

Trabajo Práctico N° 2

Teoría de Circuitos - 2019

Grupo 1:

Farall, Facundo

Gaytan, Joaquín

Kammann, Lucas

Maselli, Carlos

Müller, Malena

4 de septiembre de 2019

EJERCICIO 1: COMPORTAMIENTO DE AMPLIFICADORES OPERACIONALES

En este ejercicio se analizan distintas características de circuitos con amplificadores operacionales. Primero se utiliza un circuito con configuración inversora y luego otro con configuración no inversora. La Tabla 0.1 utiliza los datos proporcionados por el archivo “bode.csv” el cual se genera automáticamente con filecontents*.

Cuadro 0.1: Ejemplo de tabla centrada con datos desde “bode.csv”

	$R_1 = R_2$	R_3	R_4
caso 1	2,5k	25k	10k
caso 2	2,5k	2.5k	10k
caso 3	25k	2.5k	100k

0.1. CONFIGURACIÓN INVERSORA

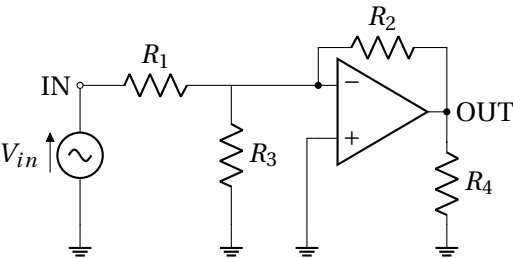


Figura 0.1: Configuración inversora

0.1.1. ANÁLISIS TEÓRICO

0.2. CONFIGURACIÓN NO INVERSORA

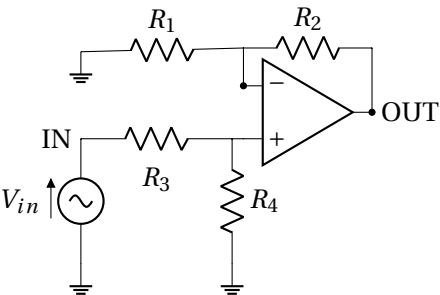


Figura 0.2: Configuración inversora

Circuito 1 Vo/Vi CASO 1

$$-\frac{700000000000,0}{2088908,62808113s + 700131250000,0} \quad (0.1)$$

Circuito 1 Vo/Vi CASO 2

$$-\frac{700000000000,0}{298415,518297304s + 700018750000,0} \quad (0.2)$$

Circuito 1 Vo/Vi CASO3

$$-\frac{700000000000,0}{11936620,7318921s + 7000075000000,0} \quad (0.3)$$

CIRCUITO 1 ZIN caso1

$$\frac{437,676093502712s + 280027500,0}{0,0159154943091895s + 112001,0} \quad (0.4)$$

CON PUNTA:

$$\frac{1,0(3,64730077918927 \cdot 10^{20}s + 2,3335625 \cdot 10^{26})}{4376760935,02712s^2 + 1,60996599321165 \cdot 10^{16}s + 9,33575022916667 \cdot 10^{22}} \quad (0.5)$$

inverter: Zin caso2=

$$\frac{79,5774715459477s + 280005000,0}{0,0159154943091895s + 112001,0} \quad (0.6)$$

CON PUNTA:

$$\frac{1,0(6,63145596216231 \cdot 10^{19}s + 2,333375 \cdot 10^{26})}{795774715,459477s^2 + 1,60695933802868 \cdot 10^{16}s + 9,33575004166667 \cdot 10^{22}} \quad (0.7)$$

inverter: Zin caso3=

$$\frac{437,676093502712s + 2800027500,0}{0,0159154943091895s + 112001,0} \quad (0.8)$$

CON PUNTA:

$$\frac{1,0(3,64730077918927 \cdot 10^{20}s + 2,33335625 \cdot 10^{27})}{4376760935,02712s^2 + 4,12996599321165 \cdot 10^{16}s + 9,35675022916667 \cdot 10^{22}} \quad (0.9)$$

circ2 caso1 vovi:

$$\frac{2200000000,0}{437,676093502712s + 250027500,0} \quad (0.10)$$

circ2 caso2 vovi:

$$\frac{400000000,0}{79,5774715459477s + 250005000,0} \quad (0.11)$$

circ2 caso3 vovi:

$$\frac{2200000000,0}{437,676093502712s + 2500027500,0} \quad (0.12)$$

CIRCUITO 2 ZIN caso1

$$Zin = R3 + R4 = 12,5k\Omega \quad (0.13)$$

CON PUNTA:

$$\frac{1,0(1,34287121997052 \cdot 10^{38}s - 8,4366609366572 \cdot 10^{43})}{1,61144546396462 \cdot 10^{27}s^2 + 9,74400011449559 \cdot 10^{33}s - 6,75776541020242 \cdot 10^{39}} \quad (0.14)$$

NONinverter: Zin caso2=

$$12,5k\Omega \quad (0.15)$$

CON PUNTA:

$$\frac{1,0(3,35718845716807 \cdot 10^{36}s - 2,10935402480826 \cdot 10^{43})}{4,02862614860169 \cdot 10^{25}s^2 + 1,57883363155109 \cdot 10^{31}s - 1,68959257386991 \cdot 10^{39}} \quad (0.16)$$

NONinverter: Zin caso3=

$$125k\Omega \quad (0.17)$$

CON PUNTA:

$$\frac{1,0(1,34287632288 \cdot 10^{39}s - 8,43749203068526 \cdot 10^{46})}{1,611451587456 \cdot 10^{28}s^2 - 1,00162173591756 \cdot 10^{36}s - 6,83436854484906 \cdot 10^{41}} \quad (0.18)$$

zin circuito1 caso1 teorica:

$$\frac{1,30885711543124 \cdot 10^{16} s - 3,6842622243421 \cdot 10^{27}}{2748284324476,07 s - 7,73606889861856 \cdot 10^{23}} \quad (0.19)$$

zin circuito1 caso2 teorico:

$$\frac{2500,0 (1202441,0 s - 5,38729407038047 \cdot 10^{15})}{802241,0 s - 3,59439807358207 \cdot 10^{15}} \quad (0.20)$$

zin circ1 caso2 teo BIEN:

$$\frac{1,868890907484 \cdot 10^{15} s - 5,26102936560593 \cdot 10^{25}}{498752424613,223 s - 1,404061747493 \cdot 10^{22}} \quad (0.21)$$

zin circ1 caso3 teo:

$$\frac{7,49205761516139 \cdot 10^{17} s - 2,10926458373408 \cdot 10^{28}}{27480414888480,5 s - 7,73677133618684 \cdot 10^{23}} \quad (0.22)$$

zin circ2 caso1 teo:

$$\frac{1,61144546396462 \cdot 10^{20} s - 1,01239931239886 \cdot 10^{26}}{1,28915648576337 \cdot 10^{16} s - 8,09919449911891 \cdot 10^{21}} \quad (0.23)$$

zin circ2 caso2 teo:

$$\frac{4,02862614860169 \cdot 10^{18} s - 2,53122482976991 \cdot 10^{25}}{322290120536142,0 s - 2,02497986381413 \cdot 10^{21}} \quad (0.24)$$

zin circ2 caso3 teo:

$$\frac{1,611451587456 \cdot 10^{21} s - 1,01249904368223 \cdot 10^{29}}{1,28916241588535 \cdot 10^{16} s - 8,09999234945065 \cdot 10^{23}} \quad (0.25)$$

EJERCICIO 2

0.3. ANÁLISIS TEÓRICO

El circuito a analizar consiste, a grandes rasgos, en un amplificador no inversor. Para su estudio teórico se tomarán dos modelos, donde, en primer lugar, se considerará al amplificador operacional en su versión ideal, para luego introducir no idealidades en su impedancia de entrada, salida y en la ganancia del mismo. Los valores de las resistencias a utilizar fueron reemplazados por su valor comercial más cercano, resultando en que el circuito a analizar sea el de la figura 0.3.

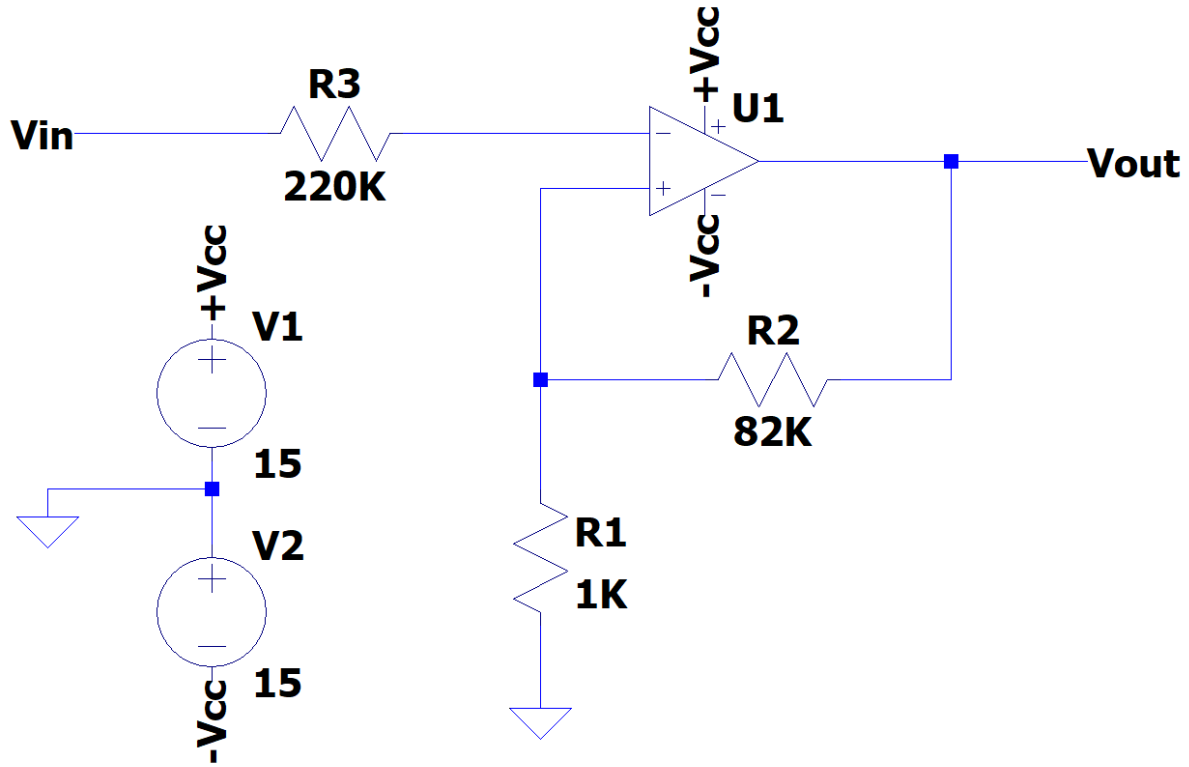


Figura 0.3: Circuito a analizar.

Ha de prestarse especial atención al nodo de la entrada no inversora del operacional. El mismo se encuentra a alta impedancia, ya que a su izquierda tiene la resistencia de $220K\Omega$, y a su derecha la impedancia interna del operacional (también alta). Esto lo convierte esencialmente en una antena, susceptible a captar señales de su entorno y, dado que está conectado a un circuito con una alta amplificación (cercana a los 40dB), amplificar esta señal parásita a la salida.

Este problema fue afrontado al realizar las mediciones con el operacional LM833 (uno de los dos pedidos), y se ofreció una solución al mismo que será detallada más adelante en las conclusiones del ejercicio. Luego, para el segundo operacional (NE5534), se decidió reemplazar a la misma por una de inferior valor, y se tomó como criterio hacer uso de la resistencia óptima para la compensación de las corrientes de bias. El valor para tal resistencia se obtiene de tomar el paralelo entre la resistencia de entrada al sistema, y la de feedback:

$$R'_3 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1K\Omega \cdot 82K\Omega}{1K\Omega + 82K\Omega} \approx 1K\Omega \quad (0.26)$$

0.3.1. MODELO IDEAL

La primer aproximación al comportamiento del circuito se realizará considerando al amplificador operacional como un componente ideal, es decir, $A_v = \infty$, $Z_{in_{opamp}} = \infty$, $Z_{out_{opamp}} = 0$. De esta manera, sin importar el modelo de operacional utilizado, se tiene que:

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{82K\Omega}{1K\Omega} = 83 \Rightarrow 38,38dB \quad (0.27)$$

Se desprende también, de las condiciones de idealidad impuestas, que la impedancia de entrada del circuito será infinita.

0.3.2. MODELO CON IMPEDANCIA DE ENTRADA, SALIDA, Y GANANCIA FINITA

Para la resolución del circuito con las consideraciones ya mencionadas, es necesario ahora especificar qué datos serán utilizados para los cálculos. Los mismos fueron obtenidos de las correspondientes datasheets ¹, y se presentan en el cuadro 0.3.2.

En particular, para la frecuencia del polo dominante del NE5534, se tomó el dato del polo dominante cuando el capacitor de compensación colocado es de 22pF (el que fue utilizado).

Modelo de operacional	f_0 (Hz)	A_0	$r_{in_{opamp}}$ (K Ω)	$r_{out_{opamp}}$ (Ω)	$C_{in_{opamp}}$ (pF)
LM833	$16 \cdot 10^3$	1000	175	37	12
NE5534	$1 \cdot 10^3$	$10 \cdot 10^5$	100	0,3	-

Cuadro 0.2: Parámetros para cálculo de circuito no ideal.

Se modelizará al operacional mediante el circuito 0.4.

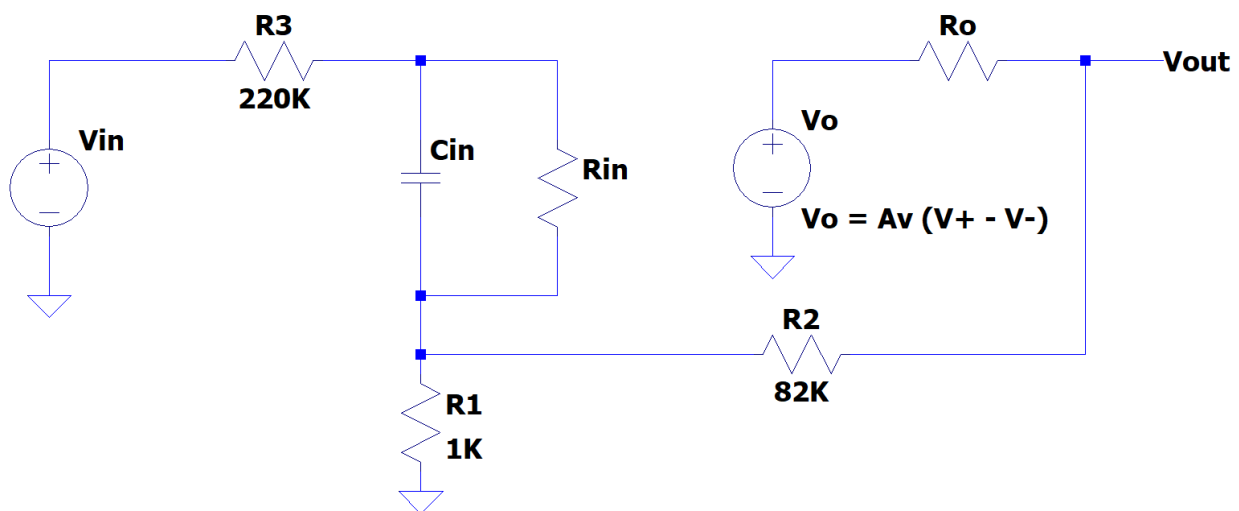


Figura 0.4: Circuito a analizar.

Se entiende al circuito como dos mallas cuyas ecuaciones son las descriptas en 0.28, que se extraen del circuito 0.5.

¹Datasheet para operacional LM833: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm833.pdf>

Datasheet para operacional NE5534: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/NE5534-D.PDF>

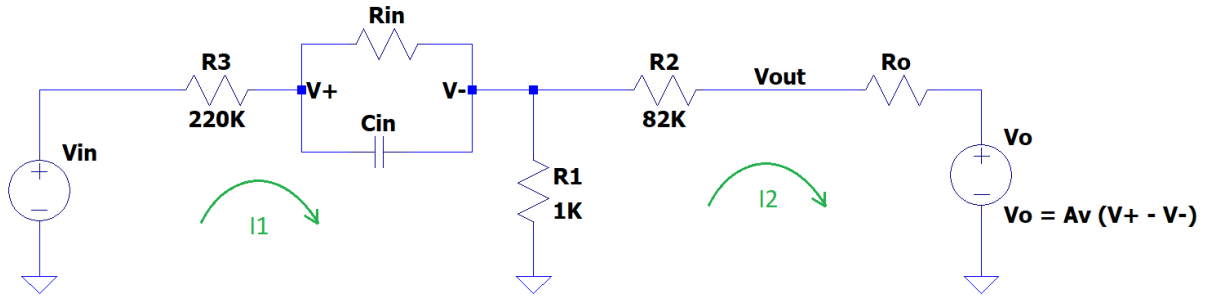


Figura 0.5: Circuito a analizar.

$$v_{in} - i_1 \cdot R_3 - i_1 \cdot Z_{in} - (i_1 - i_2) \cdot R_1 = 0 \quad (0.28)$$

$$-(i_2 - i_1) \cdot R_1 - i_2 \cdot R_2 - i_2 \cdot R_0 - v_o = 0 \quad (0.29)$$

$$v_o = (v^+ - v^-) \cdot A_v \quad (0.30)$$

$$v^+ = v_{in} - i_1 \cdot R_3 \quad (0.31)$$

$$v^- = v_{in} - i_1 \cdot R_3 - i_1 \cdot Z_{in} \quad (0.32)$$

$$Z_{in} = \frac{R_{in}}{R_{in} \cdot C_{in} \cdot s + 1} \quad (0.33)$$

$$A_v = \frac{A_0}{1 + \frac{s}{\omega_p}} \quad (0.34)$$

Resolviendo para i_2 se obtiene que:

$$i_2 = v_{in} \cdot \frac{R_1 - A_v \cdot Z_{in}}{R_1 \cdot (A_v \cdot Z_{in} - R_1) + (R_3 + Z_{in} + R_1) \cdot (R_1 + R_2 + R_0)} \quad (0.35)$$

Y luego se expresan v_{out} e i_1 en función de i_2 como:

$$i_1 = \frac{v_{in} + i_2 \cdot R_1}{R_3 + Z_{in} + R_1} \quad (0.36)$$

$$v_{out} = v_{in} \cdot \frac{R_1}{R_3 + Z_{in} + R_1} + i_2 \cdot \frac{R_1^2}{R_3 + Z_{in} + R_1} + i_2 \cdot R_1 - i_2 \cdot R_2 \quad (0.37)$$

0.3.3. ECUACIONES TEÓRICAS PARA EL LM833

De los resultados obtenidos en 0.36, y con los datos de la tabla 0.3.2, se tiene:

$$\frac{v_{out}^{LM833}}{v_{in}} = \frac{1,11 \cdot 10^{-4} \cdot s^4 + 1,105 \cdot 10^3 \cdot s^3 + 3,698 \cdot 10^{13} \cdot s^2 + 3,471b \cdot 10^{20} \cdot s + 2,692 \cdot 10^{26}}{s^4 + 1,034 \cdot 10^7 s^3 + 1,678 \cdot 10^{13} \cdot s^2 + 1,203 \cdot 10^{19} s + 3,948 \cdot 10^{24}} \quad (0.38)$$

$$Z_{in}^{LM833} = \quad (0.39)$$

$$(0.40)$$

NE5534 Transfer function

0.3.4. ECUACIONES TEÓRICAS PARA EL NE5534

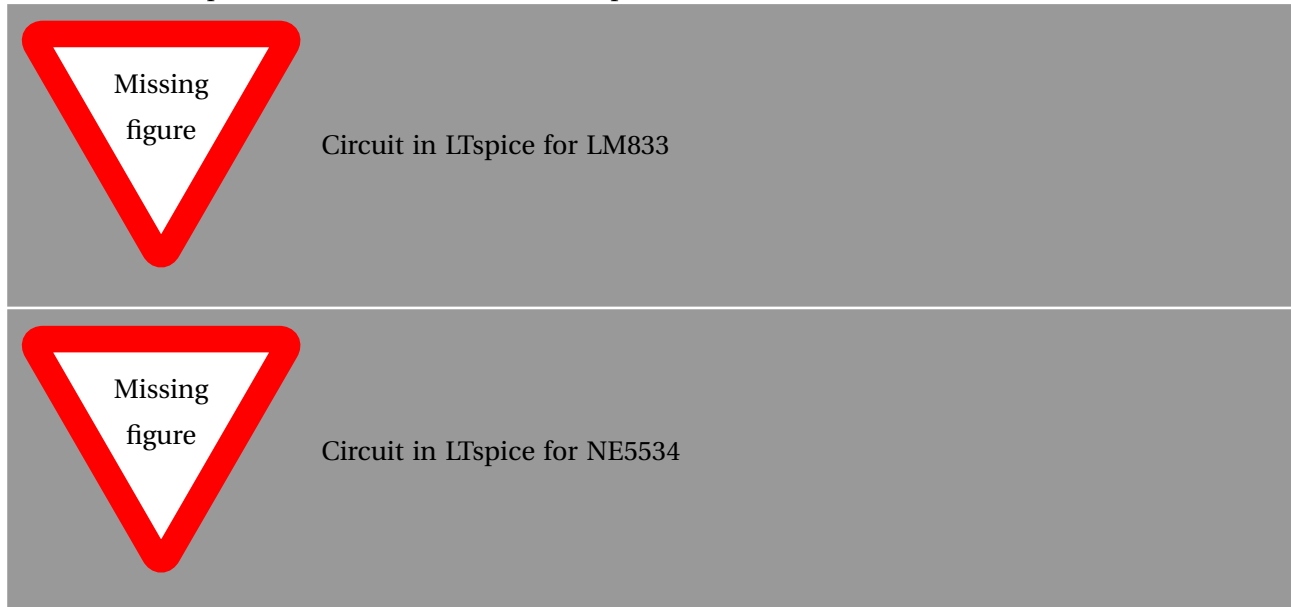
De los resultados obtenidos en 0.36, y con los datos de la tabla 0.3.2, se tiene:

$$\frac{v_{out}^{NE5534}}{v_{in}} = \quad (0.41)$$

$$Z_{in}^{NE5534} = \quad (0.42)$$

0.4. SIMULACIÓN

Para el análisis de los circuitos mediante herramientas de simulación se empleó el programa LTspice, para el cual se realizaron dos esquemáticos, uno para cada uno de los operacionales. En ambos casos, se simuló la respuesta en frecuencia utilizando la función AC Analysis, y se obtuvieron así los diagramas de bode e impedancia de entrada del sistema, seleccionando las variables pertinentes a observar en el graficador. A continuación se presentan los circuitos utilizados para tal fin:



0.5. RESULTADOS Y COMPARACIÓN

0.5.1. CON OPERACIONAL LM833

Se presentan a continuación los gráficos para la comparación de los resultados teóricos, simulados y experimentales, correspondientes a los diagramas de bode (en módulo y fase), e impedancia de entrada (también en módulo y fase):

0.5.2. CON OPERACIONAL NE5534

Se presentan a continuación los gráficos para la comparación de los resultados teóricos, simulados y experimentales, correspondientes a los diagramas de bode (en módulo y fase), e impedancia de entrada (también en módulo y fase):

1. EJERCICIO 3

1.1. INTRODUCCIÓN

Las corrientes de BIAS y la tensión de *Input Offset*

EJERCICIO 4

EJERCICIO 5

EJERCICIO 6