

INSTRUMENTACIÓN CIENTÍFICA

ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES

Roberto Giovanni Ramírez-Chavarría

`rg.unam.sysid@github.io`

Maestría en Ingeniería Eléctrica, UNAM

Semestre 2019-2



Acondicionamiento de señales

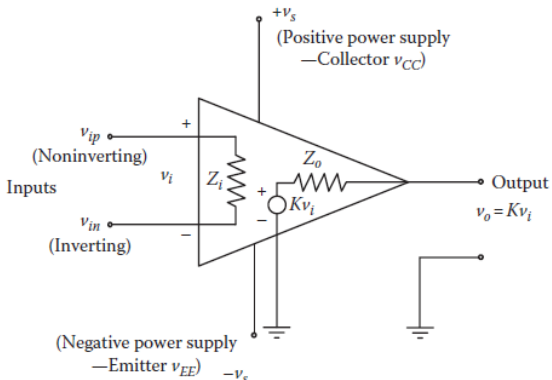
Modificar señales para que un sistema de instrumentación opere correctamente

- **Amplificación:** Modificación respecto a potencia, magnitud, tipo, etc...
- **Filtrado:** Modificación (disminución) del efecto de ruido, perturbaciones y otros errores.

Las señales deben mantener sus niveles para un buen desempeño

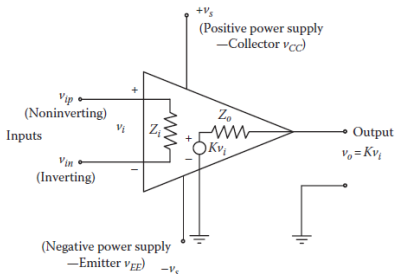
Amplificación

Amplificador Operacional -*Op-amp*



Amplificación

Amplificador Operacional -Op-amp



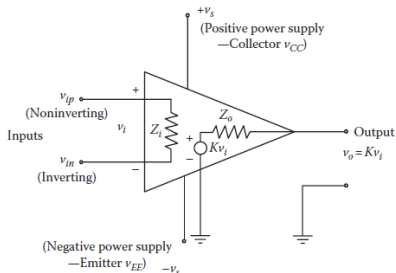
Ganancia en lazo abierto: $K = \frac{v_o}{v_i} (10^5 - 10^9)$

Voltaje diferencial de entrada: $v_i = v_{ip} - v_{in}$

Impedancia de entrada: $Z_i (10 \text{ M}\Omega - 1 \text{ G}\Omega)$

Amplificación

Amplificador Operacional -Op-amp



Sí $v_o = 1V$, que sucede con v_i ?

¿Cuál es la relación entre v_{ip} y v_{in}

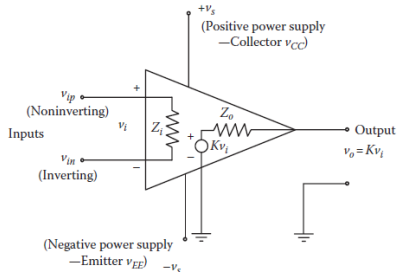
Sí $v_i = 10V$, ¿cómo es v_o ?

Sí $v_{in} = 0V$, ¿cómo es v_o ?

Sí $v_{ip} = 0V$, ¿cómo es v_o ?

Amplificación

Amplificador Operacional -Op-amp



Sí $v_o = 1V$, ¿qué sucede con v_i ? $\rightarrow v_i \approx 0$

¿Cuál es la relación entre v_{ip} y v_{in} $\rightarrow v_{ip} \approx v_{in}$

Sí $v_i = 10V$, ¿cómo es v_o ? $\rightarrow v_o \rightarrow \infty$

Sí $v_{in} = 0V$, ¿cómo es v_o ? $\rightarrow v_o = Kv_{ip}$

Sí $v_{ip} = 0V$, ¿cómo es v_o ? $\rightarrow v_o = -Kv_{in}$

Amplificador Operacional -*Op-amp*

Factores de desempeño:

- 1 Estabilidad
- 2 Velocidad de respuesta (*bandwidth, slew rate*)
- 3 Impedancia de entrada y de salida

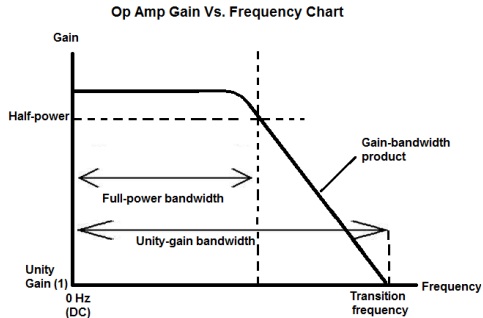
Fuentes de error:

- 1 Corrientes de polarización
- 2 *Offset*
- 3 Voltaje de salida en modo común
- 4 Ruido interno

Amplificación

Amplificador Operacional -*Op-amp*

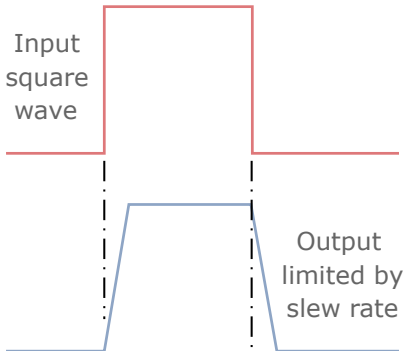
- **Ancho de banda (BW, bandwidth):** Rango de frecuencias de operación (zona plana 3dB).
- **GBWP, gain bandwidth product:** Producto de la ganancia DC y el *BW*. Cuando la ganancia incrementa, el *BW* decrece.



Amplificación

Amplificador Operacional -*Op-amp*

- **Slew rate:** Máxima tasa de cambio posible en el voltaje de salida sin distorsión significativa, sus unidades $V/\mu s$.



Amplificación

Amplificador Operacional -*Op-amp*

Modificando la expresión del voltaje de salida v_o (considerando no-ideal)

$$v_o = K_d(v_{ip} - v_{in}) + K_{cm} \times \frac{1}{2}(v_{ip} + v_{in})$$

- K_d : ganancia diferencial
- K_{cm} : ganancia en modo común
- $\frac{1}{2}(v_{ip} + v_{in})$: voltaje en modo común (idealmente $\rightarrow 0$)
- K_d/K_{cm} : relación de rechazo en modo común (*CMRR*, *common mode rejection ratio*), debe ser alta

Amplificación

Amplificador Operacional -*Op-amp*

Ejemplo: Obtenga la relación entre el *slew rate* y el ancho de banda para un amplificador operacional con un *slew rate* de $1\text{V}/\mu\text{s}$. Determine el ancho de banda cuando opera en una amplitud de salida de 5 V.

Amplificación

Amplificador Operacional -Op-amp

Ejemplo: Obtenga la relación entre el *slew rate* y el ancho de banda para un amplificador operacional con un *slew rate* de $1\text{V}/\mu\text{s}$. Determine el ancho de banda cuando opera en una amplitud de salida de 5 V.

Considere una señal senoidal de salida

$$v_o = a \sin 2\pi ft$$

la tasa de cambio está dada por

$$\frac{dv_o}{dt} = 2\pi fa \cos 2\pi ft$$

i.e., el máximo cambio de la salida es: $2\pi fa$

La máxima frecuencia permitida es

$$s = 2\pi f_b a \longrightarrow f_b = \frac{s}{2\pi a}$$

Amplificación

Amplificador Operacional -Op-amp

Ejemplo: Obtenga la relación entre el *slew rate* y el ancho de banda para un amplificador operacional con un *slew rate* de $1\text{V}/\mu\text{s}$. Determine el ancho de banda cuando opera en una amplitud de salida de 5 V.

Considere una señal senoidal de salida

$$v_o = a \sin 2\pi ft$$

la tasa de cambio está dada por

$$\frac{dv_o}{dt} = 2\pi fa \cos 2\pi ft$$

i.e., el máximo cambio de la salida es: $2\pi fa$

La máxima frecuencia permitida es

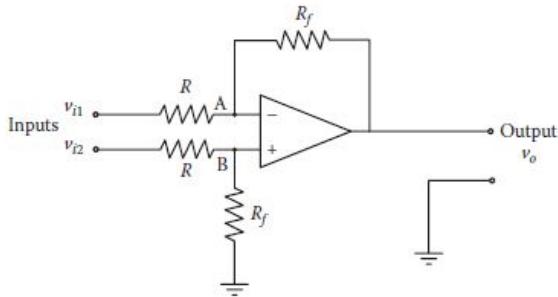
$$s = 2\pi f_b a \longrightarrow f_b = \frac{s}{2\pi a}$$

$$f_b = 31.8 \text{ kHz}$$

Amplificación

Op-amp Configuraciones útiles en instrumentación

- Amplificador Diferencial

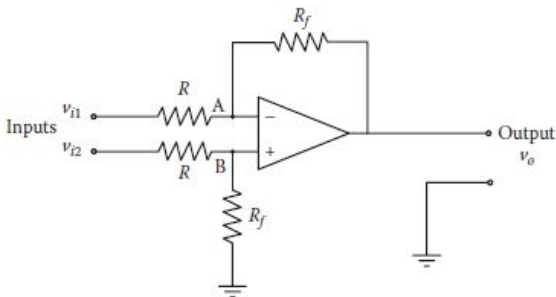


- Resta dos señales
- Remueve componentes de ruido en modo común,
- Convierte voltaje diferencial en voltaje referido a tierra.

Amplificación

Op-amp Configuraciones útiles en instrumentación

- Amplificador Diferencial

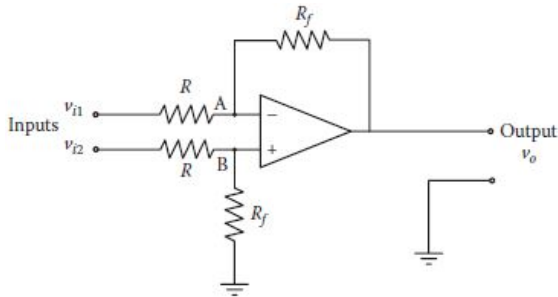


Obtenga la expresión de $v_o = f(v_{i1}, v_{i2})$

Amplificación

Op-amp Configuraciones útiles en instrumentación

- Amplificador Diferencial



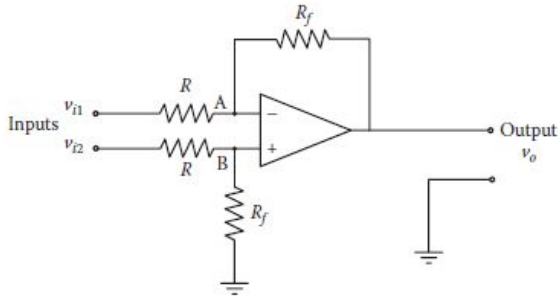
Obtenga la expresión de $v_o = f(v_{i1}, v_{i2})$

$$v_o = \frac{R_f}{R}(v_{i2} - v_{i1})$$

$R_f/R \rightarrow$ ganancia diferencial

Amplificación

Op-amp Configuraciones útiles en instrumentación - **Amplificador Diferencial**

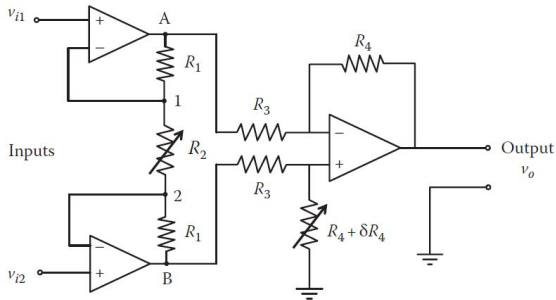


DESVENTAJAS:

- Acoplamiento de impedancias en las entradas
- Ganancia fija

Amplificación

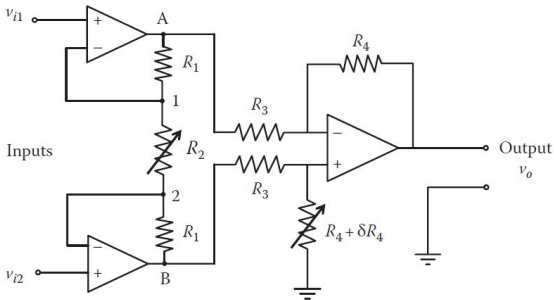
Op-amp Configuraciones útiles en instrumentación- Amplificador de Instrumentación



- Resta dos señales
- Acoplamiento de impedancias (*buffers* ó seguidores de voltaje)
- Ganancia variable

Amplificación

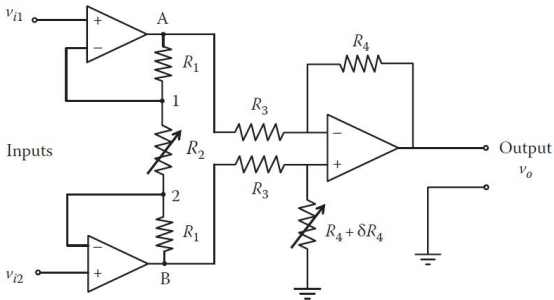
Op-amp Configuraciones útiles en instrumentación- Amplificador de Instrumentación



Obtenga la expresión de $v_o = f(v_{i1}, v_{i2})$

Amplificación

Op-amp Configuraciones útiles en instrumentación- Amplificador de Instrumentación

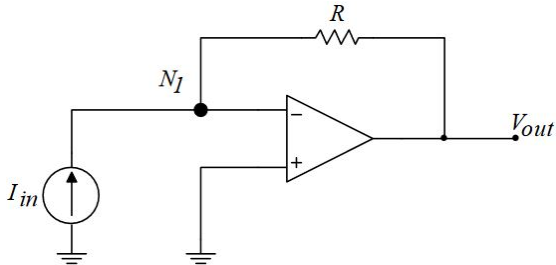


$$v_A - v_B = \left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right) (v_{i2} - v_{i1})$$

$$v_o = \frac{R_4}{R_3} (v_A - v_B)$$

Amplificación

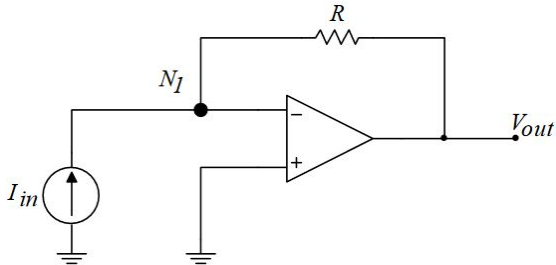
Op-amp Configuraciones útiles en instrumentación- **Amplificador de Transimpedancia**



- Convertidor corriente voltaje
- Configuración no inversora

Amplificación

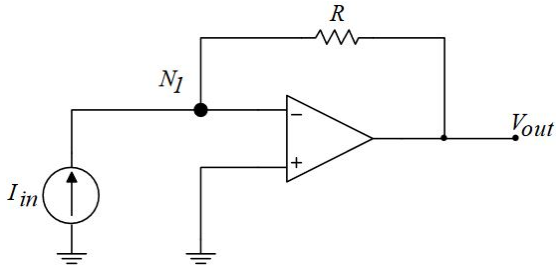
Op-amp Configuraciones útiles en instrumentación- **Amplificador de Transimpedancia**



Obtenga la expresión de $v_o = f(I_{in})$

Amplificación

Op-amp Configuraciones útiles en instrumentación- **Amplificador de Transimpedancia**

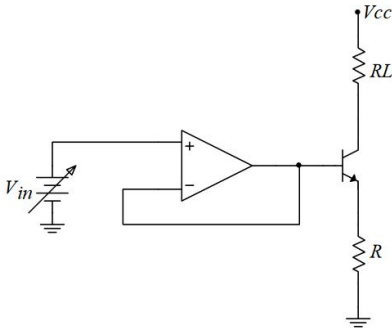


Obtenga la expresión de $v_o = f(I_{in})$

$$v_o = -RI_{in}$$

Amplificación

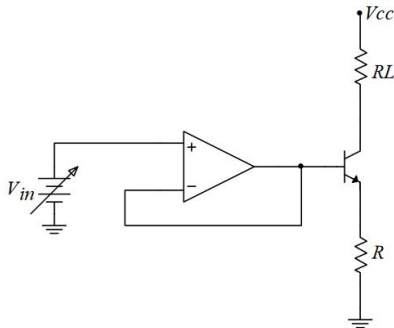
Op-amp Configuraciones útiles en instrumentación- Amplificador de Transconductancia



- Convertidor voltaje corriente
- Fuente de corriente controlada por voltaje
- La corriente es constante sin importar el valor de RL

Amplificación

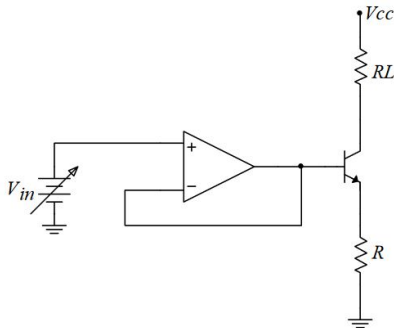
Op-amp Configuraciones útiles en instrumentación- Amplificador de Transconductancia



Obtenga la expresión de $I = f(V_{in})$

Amplificación

Op-amp Configuraciones útiles en instrumentación- Amplificador de Transconductancia



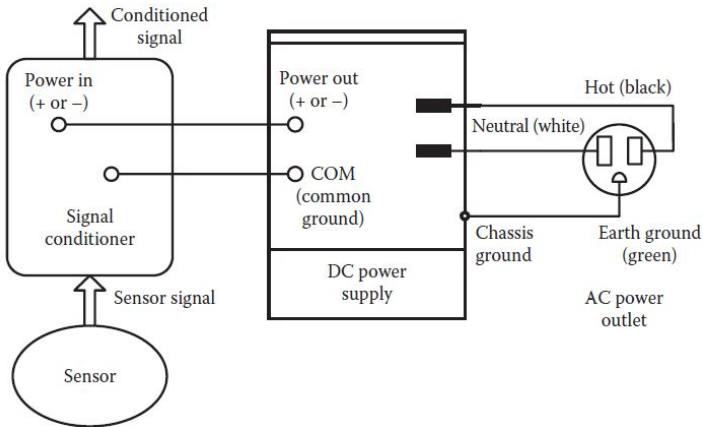
Obtenga la expresión de $I = f(V_{in})$

$$I = S V_{in}$$

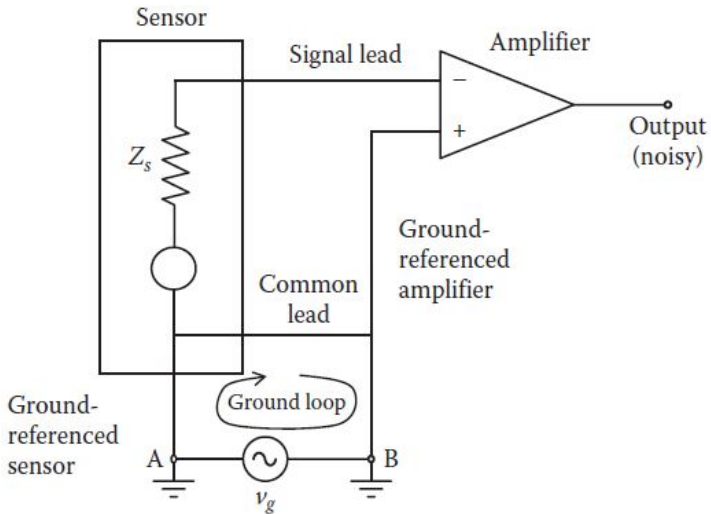
S : sensibilidad del convertidor

Lazos de tierra

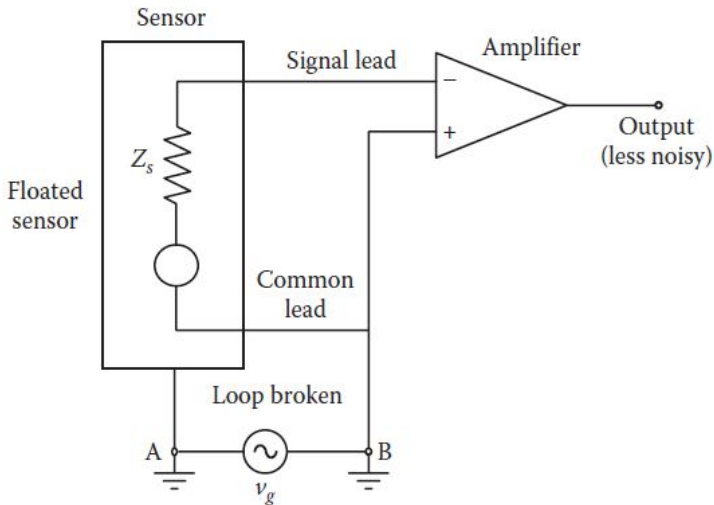
Principal fuente en equipos: EMI (*Electromagnetic interference*)



Lazos de tierra



Lazos de tierra



Ruido

Las señales de ruido son aleatorias, no puede predecirse su forma de onda pero sí describirse estadísticamente.

El valor promedio de una señal de ruido (voltaje) $v_n(t)$

$$\bar{v}_n(t) = \frac{1}{T} \int_T v_n(t) dt = 0$$

y su **POTENCIA**

Ruido

Las señales de ruido son aleatorias, no puede predecirse su forma de onda pero sí describirse estadísticamente.

El valor promedio de una señal de ruido (voltaje) $v_n(t)$

$$\bar{v}_n(t) = \frac{1}{T} \int_T v_n(t) dt = 0$$

y su **POTENCIA**

$$\bar{v}_n(t)^2 = \frac{1}{T} \int_T v_n^2(t) dt \neq 0$$

el valor rms del **VOLTAJE** de ruido

Ruido

Las señales de ruido son aleatorias, no puede predecirse su forma de onda pero sí describirse estadísticamente.

El valor promedio de una señal de ruido (voltaje) $v_n(t)$

$$\bar{v}_n(t) = \frac{1}{T} \int_T v_n(t) dt = 0$$

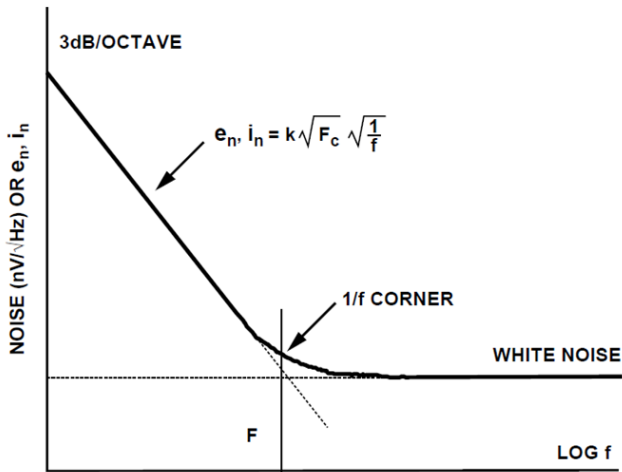
y su **POTENCIA**

$$\bar{v}_n(t)^2 = \frac{1}{T} \int_T v_n^2(t) dt \neq 0$$

el valor rms del **VOLTAJE** de ruido

$$v_{n,rms} = \sqrt{\bar{v}_n(t)^2}$$

Espectro de potencia



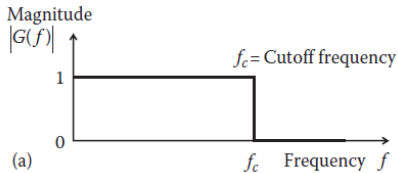
Clasificación

- Analógicos
 - Pasivos (No requieren fuente de alimentación)
 - Activos (Op-amps)
- Digitales
 - FIR (Respuesta finita al impulso)
 - IIR (Respuesta infinita al impulso)

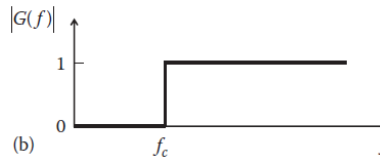
Atenuar señales no deseadas

Categorías

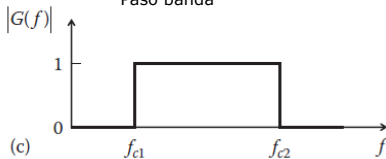
Paso bajas



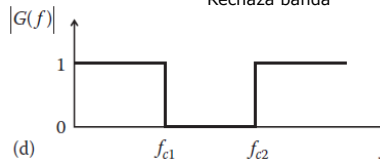
Paso altas



Paso banda



Rechaza banda



Filtros

Son sistemas dinámicos lineales e invariantes en el tiempo

- Analógicos \rightarrow Ecuaciones diferenciales
- Digitales \rightarrow Ecuaciones en diferencias

Análisis en el dominio de la frecuencia:

FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

$$G(s) = \frac{b_n s^n + b_{n-1} s^{n-1} + \dots b_0}{a_m s^m + a_{m-1} s^{m-1} + \dots a_0}$$

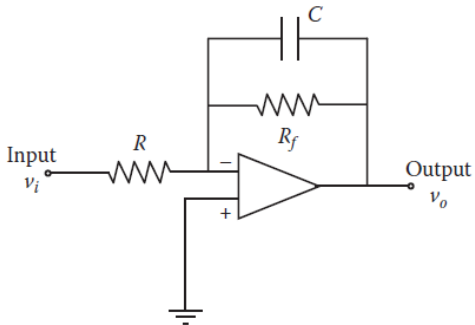
$$G(z) = \frac{b_n + b_{n-1} z^{-1} + \dots b_0 z^{-n}}{1 + a_{m-1} z^{-1} + \dots a_0 z^{-m}}$$

Polos de la FT: raíces del polinomio del denominador

polos = orden del filtro

Filtros

Sea el siguiente circuito

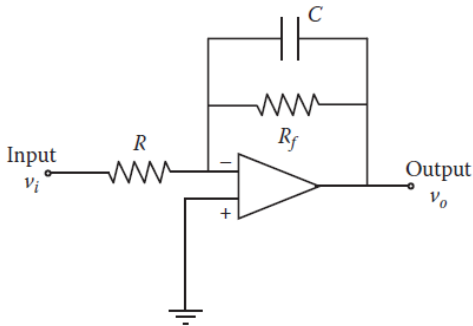


(a)

Obtenga su función de transferencia $G(s) = v_o/v_i$

Filtros

Sea el siguiente circuito



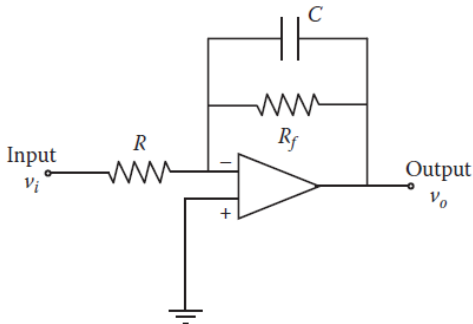
(a)

Obtenga su función de transferencia $G(s) = v_o/v_i$

$$G(s) = \frac{K}{\tau s + 1}; \quad K = \frac{R_f}{R} \quad \tau = R_f * C_f$$

Filtros

Sea el siguiente circuito



(a)

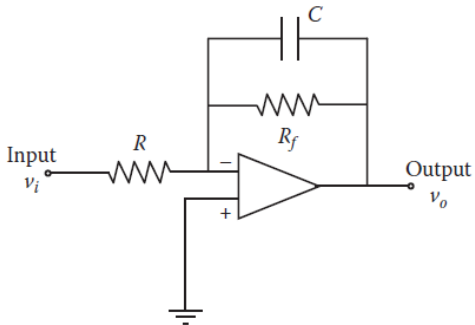
Obtenga su función de transferencia $G(s) = v_o/v_i$

$$G(s) = \frac{K}{\tau s + 1}; \quad K = \frac{R_f}{R} \quad \tau = R_f * C_f$$

FILTRO PASO BAJAS 1er ORDEN

Filtros

Sea el siguiente circuito

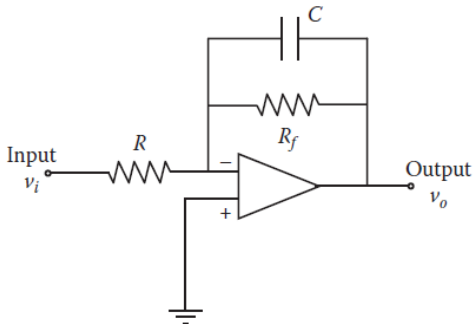


(a)

La respuesta en frecuencia sí $s := j\omega$

Filtros

Sea el siguiente circuito



(a)

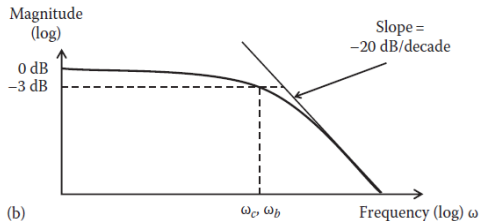
La respuesta en frecuencia sí $s := j\omega$

$$G(j\omega) = \frac{K}{j\omega\tau + 1}; \quad \omega_c = 1/\tau$$

$\omega_c = 2\pi f_c$: FRECUENCIA DE CORTE

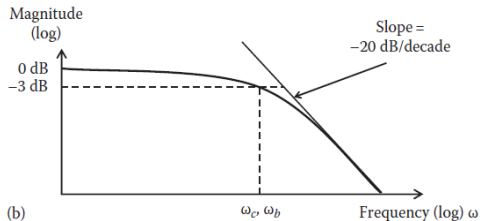
Filtros

Muestre que la frecuencia de corte obtenida anteriormente corresponde al ancho de banda a la mitad de la potencia para el filtro. Deduzca y explique porque la magnitud en un diagrama de Bode puede ser aproximada por una línea con pendiente de -20dB/decada .



Filtros

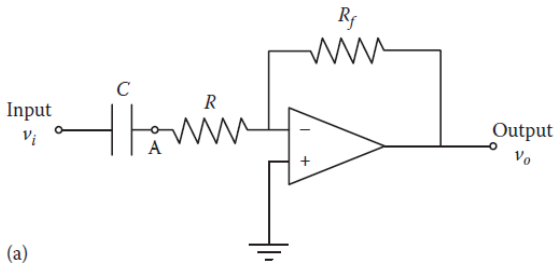
Muestre que la frecuencia de corte obtenida anteriormente corresponde al ancho de banda a la mitad de la potencia para el filtro. Deduzca y explique porque la magnitud en un diagrama de Bode puede ser aproximada por una línea con pendiente de -20dB/decada .



ROLL-OFF = pendiente -20dB/decada

Filtros

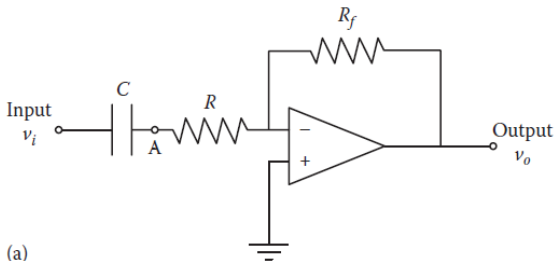
Sea el siguiente circuito



Obtenga su función de transferencia $G(s) = v_o/v_i$

Filtros

Sea el siguiente circuito

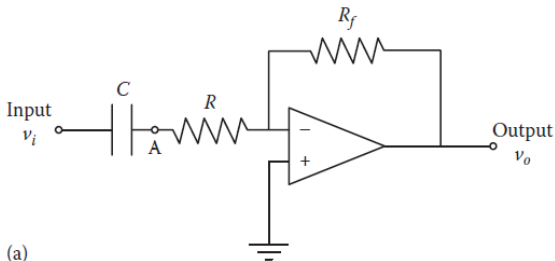


Obtenga su función de transferencia $G(s) = v_o/v_i$

$$G(s) = \frac{\tau s}{\tau s + 1}; \quad \tau = R * C$$

Filtros

Sea el siguiente circuito



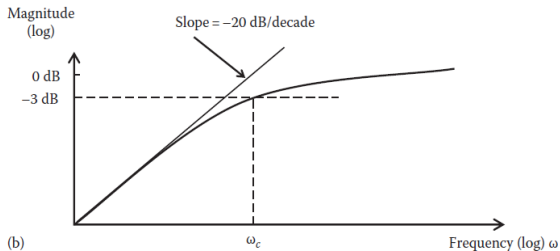
Obtenga su función de transferencia $G(s) = v_o/v_i$

$$G(s) = \frac{\tau s}{\tau s + 1}; \quad \tau = R * C$$

$$G(j\omega) = \frac{j\omega\tau}{j\omega\tau + 1}; \quad \omega_c = 1/\tau$$

FILTRO PASO ALTAS 1er ORDEN

Filtros



ROLL-OFF = pendiente -20db/decada

Gracias!

Contact:

<https://rgunam.github.io>

`rg.unam.sysid@gmail.com`