

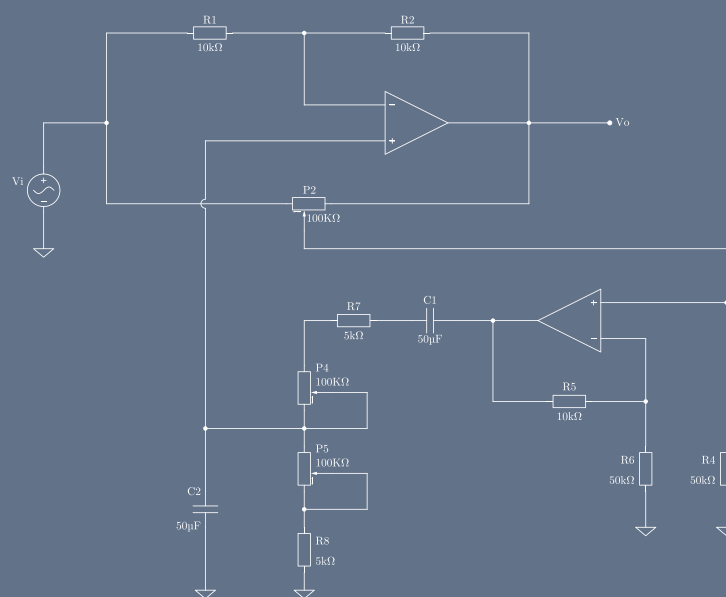
Capítulo 2

CIRCUITOS LINEALES AVANZADOS

2

Rev. 3 - Julio 2025

Ramiro Nieto, Candela Gioia
Agustín Gullino, Javier Petrucci





Linear problems are those which we can hope to solve.

- Richard Hamming

Rev. 3

Julio 2025 - Ramiro Nieto, Javier Petrucci

Versionado sobre Rev. 2

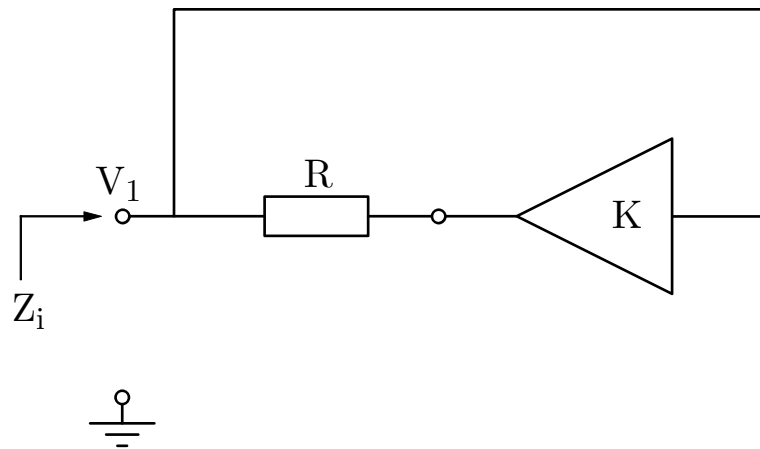
Agosto 2024 - Candela Gioia, Agustín Gullino, Javier Petrucci

Consideraciones

- La entrega en términos y completa suma 1 punto adicional en el Trabajo Práctico N°3.
- Fecha de entrega establecida en el cronograma.
- El conocimiento de los contenidos abordados es obligatorio. La entrega es opcional.
- Se considerará una resolución completa y correcta cuando los resultados hayan sido verificados mediante simulación, para lo cual se recomienda hacer uso de la biblioteca **TC-LIB** provista por la cátedra.

Ejercicio 2.1

A continuación se propone un esquema elemental que permite aplicar una transformación de impedancia de la resistencia R .

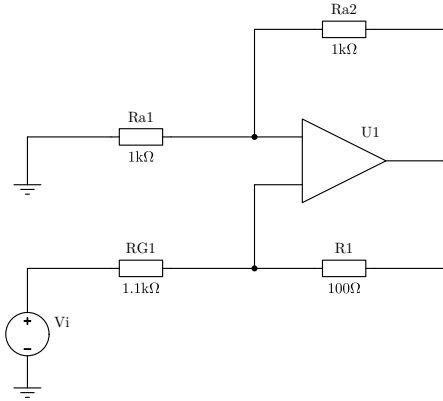


El bloque de ganancia tiene impedancia de entrada infinita y $K \in \mathbb{R}$.

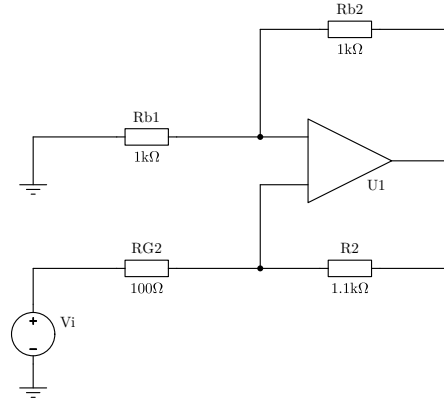
- a. Determine la impedancia de entrada Z_i .
- b. Grafique la función $Z_i(k, R)$
- c. ¿En qué rango de K la impedancia es negativa?
- d. ¿Para qué valor de K la impedancia es $-R$?
- e. Indique una implementación circuital del bloque K para cumplir la condición del ítem anterior.

Ejercicio 2.2

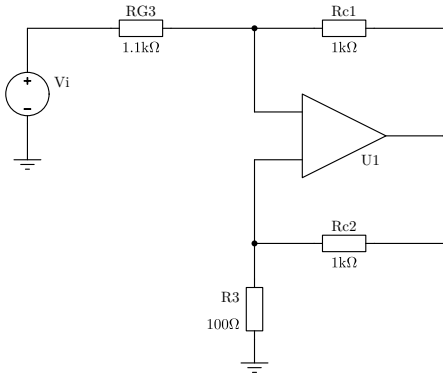
Para los circuitos presentados a continuación, analice:



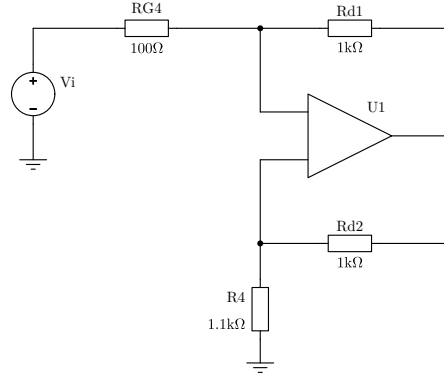
Circuito 2a



Circuito 2b



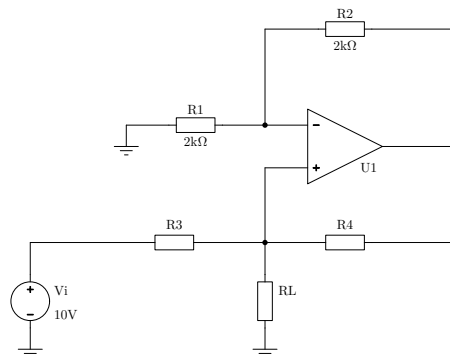
Circuito 2c



Circuito 2d

- Indique la polaridad que deben tener las entradas de los amplificadores para que los circuitos se encuentren realimentados negativamente.
- Determine la impedancia de entrada vista por la fuente V_i en cada caso.

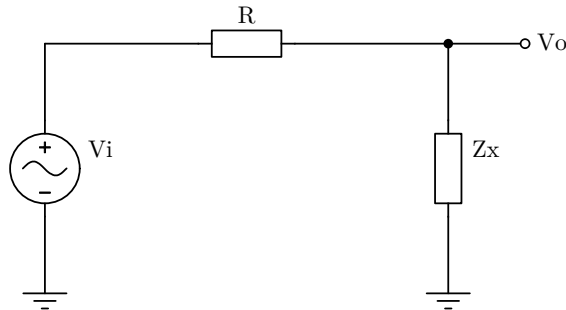
Tomando como base el circuito 2a se propone el siguiente esquema para implementar una fuente de corriente de $10mA$, utilizando un amplificador con $|V_{sat}| = 12V$:



- Determine el valor de R_3 y R_4 .
- Encuentre el rango de valores de R_L tal que el circuito siga funcionando como fuente de corriente.
- Determine la mínima I_{sat} que garantice el funcionamiento dentro del rango obtenido para R_L .

Ejercicio 2.3

Mediante el siguiente esquema se propone implementar un integrador, de modo que $\frac{V_o}{V_i} = \frac{k}{s}$.

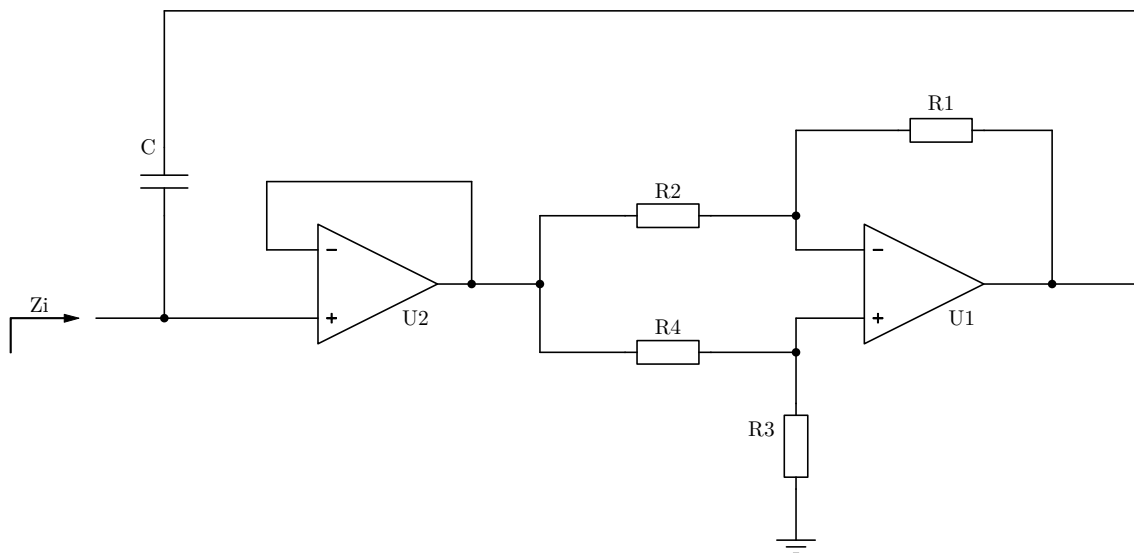


- Determine la expresión para la impedancia Z_x .
- Muestre un circuito que sintetice Z_x . Se sugieren a continuación 2 alternativas:^{EM}
 - Considerando que es posible expresar Z_x como el paralelo de dos componentes.
 - Generalizando la técnica propuesta en el Ejercicio 1, para $K(s)$.

Ejercicio 2.4

Mediante el siguiente circuito se propone sintetizar un capacitor proporcional a C , tal que:

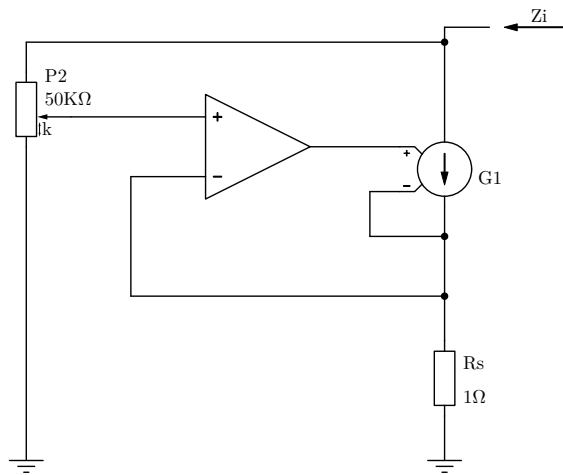
$$Z_i = \frac{1}{s \cdot (k \cdot C)}$$



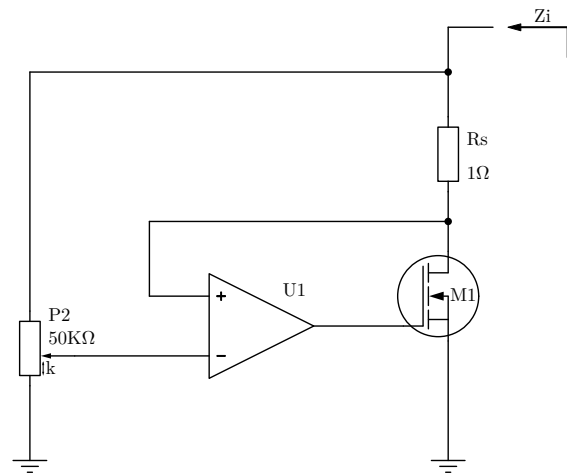
- Determine la expresión de k .
- Indique valores para las resistencias, y cuál debe ser variable para que sea posible obtener una capacidad en el rango $(0, 100 \cdot C)$.
- Si todas las resistencias son de $1K\Omega$ y se reemplaza el buffer por un cable, determine para este caso el valor de la impedancia de entrada.^{EM}

Ejercicio 2.5

En los siguientes circuitos se presentan dos variantes para la implementación de una «carga activa» de impedancia variable. Para el manejo de potencia se emplean una fuente de corriente controlada por tensión, de ganancia $G1$ y un MOSFET de canal N.



(a)

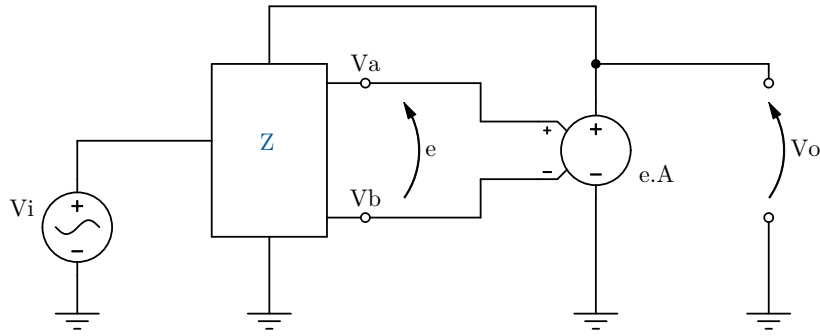


(b)

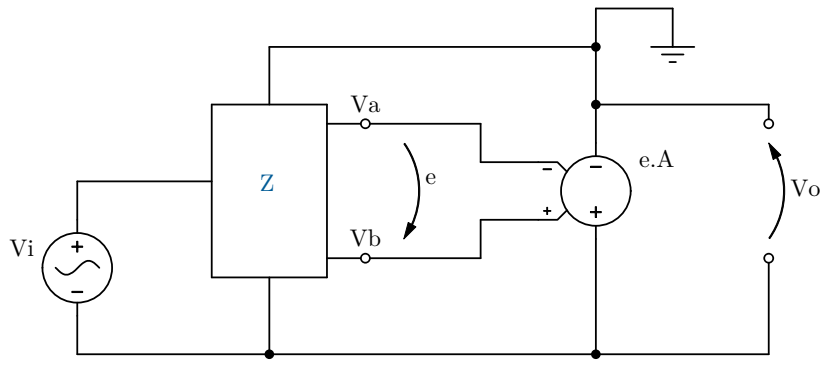
- Encuentre la expresión de $Z_i(k)$.
- Si se conecta el circuito a una fuente de tensión, analice a través de qué componentes circula la fracción más significativa de la corriente.
- Represente cada caso mediante un diagrama en bloques con realimentación, donde quede explícita la variable de entrada y su relación con la salida. ^{EM}
- Analice el rango de impedancias que pueden sintetizarse para cada caso.
- Analice la sensibilidad de la impedancia respecto de k ¿qué conclusión puede extraerse?

Ejercicio 2.6

Las figuras que se muestran a continuación representan circuitos donde el bloque Z es una red de impedancias. La función transferencia de interés es $H(S) = V_o/V_i$.



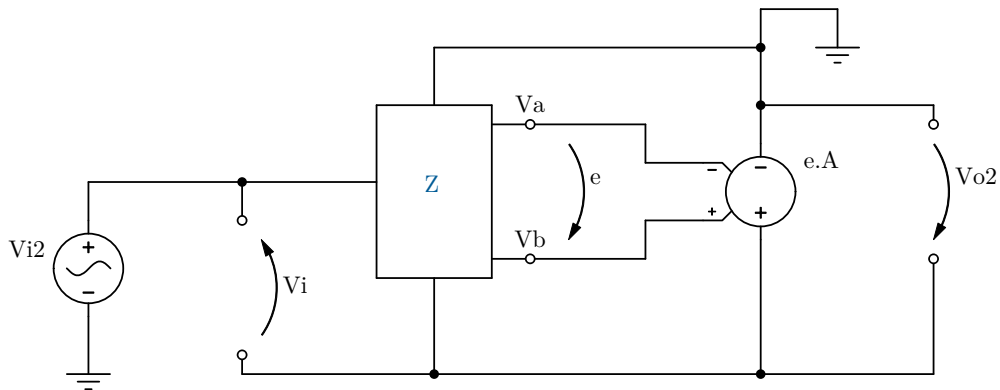
(a)



(b)

a. Demuestre que en ambos casos la función transferencia que relaciona V_o con V_i es idéntica.

El procedimiento que permite obtener un circuito a partir del otro se denomina ¹. Si, en particular, se analiza la topología de la Figura b tal que la entrada al sistema sea V_{i2} y su correspondiente salida V_{o2} :



¹N. Fliege, "Complementary transformation of feedback systems, in IEEE Transactions on Circuit Theory," vol. 20, no. 2, pp. 137-139, March 1973, doi: 10.1109/TCT.1973.1083649.

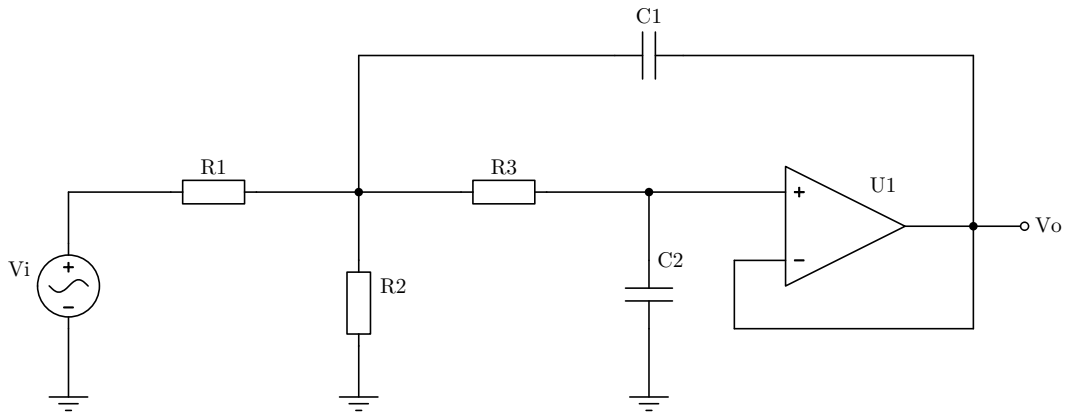
- b. Obtenga la función transferencia $H_2(S) = V_{o2}/V_{i2}$ en términos de $H(s) = V_o/V_i$ y demuestre que puede expresarse como:

$$H_2 = -\frac{H}{1-H}$$

Ejercicio 2.7

Dado el siguiente circuito conocido como *Celda Sallen Key* cuya función transferencia es:

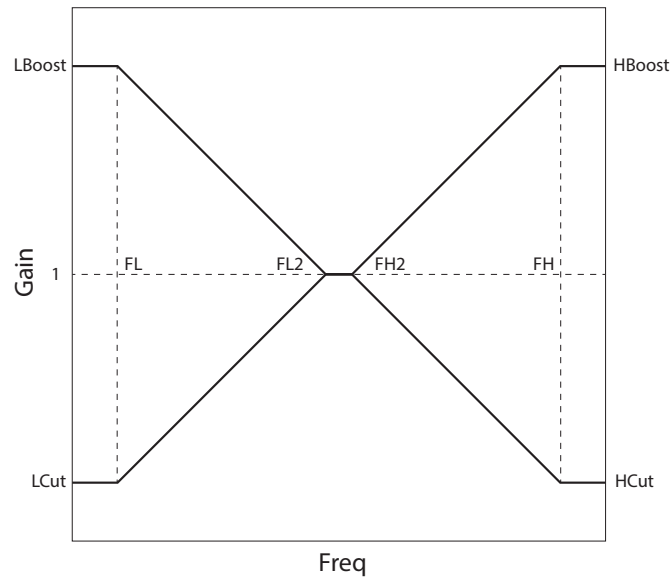
$$H(s) = \frac{K}{\frac{s^2}{\omega_0^2} + \frac{s}{\omega_0 \cdot Q} + 1}$$



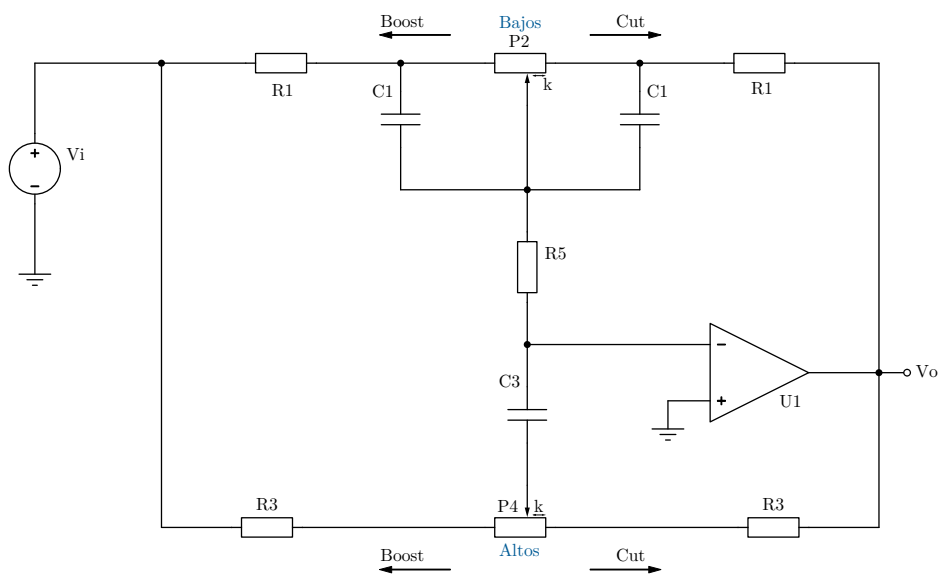
- Verifique realizando un análisis en baja y alta frecuencia la correspondencia entre el circuito y el tipo de transferencia presentada.
- Obtenga el circuito resultante de la transformación complementaria que puede ser implementado utilizando un amplificador operacional, y la expresión de su función transferencia $H_2(s)$. Indique el tipo de filtro que implementa y los valores de los parámetros ω_{02} y Q_2 .

Ejercicio 2.8

El circuito² que se muestra a continuación permite implementar un control de tonos con la siguiente característica en frecuencia. Haciendo las aproximaciones adecuadas, es posible obtener expresiones independientes para las ganancias y frecuencias de corte en alta y baja frecuencia. Donde el comportamiento en baja frecuencia depende de los componentes de la sección superior y el comportamiento en alta frecuencia de los componentes de la sección inferior.



- Determine las expresiones para los valores característicos mostrados en el esquema de respuesta en frecuencia.
- Proponga un set de valores para aplicación en la banda de audiofrecuencia y compruebe el funcionamiento mediante simulación.



²[Baxandall, P. J. (1952). Negative-Feedback Tone Control: Independent Variation of Bass and Treble Without Switches. Wireless World, 58(10), 402-405.]

Ejercicio 2.9

Un ecualizador de banda es un circuito que permite modificar la amplitud de una señal en un rango de frecuencia determinado. Típicamente su función transferencia es de la forma:

$$H_n(s) = -\frac{s^2 + s\frac{\omega_{on}}{Q_{zn}} + \omega_{on}^2}{s^2 + s\frac{\omega_{on}}{Q_{pn}} + \omega_{on}^2}$$

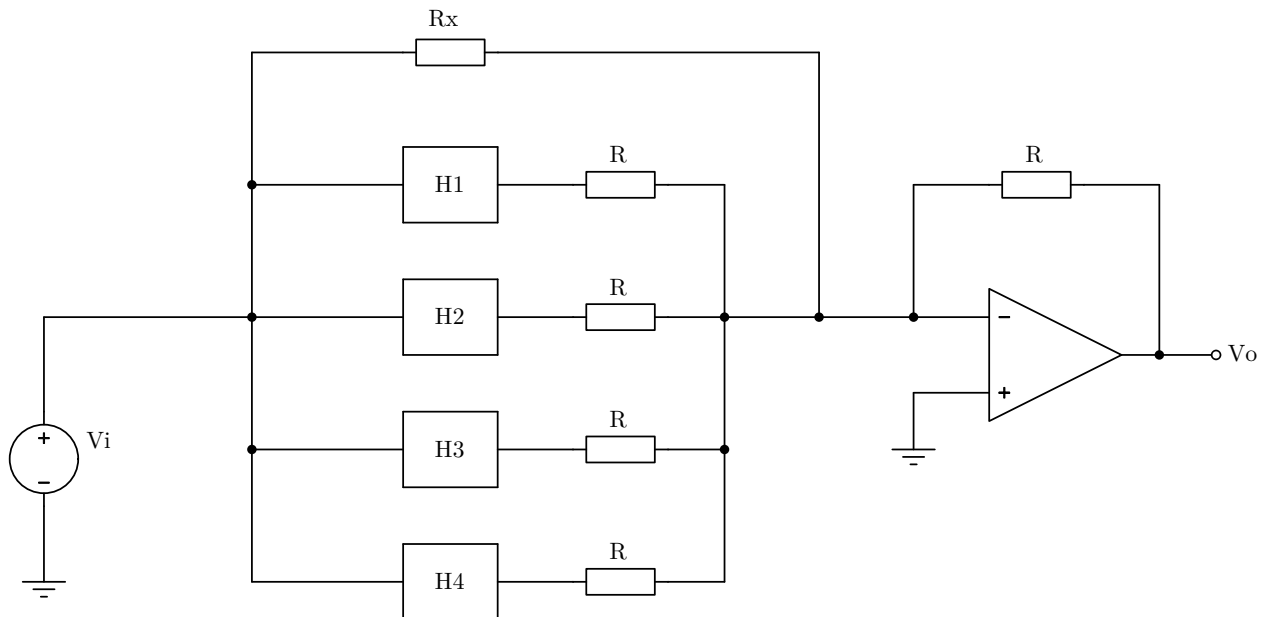
- Determine la ganancia en ω_o y grafique cualitativamente módulo y fase de la respuesta en frecuencia para distintas relaciones de Q_p y Q_z .
- Investigue y analice circuitos que implementen este tipo de función.
- Se requiere ecualizar simultáneamente distintas bandas de frecuencia, y se plantean 2 esquemas:

$$\blacklozenge H(s) = H_1(s) + H_2(s) + H_3(s) + \dots$$

$$\blacklozenge H(s) = H_1(s) \cdot H_2(s) \cdot H_3(s) \dots$$

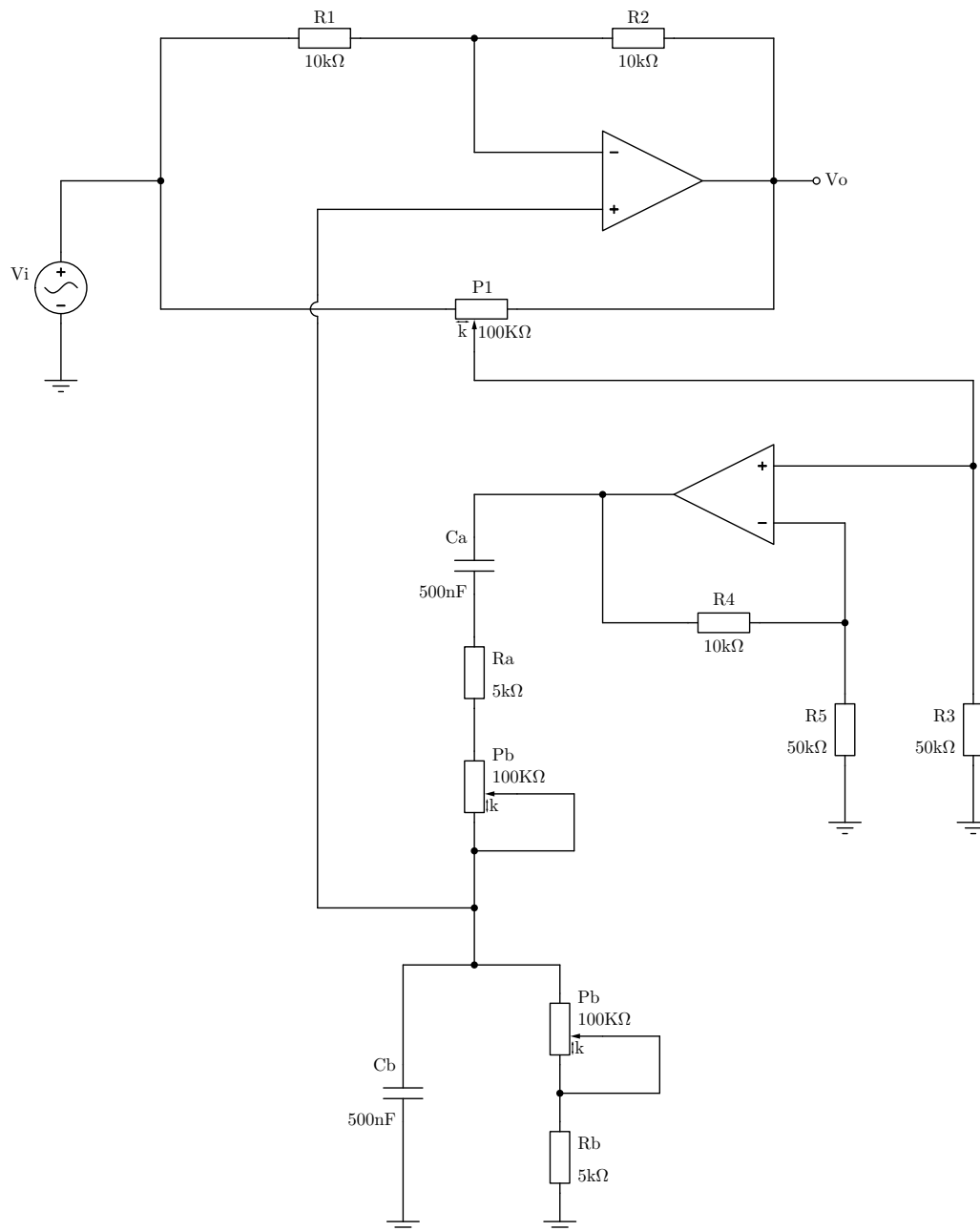
Compare ambas alternativas, analice las funciones transferencias resultantes e indique cuál debería utilizarse.

- Considerando que al conectar múltiples etapas en cascada, cada una amplifica el ruido generada por las anteriores, se propone el siguiente esquema. Analice su función y determine el valor de R_x . ^{EM}



Ejercicio 2.10

Analice el siguiente circuito, teniendo en cuenta que los cursores de las resistencias variables P_b se encuentran acoplados.



- Encuentre la función transferencia normalizada.
- Presente un diagrama de polos y ceros.
- Determine la influencia de la posición de los potenciómetros sobre los parámetros de la función transferencia, en particular en la posición de los polos y ceros. Analice los efectos sobre el módulo de la ganancia.