar sobre qué gráfico se desea eliminar las etiquetas presionando $H(S)$ o ϕ.

../EJ2/LatexScreenshots/plotToolBotonEtiqueta.png

Figura 7: Seleccionador de Etiquetas para Ejes X e Y

2.2.2. Grafico de Diagramas de BODE mediante ingreso manual

Se podrá ingresar una función de transferencia representada como cociente de polinomios según la forma:

$$H(S) = \frac{aS^n + bS^{n-1} + ... + cS^{n-i}}{eS^m + fS^{m-1} + ... + gS^{m-j}}$$

Para ello, se debe seleccionar la opción $H(S)$. Se deberán ingresar los valores de los coeficientes del polinomio del numerador y denominador correspondientemente separados por ",". El primer valor ingresado tanto para el numerador como el denominador representarán el coeficiente de la potencia de mayor grado del polinomio y los siguientes elementos representarán los de grado $n-1, n-2, ..., n-m$. Deberán ingresarse tantos elementos como coeficientes haya en el polinomio que se quiera representar. En los casos donde haya coeficientes nulos, se deberán ingresar 0 como elemento. En caso de que se deseen representar coeficientes que no sean números enteros, podrá utilizarse "." . Es decir, que si queremos representar un polinomio de grado n y algunos o todos los coeficientes de las potencias de grado menor son nulas, indefectiblemente, el usuario deberá ingresar 0 para poder alcanzar el grado deseado del polinomio.

Además de ello, se podrá ingresar un *Nombre* para la función de transferencia que será utilizado como etiqueta en el gráfico una vez que se proceda a realizar los diagramas aceptado el proceso por el usuario.

../EJ2/LatexScreenshots/plotToolTransferFunctionInput.png

Figura 8: Módulo para ingresar Función Transferencia Teórica

Ejemplo 1 Si el input de los campos *Numerador* o *Denominador* es "1,1,1" esto representará el polinomio

$$H(S) = S^2 + S + 1$$

Ejemplo 2 Si el input de los campos *Numerador* o *Denominador* es "1,0,1,0,1" esto representará el polinomio

$$H(S) = S^4 + S^2 + 1$$

Ejemplo 3 Si el input de los campos *Numerador* o *Denominador* es "1,2.5,1" esto representará el polinomio

$$H(S) = S^2 + 2.5S + 1$$

Ejemplo 4 Si el input de los campos *Numerador* o *Denominador* es "1,2.5e-3,2.5e-6" esto representará el polinomio

$$H(S) = S^2 + 2.5X10^{-3}S + 2.5X10^{-6}$$

Ejemplo 5 Si se desea representar

$$H(S) = \frac{1}{S^2 + 1}$$

el input de los campos *Numerador* y *Denominador* será "1" y "1,0,1" respectivamente.

Para hacer más amigable la interfaz, una vez seleccionado *Ingresar* se representarán los datos ingresados por el usuario de la siguiente manera:

$$H(S) = \frac{aS^n + bS^{n-1} + ... + cS^{n-i}}{eS^m + fS^{m-1} + ... + gS^{m-j}}$$

En caso de que la función $H(S)$ no coincida con la función transferencia que se desea ingresar, simplemente se puede seleccionar *Volver* para modificar nuevamente los elementos para el *Numerador* y/o *Denominador*. Una vez validados los datos en la sección de previsualización se podrá seleccionar *Aceptar* para obtener los diagramas de BODE de la función ingresada.

../EJ2/LatexScreenshots/plotToolTeorica.png

Figura 9: Diagrama de BODE realizado mediante Función Transferencia Teórica

2.2.3. Gráfico de Diagramas de BODE mediante carga de archivo de LTSpice

Se podrá ingresar una función de transferencia calculada en base a archivos generados mediante simulaciones realizadas con el software LTSpice.

Para ello, se debe seleccionar la opción *SPICE* y luego *Buscar* para localizar el archivo correspondiente dentro de los directorios del sistema operativo. Una vez seleccionado, la aplicación procesará el archivo, y si el formato del mismo es válido procederá a realizar los Diagramas de BODE correspondientes.

`../EJ2/LatexScreenshots/plotToolSpiceFunctionInput.png`

Figura 10: Módulo para ingresar Función Transferencia mediante archivo de LTSpice

Cada curva graficada en los Diagramas de BODE de Amplitud y Fase, llevará la etiqueta del Nombre del archivo seleccionado para ser identificada fácilmente.

`../EJ2/LatexScreenshots/plotToolSpice.png`

Figura 11: Diagrama de BODE realizado mediante archivo de LTSpice

2.2.4. Gráfico de Diagramas de BODE mediante carga de archivos de extensión CSV

Se podrá ingresar una función de transferencia calculada en base a métricas tomadas mediante mediciones reales encapsuladas en un archivo de extensión CSV.

Para ello, se debe seleccionar la opción *Medición* y luego *Buscar* para localizar el archivo correspondiente dentro de los directorios del sistema operativo. Una vez seleccionado, la aplicación procesará el archivo, y si el formato del mismo es válido procederá a realizar los Diagramas de BODE correspondientes.

Cada curva graficada en los Diagramas de BODE de Amplitud y Fase, llevará la etiqueta del Nombre del archivo seleccionado para ser identificada fácilmente.

../EJ2/LatexScreenshots/plotToolSpiceFunctionInput.png

Figura 12: Módulo para ingresar Función Transferencia mediante archivo con mediciones

../EJ2/LatexScreenshots/plotToolMedicion.png

Figura 13: Diagrama de BODE realizado mediante archivo con mediciones

2.2.5. Representación de Diagramas de BODE de varias funciones transferencia en simultaneo

Se podrá graficar más de una función de transferencia superpuesta en el mismo gráfico tanto para el Diagrama de BODE de Magnitud como de Fase. Para ello, bastará con que el usuario repita el proceso mencionado en las secciones 2.2.2, 2.2.3 o 2.2.4 habiendo ingresado previamente al menos una función transferencia.

Al repetir dichos procesos, se obtendrán como resultado curvas superpuestas en los mismos gráficos representando cada una de ellas a las funciones de transferencia ingresadas. Cabe destacar que no hay límite para la cantidad de funciones superpuestas en un mismo gráfico, pero se deberá tener en cuenta que los gráficos se adaptarán para mostrar todas las curvas apropiadamente. Un ejemplo de esta situación puede observarse en la Figura 12.

2.2.6. Representación de Diagramas de BODE de un solo tipo

Se enunciará por Tipo a las distintas formas de ingreso de funciones transferencia de la aplicación, nombrando a ellas nuevamente como:

../EJ2/LatexScreenshots/plotToolMulti.png

Figura 14: Diagrama de BODE de varias funciones en simultáneo

- Ingreso Manual de los coeficientes del cociente de polimonios de la función de transferencia.
- Carga de archivo con outputs de simulaciones del software LT Spice.
- Carga de archivo de extensión CSV con métricas de mediciones.

Si se han ingresado funciones de transferencia de al menos dos tipos diferentes, se podrá utilizar esta funcionalidad para ocultar el tipo de función transferencia que el usuario desea remover de los Diagramas de BODE. Esto implica que las curvas de un determinado tipo, serán removidas de los gráficos pudiendo ellas volver a ser graficadas.

Para ello, se debe seleccionar el checkbox $Incluir$ que se encuentre por debajo de cada opción, $H(S)$, $SPICE$ o $Medición$. En caso de que un checkbox no esté seleccionado, implicará que todas las funciones transferencia de dicho tipo no sean incluidas en los diagramas. Se podrá seleccionar/desseleccionar uno, dos o los tres tipos con los efectos correspondientes sobre los gráficos.

2.2.7. Eliminar los Diagramas de BODE de todas las funciones transferencia

Para borrar todas las curvas correspondientes a cada función de transferencia para ambos Diagramas de Bode, independientemente del tipo, se podrá seleccionar $BorrarTodo$ sin posibilidad de deshacer esta acción.

Es importante notar que en caso de que se desee remover temporalmente todas las curvas, pudiendo recuperarlas posteriormente, se podrá utilizar el método descripto en la sección anterior.

../EJ2/LatexScreenshots/plotToolVaciaCheck.png

Figura 15: Checkbox de Plot Tool

2.2.8. Modos de Representación de Diagramas de BODE

A efectos de poder obtener herramientas para una mayor capacidad de análisis, se podrán representar los Diagramas BODE de Fase y Amplitud sobre el mismo gráfico. Para ello, se debe chequear la opción *Plotear en el mismo grafico*.

Una vez seleccionada dicha opción aplican todas las mismas funcionalidades mencionadas en las secciones previas con las siguientes diferencias:

- <u>Dos Gráficos:</u> Un gráfico para el Diagrama de BODE de Amplitud y otro para el Diagrama de BODE de Fase. Ambos gráficos se podrán Guardar por separado.
- <u>Un Gráfico:</u> Un solo Diagrama de BODE con las representaciones de Fase y Amplitud, donde las curvas de fase estarán representadas con líneas punteadas.

En la Figura 15, se observan las mismas Funciones Representadas en la figura anterior, pero consolidadas en un solo gráfico.

2.2.9. Nota al Ejercicio 2

La presente aplicación fue desarrollada en su totalidad por el Grupo 6. Adicionalmente, un template de estilo cuya extensión es CSS fue utilizado. El mismo fue obtenido de un proyecto libre en GitHub:

https://github.com/sommerc/pyqt-stylesheets/blob/master/pyqtcss/src/dark_orange/style.qss

../EJ2/LatexScreenshots/plotToolDosGraficos.png

Figura 16: Diagrama de BODE utilizando dos gráficos

../EJ2/LatexScreenshots/plotToolUnGrafico.png

Figura 17: Diagrama de BODE utilizando un gráfico