



Instituto Tecnológico de Buenos Aires

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

22.01 - TEORÍA DE CIRCUITOS

Trabajo Práctico N° 4

Diseño de filtros activos y celdas

CONSIDERACIONES

- **Entrega: 26 de Octubre de 2022**, 23:59:59 Hs, o antes. Los trabajos entregados fuera de término será computados como desaprobados, y regirán las condiciones estipuladas reglamentariamente. No obstante todos los trabajos deben entregarse completos para mantener la condición regular de cursada.
- **Metodología válida:** Se recomienda enfáticamente la metodología seguida durante el TP3. La asistencia a los laboratorios es un componente determinante para la asimilación de los temas. No obstante, para la ejecución de esta consigna se acepta el uso de cualquier instrumento que resulte adecuado.
- La evaluación del trabajo práctico será en función del informe escrito presentado y funcionamiento del software. Cada integrante del grupo es responsable de la totalidad del contenido presentado.
- Posteriormente a la entrega del informe habrá una instancia de defensa oral donde se podrán requerir la reproducción y verificación empírica de cualquiera de los puntos expuestos. La fecha y condiciones serán informadas oportunamente.
- La consigna presentada comprende lineamientos generales, se requiere interpretar los casos presentados. La resolución esperada es un análisis relevante de los mismos. Es condición de **aprobación** responder a todos los incisos de la consigna, pudiéndose requerir una re-entrega en caso de haber errores o considerarse incompleto. La calificación total (diez) se opuede obtener resolviendo únicamente los obligatorios. No obstante los opcionales suman a la calificación total en caso de ser resueltos.
- Se valoran particularmente los contenidos adicionales. No se tendrán en cuenta resultados que no posean un desarrollo o justificación que los avale.
- Se requiere expresar adecuadamente las magnitudes numéricas, teniendo especial atención al uso de las cifras significativas, no es obligatorio realizar propagación de error donde no se considere indispensable, pero sí usar un criterio de ingeniería consistente.
- Garantizar las condiciones para llevar a cabo los ensayos necesarios, teniendo en cuenta que debe soportar las exigencias asociadas desde el punto de vista mecánico. Disponer los procedimientos de laboratorio evitando los riesgos sobre los componentes e imprevisibilidad experimental, ocasionados por malas prácticas como pueden ser: conexiones eléctricas precarias, mal anclaje, cursos de corriente espurios devenidos de contactos indebidos entre nodos, entre otros.
- Se les recuerda a los alumnos que la Política de Fraude y Plagio del Instituto rige sobre este trabajo.

Octubre, 2022

1. Filter Tool

Se pide a cada grupo que desarrolle una aplicación que permita diseñar filtros analógicos a partir de distintas funciones de aproximación. Se plantea a continuación un esquema básico para el diseño, el cual podrá ser modificado en caso de que el grupo lo considere apropiado, siempre y cuando se conserve la funcionalidad prevista.

1.1. Aproximaciones

El programa deberá permitir al usuario elegir la plantilla para un filtro y poder aplicar diversas aproximaciones según corresponda.

1.1.1. Datos provistos por el usuario

Tipo de filtro:

Tipo de filtro				
Pasa Bajos	Pasa Altos	Pasa Banda	Rechaza Banda	Retardo de Grupo(*)

Aproximaciones:

Butterworth	Chebyshev I	Chebyshev II	Cauer
Legendre(*), Gauss(*), Bessel(*)			

(*) **Opcionales.**

Alternativas de cálculo

- Se debe poder elegir entre un rango de desnormalización siendo 0% ($A(\omega_p) = A_p$) y 100% ($A(\omega_a) = A_a$).
- El programa debe calcular el orden mínimo, pero debe ser posible elegir luego modificar el orden manualmente para cada aproximación.
- Para todos los casos se deberán ingresar los datos de la plantilla en Hz y los valores de A_p y A_a en dB. Para los casos BP y BR debe poder ingresarse los datos mediante frecuencia central y anchos de banda, o bien ingresar F_a - F_a + F_p - F_p +, en caso de que la plantilla no sea simétrica debe buscarse la plantilla simétrica y mostrarse ambas.

Visualización

Se debe poder acceder al menos a la siguiente información:

- Orden para cada aproximación y máximo Q.
- Curvas de atenuación en escala dB - Log(F), en superposición con la plantilla superpuesta.

- Fase y retardo de grupo en escala $\text{Log}(F)$.
- Función antes de la desnormalización, en escala lineal en función de w .
- Diagrama de polos y ceros, de modo que los ejes reales e imaginarios estén en la misma escala (un círculo debe verse como tal).
- Respuesta al escalón.

1.2. División en etapas

De las funciones aproximación calculadas, debe poder elegirse una para ser implementada mediante etapas de primer y segundo orden.

Funcionalidad prevista

- La posibilidad de separar la función transferencia en etapas de primer y segundo orden, dejando en evidencia los parámetros de interés de cada etapa (expresiones normalizadas).
- Asignar inicialmente a cada etapa una ganancia adecuada por defecto, de modo que la ganancia total sea unitaria y preservando con algún criterio el rango dinámico. Permitir la elección de las ganancias individuales.
- Crear, borrar y editar cada etapa individualmente.
- Graficar la respuesta en frecuencia de las etapas en cascada o individualmente, permitiendo cambiar el orden de las mismas.

1.3. Etapa 3 - Implementación en circuitos (Opcional)

Una vez definidas todas las etapas del filtro, el programa debe definir la implementación en circuitos para cada etapa, en función de sus parámetros.

Funcionalidad prevista

- Sugerencia de las celdas apropiadas para cada etapa, con los valores comerciales de componentes.
- Indicación de todas las sensibilidades involucradas y su efecto en los parámetros de la celda.
- Posibilidad de elección de celda por parte del usuario (habilitando únicamente las celdas adecuadas para implementar cada etapa).
- Posibilidad de cambiar el valor de los componentes.

1.4. Ideas Adicionales (Opcionales)

- Visualizar más de un orden de la misma aproximación al mismo tiempo.
- Visualizar varias aproximaciones de un mismo filtro en simultaneo.
- Guardar el estado de la sesión en un archivo para reabrir el trabajo posteriormente.
- La ganancia de cada etapa debe poder ser ajustable por el usuario.

- Cálculo del rango dinámico total.
- Funcionalidad de división, ordenamiento y determinación de ganancias de forma automática para separación en etapas, a fin de maximizar el rango dinámico.
- Crear y exportar un informe en PDF o HTML con todos los parámetros de diseño del filtro, gráficos y esquemáticos.

2. Celdas Activas: Investigación e implementación (Parte B)

Investigue las características de las celdas activas indicadas en las secciones siguientes, presente un análisis de sensibilidades y una tabla comparativa de las características principales (casos de aplicación de cada una, tipo de filtro y aproximaciones, ventajas, desventajas, condiciones de diseño).

Diseñe, simule e implemente las celdas para el cumplimiento de las plantillas pedidas. Para cada una deberá analizar utilizando un modelo ideal de amplificador operacional los parámetros más relevantes, considerando:

- La función transferencia.
- Un cuadro de sensibilidades: $[G, Q, f_p, f_z]$ - $[R, C, A_{vol}]$ (Expresadas en función de los parámetros de la celda mientras la complejidad lo permita)
- Impedancia de entrada

Además para profundizar el estudio de las diferentes topologías se debe incluir un análisis sobre los siguientes aspectos:

- Método de ajuste más conveniente y sus implicaciones.
- Grado en que las sensibilidades afectan al diseño.
- Restricciones debido a los valores de ganancia posible y valores de Q realizables.
- Efecto del amplificador operacional real.

Una vez diseñadas las celdas se debe realizar un análisis de Montecarlo con la tolerancia de componentes utilizados para verificar el correcto cumplimiento de la plantilla pedida. Como restricción para el diseño solo se permite el uso de UN preset por celda de segundo orden y el uso de componentes con tolerancias de 1 % o mayores.

2.1. Sallen-Key

f_p	700+(N·200) Hz
f_a	3300+(N·950) Hz
A_p	3dB
A_a	40dB
$ Z_{in}(f) $	$\geq 50k$

Tabla 1: Butterworth

2.2. Celda Rauch (Deliyannis-Friend modificada)

Filtro	Pasa Banda
f_o	$(N + 2) / 3 \text{ kHz}$
Q_{Total}	7
A_p	0.5dB
$Ganancia$	10dB
Pendiente en banda atenuada	-40dB/dec
$ Z_{in}(f) $	$\geq 50k$

Tabla 2: Chebychev

2.3. Sedra-Ghorab-Martin

Investigue el contenido del paper *Optimum Configurations for Single-Amplifier Biquadratic Filters* e implementar con dicha celda un filtro que cumpla con las especificaciones presentadas a continuación.

f_p	$(16 - 0,5 \cdot N) \text{ kHz}$
f_a	$f_p/4$
A_p	2 dB
A_a	40dB
$ Z_{in}(f) $	$\geq 50k$

Tabla 3: Cauer

2.4. Celda Universal

Investigue las configuraciones posibles para celdas universales y elija la más adecuada que cumpla con las especificaciones presentadas a continuación. ¿Utilizaría una celda Kerwin-Huelsman-Newcomb, una Tow-Thomas, una Ackerberg-Mossberg o una Fleischer-Tow? Justificar la elección.

Filtro	Rechaza Banda
Notch Depth	$\geq 50dB$
f_∞	$(58 - 7 \cdot N) \text{ kHz}$
Δ_a	600 Hz
Δ_p	10 kHz
A_a	40dB
A_p	6dB
$ Z_{in}(f) $	$\geq 50k$

Tabla 4: Chebychev II

3. Recuperación de señal (Opcional)

3.1. Circuito de ensayo

Sume una señal sinusoidal de frecuencia f_o (de acuerdo al inciso 2.2) de amplitud 100mVp a una señal de ruido blanco de amplitud 1.5Vpp.

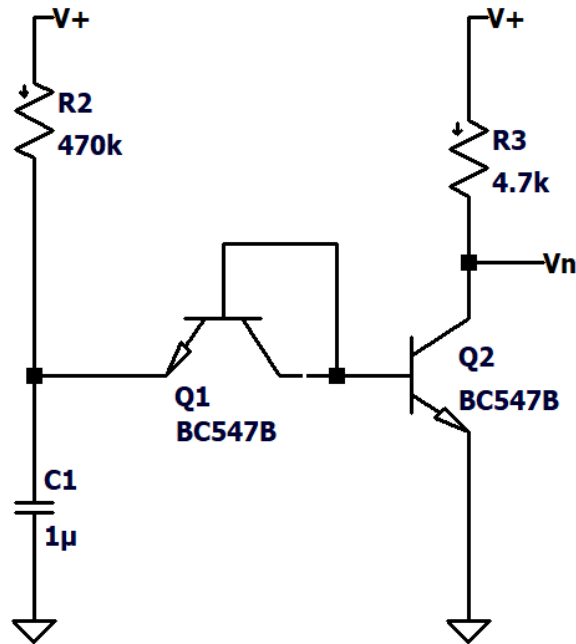


Figura 1: Circuito generador de ruido

Utilice el circuito pasa banda implementado para intentar recuperar la señal, analice entrada y salida en tiempo y frecuencia.

3.2. Mediciones y resultados

Hay una relación empírica entre la amplitud pico de la señal sinusoidal y la amplitud pico pico del ruido observado en el osciloscopio a partir de la cual es posible recuperar la señal, indique cómo podría afectar la selectividad del filtro sobre este resultado. Para verificar esta hipótesis trate cada etapa del pasa banda como un pasa banda de menor selectividad. Muestre alguna conclusión relevante.