

Amplificadores Operacionales II

- Guía 2 -

Laboratorio de Electrónica – Departamento de Física – FCEyN – UBA

Cátedra: Larotonda y Schmiegelow

Respuesta en frecuencia

1. **Amplificadores en Cascada.** Con el objetivo de construir un amplificador de ganancia 100 compararemos dos estrategias. En ambos casos utilizaremos el amplificador operacional TL082 op-amp ($f_{BW} = 3$ MHz).

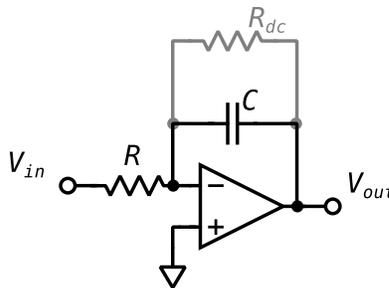
- Dibujen el circuito y el diagrama de Bode de cada caso (no hagan cuentas complicadas!).
- Discutan que beneficios y problemas tiene cada estrategia.

estrategia 1: armamos un amplificador inversor de ganancia 100 utilizando una resistencias de 1 k Ω y 100 k Ω .

estrategia 2: armamos dos amplificadores inversores encadenados cada uno de ganancia 10 utilizando una resistencias de 1 k Ω y 10 k Ω para cada uno.

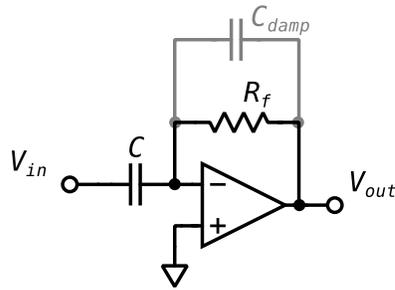
2. **Integrador.** Hagan el diagrama de Bode para el circuito integrador indicado a continuación tomando que $R_{DC}/R = 100$ y que $f_0 = 16$ kHz, donde $f_0 = 1/2\pi RC$ es la el tiempo característico del integrador

- ¿Qué ganancia tiene el circuito a $f = f_0$?
- ¿Qué valor tiene que tener R si $C = 0.01$ μ F?
- Si el amplificador tiene una tensión de itoffset de 3 mV. ¿Qué itoffset esperan ver a la salida?
- Discutan la importancia de la inclusión de la resistencia R_{DC} .



3. **Derivador.** Análogamente al integrador, el circuito de la siguiente figura genera a la salida V_{out} una señal proporcional a la derivada de la señal de entrada V_{in} .

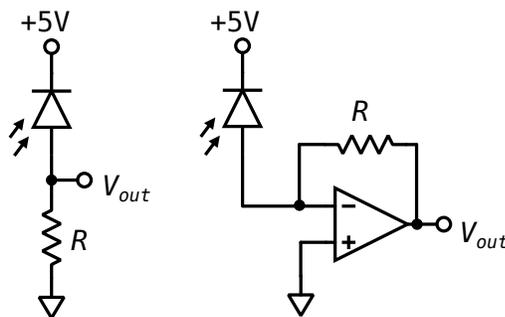
- Mostrar que el siguiente circuito funciona como un derivador (ignorar C_{damp}).
 - Sugerimos resolver los siguientes puntos cualitativamente con ayuda de un simulador de circuitos.
- Estudiar qué pasa con la ganancia del circuito cerca de la frecuencia $f_{res} = \sqrt{f_0 f_{BW}}$, con $f_0 = 1/(2\pi RC)$.
- Incluir en el circuito el capacitor, con un valor tal que se corrija la resonancia y estudiar cómo cambia la ganancia.



4. **CASO: Amplificador de transimpedancia de un fotodiodo.** Queremos armar un detector de luz para monitoreo de la potencia de un láser de 800 nm y contamos con un fotodiodo FDS100. El haz que utilizaremos tiene $\approx 10 \mu\text{W}$ de potencia. Queremos armarle un circuito de transimpedancia que nos permita convertir la corriente que genera el fotodiodo en una tensión de 1 V de amplitud. Encontramos dos opciones de circuitos en internet y queremos evaluar cual nos conviene y cómo elegir sus parámetros. Las dos se indican en los diagramas de abajo. A analizar cada caso. Al final, y en función de todos los datos obtenidos argumenten por qué o en qué casos elegirían un circuito u otro. Una tabla comparativa puede ayudar.

A modo de guía les sugerimos los siguiente pasos para el análisis:

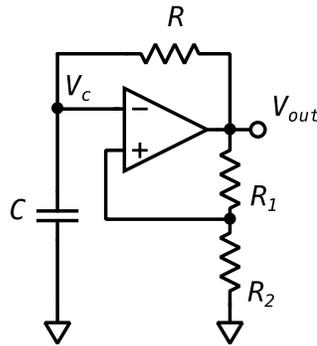
- El fotodiodo funciona aproximadamente como una fuente de corriente. La corriente que produce es proporcional a la intensidad de luz que le llega. La relación entre corriente y luz se llama responsividad. Utilizando la hoja de datos del fotodiodo, indiquen qué corriente estiman generará el fotodiodo para las condiciones indicadas.
- Para cada uno de los casos, calculen la tensión de salida V_{out} y la ganancia trans definida como $G_{trans} = dV_{out}/di_{pd}$, dónde i_{pd} es la corriente del fotodiodo. Elijan entonces, para cada circuito, la resistencia necesaria para generar una tensión de 1 V a la salida.
- Un buen amplificador de transimpedancia tiene además una baja impedancia de entrada. Calculemos la impedancia de entrada para cada caso como dV_{in}/di_{pd} considerando el V_{in} correspondiente en cada caso. Den el resultado analítico y el resultado numérico. Consideren que utilizan un op-amp con ganancia de lazo abierto $g = 10^5$.
- El fotodiodo tiene una capacitancia natural que limita su funcionamiento ideal como fuente de corriente (vean la hoja de datos). Esta capacitancia, junto con la impedancia de entrada del amplificador armarán un filtro pasa bajos tipo RC. Caluclen para cada caso el la frecuencia de corte del filtro.



Realimentación Positiva

5. **Oscilador de Relajación.** El siguiente circuito, realimentado de manera positiva y negativa, oscila. Determinemos su comportamiento. Consideraremos que alimentamos al circuito con dos tensiones simétricas: $V_{++} = -V_{--}$. Vamos por pasos.

- Consideremos que inicialmente la tensión en el capacitor $V_C = -V_{thr}$ y que la salida está saturada al valor positivo $V_{out} = V_{++}$. Verifiquen que esta propuesta sea consistente con las reglas. ¿Cómo evoluciona a partir de este momento la tensión en el capacitor? Escriban la ecuación para $V_C(t)$.
- Determinen para qué tensión en el capacitor se interrumpe la evolución del punto anterior y la tensión de salida se invierte. ¿Cómo es la ecuación de evolución luego de ese cambio?
- Con las ecuaciones anteriores determinen el periodo de oscilación.

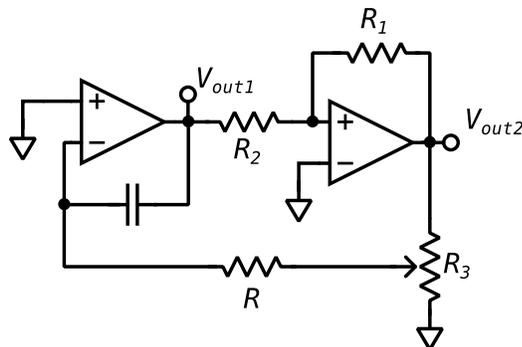


6. **Generador de Funciones Analógico.** La siguiente figura es una versión sencilla de un generador de funciones.

- Analicen su comportamiento y determinen qué funciones hace en cada uno de las salidas.
- ¿Qué harían si quisieran tener una señal de salida senoidal?
- Investiguen sobre otras configuraciones de generadores de funciones.

EXTRA: Uno puede comprar un generador de funciones integrado, sin tener que armar cada parte. Hay muchos en el mercado. Uno canónico es el XR-2206. Produce señales senoidales, cuadradas y triangulares con simetría controlable. Este integrado se configura con capacitores, resistencias y tensiones analógicas.

EXTRA: Hay también generadores de funciones que se programan digitalmente como por ejemplo los AD9833 y AD9850. Su funcionamiento no se basa en un oscilador de relajación sino en un convertor digital-analógico.



7. **El temporizador LM555.** El temporizador LM555 es un componente mixto, que combina internamente circuitos analógicos y digitales. Es muy popular y permite hacer una variedad de circuitos de relajación de manera sencilla. Dos configuraciones típicas de uso del 555, son como multivibrador monoestable o astable.

- a) ¿Qué diferencia hay en entre las configuraciones monoestable y a estable?
- b) ¿Imaginan aplicaciones de cada uno de estos casos?

nota Con la explosión de la electrónica digital, ya no son tan comunes como antes pero fueron el corazón de muchos circuitos por años y aún se lo encuentra en muchos lados. Aunque los LM555 ya no sean tan populares, a nuestro alrededor seguimos teniendo incontables aplicaciones que utilizan equivalente digitales de los multivibradores monoestables y a estables.

extra Usando un usando un 555 se puede armar un Oscilador Controlado por Voltaje (VCO). Este tipo de circuito son muy útiles y permiten, por ejemplo generar una señal de frecuencia modulada (FM) como la que se utiliza para transmisiones radiales

Filtros Activos

8. **Filtro con Seguidor.** Consideren un filtro pasa bajo RC pasivo con $R=1\text{ k}\Omega$ y $C=10\text{ nF}$.

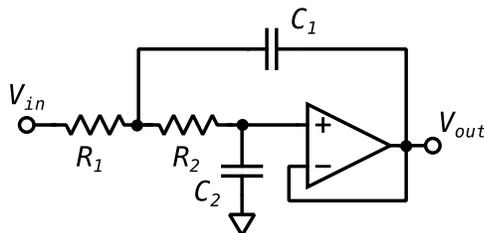
- a) ¿Qué impedancia de entrada y de salida tiene?
- b) ¿Cómo se modifican estas impedancias si le agregáramos un seguidor a la entrada o a la salida?
- c) En cada caso, ¿cómo se modifica el diagrama de Bode del circuito por la introducción del amplificador operacional?

9. **Filtro Salen-and-Key.** Este es un típico ejemplo de un filtro activo de orden 2 que no necesita inductores. En la siguiente figura se indican sus configuraciones tipo pasa alto y pasa bajo.

- a) Calculen la función de transferencia para alguno de los casos.
- b) Elijan distintas combinaciones de R y C que den un corte en 50 kHz y grafiquen el comportamiento del filtro. ¿Qué cambia cualitativamente en cada caso?
- c) Existen una infinidad de calculadoras para ayudarnos a elegir componentes de filtros que se comporten como queremos: tipo Chebychev, Butterworth, Bessel. Utilicen una de ellas, para diseñar un filtro pasa banda con un único amplificador operacional. ¿Cómo se compara el el resultado con un pasa banda pasivo? Algunas sugerencias de páginas con calculadoras:

<http://sim.okawa-denshi.jp/en/Fkeisan.htm>

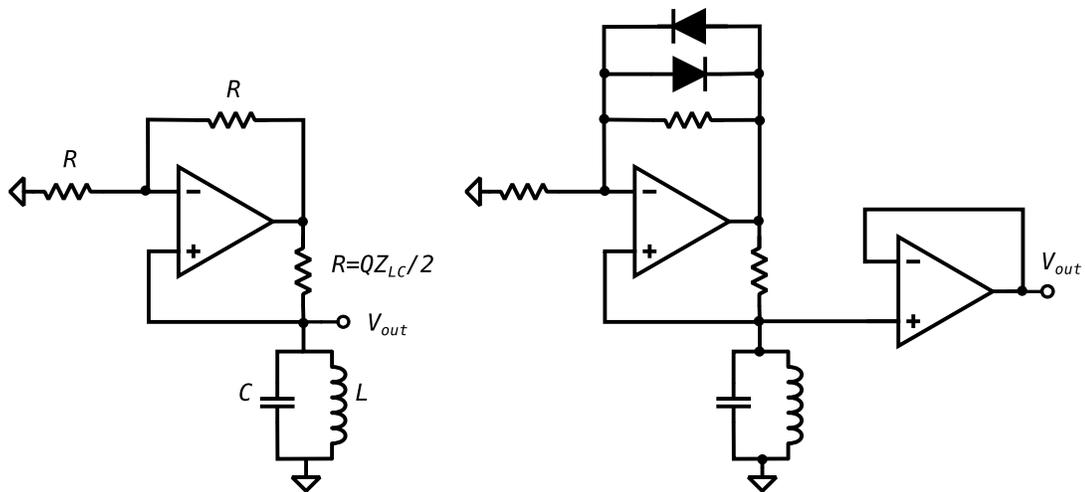
<https://www.analog.com/designtools/en/filterwizard/>



- extra Consideren el caso de resistencia iguales, capacitancias iguales y ganancia del amplificador A. En tal caso intenten deducir analíticamente la función de transferencia.
- extra ¿Qué pasa si la ganancia $A=3$? Considerando que el amplificador tiene también una respuesta en frecuencia tipo pasa bajos, ¿cómo elegirían la ganancia para que este circuito sea estable?

Osciladores Resonantes

10. **Oscilador LC.** El siguiente circuito (izquierda), bajo ciertas condiciones, oscila. La oscilación esta determinada por el resonador LC y por los parámetros de la realimentación.
- ¿A qué frecuencia resuena la porción LC del circuito?
 - ¿Cuánto vale la impedancia del LC en resonancia? Ayuda: consideren que la inductancia no es ideal sino que tiene un factor de calidad Q .
 - Esbozen en un diagrama de Bode las funciones de transferencia entre la salida del OpAmp y cada una de sus patas de entrada.
 - Cuánto debe valer la resistencia R_p para que la realimentación positiva "iguale" a la negativa. ¿Qué pasa si la supera?
 - Cómo se imaginan que serán las formas de las señales en cada parte del circuito, simúlenlo.
 - El circuito de la derecha, mejora características del anterior agregando no-linealidades en la realimentación positiva y desacoplando la salida. Estudien el efecto de estos cambios y determinen la forma de la señal de salida.



11. **Oscilador de Wien.** En vez de usar una inductancia, que en general son inestables, uno puede construir un filtro de orden dos con un par de capacitores y resistencias. Esa es la idea del oscilador de Wien que se muestra en la siguiente figura.
- Usando la ideas anteriores intenten entender cómo funciona, a qué frecuencia oscila y cómo elegirían los distintos valores de los componentes para generar una oscilación estable.

