

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS Y LIMITACIONES DE LOS AMPLIFICADORES OPERACIONALES

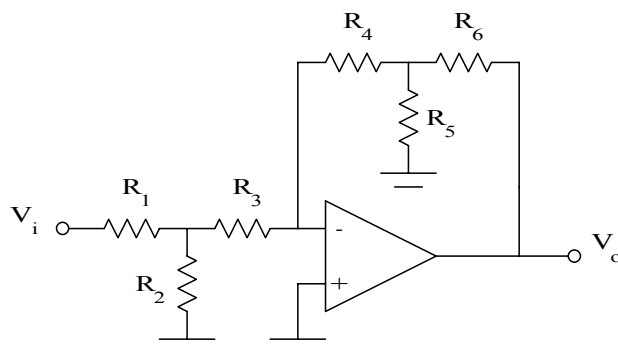
05/04/2003

Problema 1

En el circuito presentado en la figura siguiente, suponiendo que el amplificador operacional es ideal, se pide calcular:

- Impedancia de entrada Z_{in} del circuito.
- Ganancia de tensión $G = V_o/V_i$.

Resultado



$$R_1 = R_3 = R_4 = R_6 = 10 \text{ k}\Omega$$

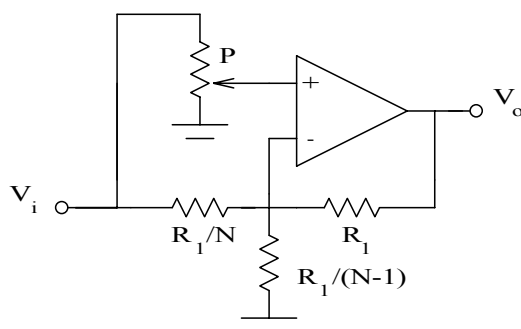
$$R_2 = R_5 = 1 \text{ k}\Omega$$

- $Z_{in} = 10,9 \text{ k}\Omega$
- $G = -1$

Problema 2

La ganancia de tensión del circuito de la figura depende de la posición x del cursor del potenciómetro P . Si se considera el amplificador operacional ideal, obtener:

- Ganancia de tensión $G = V_o/V_i$ para $x = 1$.
- Ganancia de tensión $G = V_o/V_i$ para $x = 0$.
- Valor de x para conseguir $V_o = 0$.



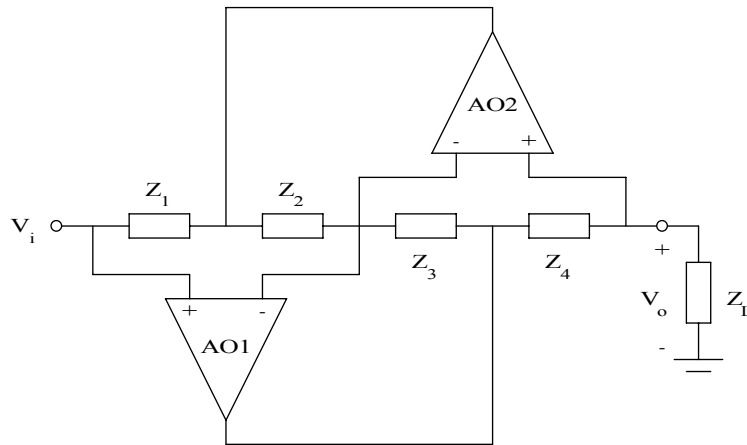
Resultado

- $G = N(2x-1)$ si $x = 1 \Rightarrow G = N$
- $x = 0 \Rightarrow G = -N$
- $x = 0,5$

Problema 3

Considerando los amplificadores operacionales ideales, calcular las magnitudes siguientes en el circuito de la figura:

- Tensión de salida V_o .
- Impedancia de entrada Z_{in} si se cumple que $Z_1 = Z_3 = Z_4 = Z_L = R$ y $Z_2 = 1/j\omega C$.

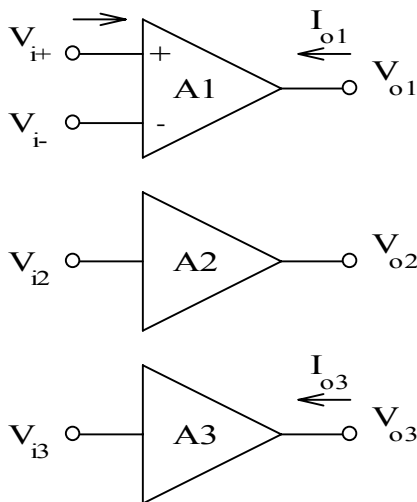


Resultado

a) $V_o = V_i$ b) $Z_{in} = \frac{Z_1 Z_3 Z_L}{Z_2 Z_4} \Rightarrow Z_{in} = R^2 j\omega C$ (Inductancia $L_{eq} = R^2 C$)

Problema 4

Para construir un amplificador operacional (AO) se emplean tres etapas amplificadoras conectadas en cascada. Las características de estas tres etapas amplificadoras cuando se encuentran aisladas son las siguientes:



A1. Etapa diferencial:

$R_{id} = 2 \text{ M}\Omega$ (resistencia de entrada diferencial)

$R_{o1} = 4 \text{ M}\Omega$ (resistencia de salida)

$G_1 = I_{o1}/V_{id} = 0.2 \text{ mA/V}$ (transconductancia)

$\Delta V_{o1\max} = \pm 1 \text{ V}$ (margen dinámico de salida)

A2. Etapa intermedia:

$R_{i2} = 1.3 \text{ M}\Omega$

$R_{o2} = 100 \text{ k}\Omega$

$A_{v2} = V_{o2}/V_{i2} = -2000$

$\Delta V_{o2\max} = \pm 10 \text{ V}$

A3. Etapa de salida:

$R_{i3} = 100 \text{ k}\Omega$

$R_{o3} = 75 \Omega$

$A_{v3} = V_{o3}/V_{i3} = 0.98$

$\Delta V_{o3\max} = \pm 13.5 \text{ V}$

- a) Considerando el efecto de carga de cada etapa sobre la anterior, determinar el valor de la ganancia diferencial A_d del amplificador resultante.

$$A_d = \frac{V_{o3}}{V_{id}} = \frac{V_{o3}}{V_{i+} - V_{i-}}$$

- b) ¿Cuál es la máxima amplitud de la tensión diferencial de entrada para que no se sature ninguna de las tres etapas?
- c) Si la ganancia en modo común de la primera etapa es $A_{cm1} = 2 \cdot 10^{-3}$, dar el CMRR del AO.
- d) Conectando la entrada V_{i-} a masa y una resistencia de carga $R_L = 1 \text{ k}\Omega$ en la salida, calcular la ganancia de corriente A_i del amplificador resultante.

$$A_i = \frac{I_{o3}}{I_{i+}}$$

- e) Calcular la resistencia de salida si se conecta el AO en configuración de seguidor de tensión, esto es, con la salida conectada a la entrada inversora.

Resultado

a) $A_d = 192.302$
d) $A_i = -3,57 \cdot 10^8$

b) $V_{idmax} = 50,1 \mu V$
e) $R_o \cong 4 \cdot 10^{-4} \Omega$

c) $CMRR \cong 100 \text{ dB}$

Problema 5

Se desea medir los valores de la tensión de offset y las corrientes de polarización y offset de un amplificador operacional concreto. Para ello se utiliza el circuito presentado en la figura 1.

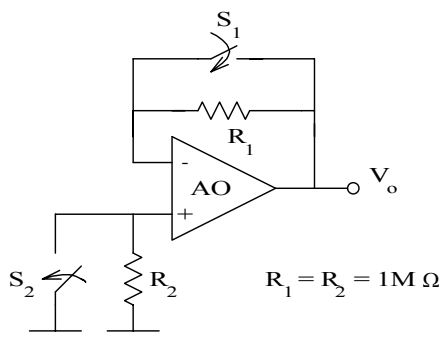


Figura 1

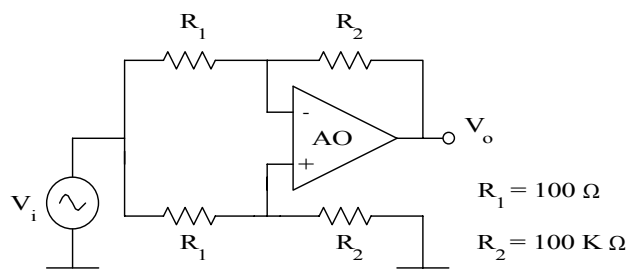


Figura 2

Teniendo en cuenta que dependiendo de la situación de los interruptores S_1 y S_2 la tensión de salida del operacional varía de la forma:

- Si S_1 y S_2 están abiertos la tensión de salida es de $V_o = -19 \text{ mV}$.
- Si S_1 está abierto y S_2 está cerrado la tensión de salida es de $V_o = 71 \text{ mV}$.
- Si S_1 está cerrado y S_2 está abierto la tensión de salida es de $V_o = -89 \text{ mV}$.

- a) Calcular el valor de la tensión de offset (V_{os}), la corriente de polarización (I_B) y la corriente de offset (I_{os}) del amplificador operacional.

Para medir el CMRR de este amplificador operacional se propone el circuito de la figura 2.

- b) Calcular el valor del CMRR considerando que con una tensión de una frecuencia de 5 Hz y una amplitud de 10 V aplicada a la entrada, en la salida del circuito se mide una amplitud de 1 V.

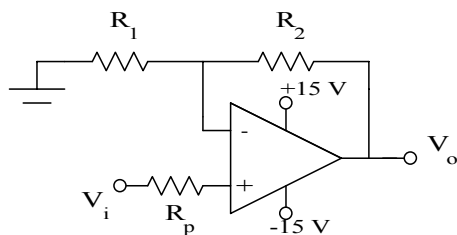
Resultado

a) $V_{os} = 1 \text{ mV}$, $I_B = 80 \text{ nA}$, $I_{os} = 20 \text{ nA}$

b) $CMRR = 80 \text{ dB}$

Problema 6

Se dispone de un amplificador operacional con una ganancia en lazo abierto de $a_{AO} = 50000$, una tensión de offset de $V_{os} = 1 \text{ mV}$ y un CMRR de 100 dB. Con este AO se construye un amplificador no inversor como el de la figura:



Datos:
 $V_i = 100 \text{ mV}$
 $R_1 = 20 \text{ k}\Omega$
 $R_2 = 1 \text{ M}\Omega$

Se pide:

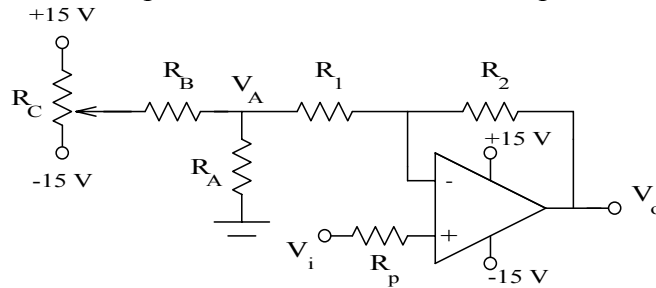
- a) Explicar la utilidad de R_p y calcular su valor.
b) Calcular el error absoluto en V_o debido al comportamiento no ideal del AO.

Resultado:

- a) Utilidad: compensación de la corriente de polarización I_B . $R_p \cong 20 \text{ k}\Omega$
- b) Error = 56 mV

Problema 7

El circuito de la figura es un amplificador no inversor con compensación externa de offset.



Datos:

- $R_1 = 25,5 \text{ k}\Omega$
- $R_2 = 102 \text{ k}\Omega$
- $V_{os} = 6 \text{ mV}$
- $I_B = 500 \text{ nA}$
- $I_{os} = 200 \text{ nA}$

Se pide:

- a) Calcular el error en la tensión de salida V_o debido a V_{os} , I_B y I_{os} en el caso que no hubiera la red de compensación de offset ($R_A = 0$, $R_B = R_C = \infty$).
- b) Calcular el valor de R_p que minimiza el error a la salida. Calcular el error en la salida para el valor de R_p anterior.
- c) Dar el margen de variación necesario para la tensión V_A que permita compensar el error en la tensión de salida.
- d) ¿Qué condiciones han de cumplir las resistencias R_A , R_B y R_C para no alterar el funcionamiento del amplificador?. Elegir los valores de estas resistencias para conseguir el margen de V_A deseado.
- e) Calcular el error relativo cometido en la ganancia en lazo cerrado con los valores propuestos en el apartado anterior.

Resultado

a) $V|_{V_{os}} = \pm 30 \text{ mV}$

$$V|_{I_B, I_{os}} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \left[\left((R_1 \parallel R_2) - R_p \right) I_B - \left((R_1 \parallel R_2) + R_p \right) \frac{I_{os}}{2} \right]$$

b) $R_p = 20,4 \text{ k}\Omega$, $V|_{I_{os}} = \pm 20,4 \text{ mV}$, Error $\cong \pm 50 \text{ mV}$

c) $V_A \cong \pm 12,6 \text{ mV}$

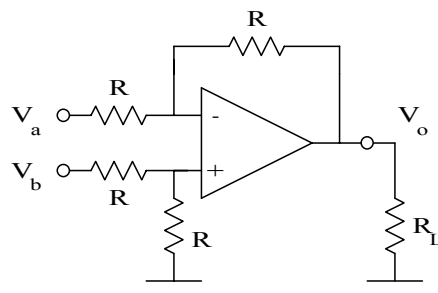
d) $R_A \ll R_1$; $R_A \ll R_B$

$R_A = 100 \text{ }\Omega$; $R_B = 120 \text{ k}\Omega$; $R_C = 10 \text{ k}\Omega$

e) $E_r = 0,3 \%$

Problema 8

Sea el siguiente circuito, donde $R = 1 \text{ k}\Omega$ y $R_L = 1 \text{ M}\Omega$.



Se pide:

- a) Hallar la relación entre V_o y V_a y V_b . ¿Qué función realiza el circuito?. Nota: Para este apartado considerar que el AO es ideal.

Considerando ahora que las especificaciones del AO son las siguientes ($\mu A714$):

$$\begin{aligned} V_{os} &= 30 \mu V \\ I_{os} &= 0,4 \text{ nA} \\ I_B &= 1 \text{ nA} \\ \text{CMRR} &= 126 \text{ dB} \end{aligned}$$

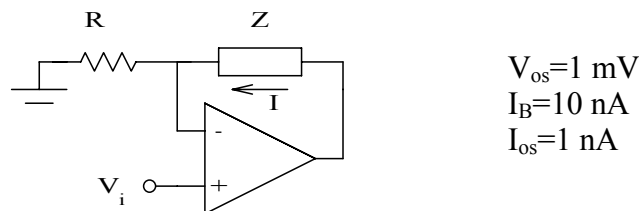
- b) Calcular la tensión en modo común a la entrada del AO para $V_a = 4 \text{ V}$ y $V_b = 2 \text{ V}$.
 c) Obtener la tensión de error a la salida debido a V_{os} , I_{os} , I_B y CMRR. Considerar el error como la suma cuadrática de las tensiones de error debidas a cada una de las fuentes.
 d) ¿Cuál es la fuente de error que más afecta?. Repetir el apartado c) suponiendo que ahora el CMRR es igual a 80 dB.

Resultado

- a) $V_o = V_b - V_a$ (amplificador diferencial)
 b) $V_{cmAO} = 1 \text{ V}$
 c) $V|_{V_{os}} = 60 \mu V$, $V|_{I_B, I_{os}} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ V}$, $V|_{\text{CMRR AO}} = 1 \mu V$, Error $\cong 60 \mu V$
 d) Error mayor $\Rightarrow V_{os}$
 CMRR = 80 dB: $V|_{\text{CMRR AO}} = 200 \mu V$, error $\cong 209 \mu V$, error mayor $\Rightarrow \text{CMRR}$

Problema 9

Sea el siguiente circuito donde se emplea un amplificador operacional con los siguientes



parámetros: $R = 1 \text{ k}\Omega$ y $V_i = 10 \text{ V}$:

- a) Considerando el amplificador operacional como ideal, calcular la corriente I .
 b) Hallar el error en I asociado a V_{os} .
 c) Hallar el error en I asociado a I_B e I_{os} .
 d) Calcular el error total en el peor caso y expresarlo como error relativo.

Resultado

- a) $I = 10 \text{ mA}$
 b) $I|_{V_{os}} = 1 \mu A$
 c) $I|_{I_B, I_{os}} = 10,5 \text{ nA}$
 d) Error = $1,01 \mu A$, Error relativo = $0,01 \%$