

Síntesis de redes activas

Laboratorio N°1: Amplificadores ideales lineales y no lineales

Profesor Titular: Dr. Ing. Pablo Ferreyra

Profesor Adjunto: Ing. César Reale

Alumnos: Campos Mariano, Enzo Verstraete

27 de septiembre de 2024

Resumen

Primer laboratorio cuyo objetivo es familiarizarse con el armado y análisis de circuitos analógicos lineales y no lineales. En este Trabajo Práctico debe considerar para los cálculos iniciales el amplificador como ideal.

1. Metodología general

A. Realizar una sintética introducción teórica del tema a tratar. B. Analizar los circuitos propuestos, todos los cálculos analíticos y su desarrollo numérico. C. Simulación en SPICE . D. Analizar las condiciones de operación límite. E. Armar el circuito y hacer las mediciones en laboratorio. F. Finalmente comparar los valores calculados, simulados y medidos, y extraer conclusiones a cerca de las diferencias. Analizar las causas. G. Presentar un informe digital, bien redactado en LÁTEX, inicializado con la propuesta del problema presentado por la Cátedra, los responsables del trabajo y un análisis profesional de cada ítem. La redacción debe ser acorde a un informe de un futuro ingeniero.

2. Introducción al análisis

El análisis del circuito tiene como objetivo obtener una primera aproximación del comportamiento del circuito de manera rápida y eficiente. Para dicho análisis se tienen en cuenta las siguientes consideraciones.

Ganancia infinita: Al considerar una ganancia infinita, la diferencia de tensión entre las entradas inversora y no inversora se hace prácticamente cero. Esto permite aplicar el concepto de "masa virtual" en la entrada inversora, simplificando notablemente el análisis.

Impedancia de entrada infinita: La alta impedancia de entrada implica que prácticamente no circula corriente hacia las entradas del operacional, lo que facilita la aplicación de la Ley de Kirchhoff de las Corrientes (KCL) en los nodos de entrada.

Impedancia de salida nula: Al considerar una impedancia de salida nula, se asume que el operacional puede suministrar cualquier cantidad de corriente sin que su tensión de salida se vea afectada, lo que simplifica el análisis de la carga conectada a la salida.

3. Circuito I: Amplificador diferencial

En esta sección se analiza el siguiente circuito.

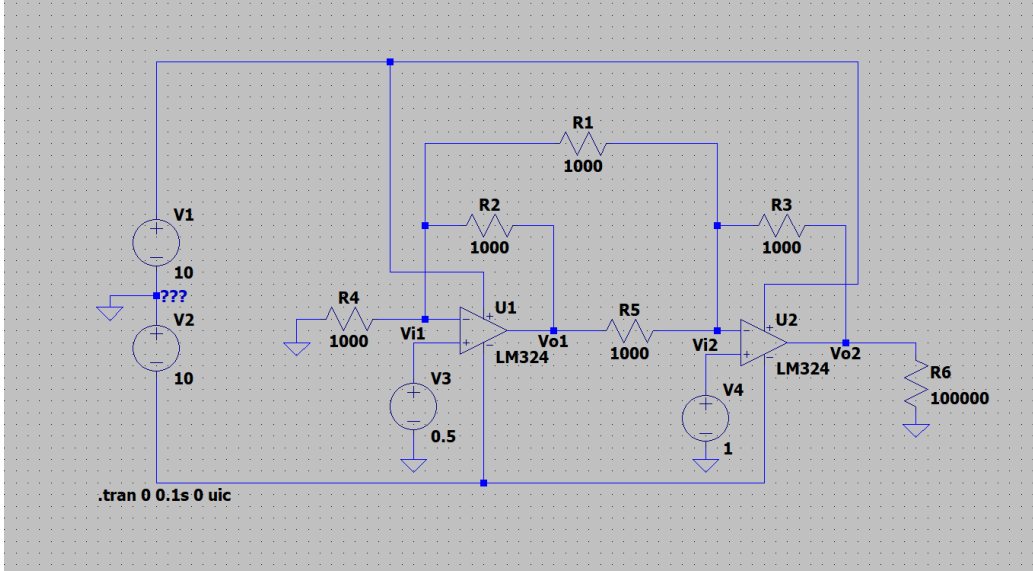


Figura 1: Amplificador diferencial

3.1. Análisis del circuito

Para el análisis podemos hacer uso de la propiedad de superposición, considerando la salida como la suma de los efectos individuales de las distintas excitaciones del circuito:

Análisis de V_{01} por superposición de V_1 y V_2 :

Para $V_2 = 0$ queda un amplificador no inversor de R_2 sobre el paralelo R_1 y R_4

$$V_{01} = V_1 \left(\frac{R_2 (R_1 + R_4)}{R_1 R_4} + 1 \right) \quad (1)$$

Normalizando los valores de la resistencia obtenemos:

$$R_1 = R_2 = R_3 = R \quad (2)$$

La salida de V_{01} resulta:

$$V_{01} = 3 V_1 \quad (3)$$

Para $V_1 = 0$ queda un amplificador inversor de R_2 sobre R_1

$$V_{01} = -\frac{R_2 V_2}{R_1} \quad (4)$$

Normalizando los valores de la resistencia obtenemos:

$$R_2 = R_5 = R \quad (5)$$

La salida de V_{01} resulta:

$$V_{01} = -V_2 \quad (6)$$

La salida de V_{01} resulta la suma de ambos efectos, se obtiene:

$$V_{01} = 3V_1 - V_2 \quad (7)$$

Análisis de V_{02} por superposición de V_1 , V_2 y V_{01} : Para $V_1 = 0$ y $V_2 = 0$ tenemos una configuración inversora de R_3 sobre R_5

$$V_{02} = -\frac{R_3 V_{01}}{R_5} \quad (8)$$

Normalizando los valores de la resistencia obtenemos:

$$R_3 = R_5 = R \quad (9)$$

La salida de V_{01} resulta:

$$V_{02} = -V_{01} \quad (10)$$

Para $V_1 = 0$ y $V_{01} = 0$ queda un amplificador no inversor de R_3 sobre el paralelo R_1 y R_5

$$V_{02} = V_2 \left(\frac{R_3 (R_1 + R_5)}{R_1 R_5} + 1 \right) \quad (11)$$

Normalizando los valores de la resistencia obtenemos:

$$R_1 = R_3 = R_5 = R \quad (12)$$

La salida de V_{02} resulta:

$$V_{02} = 3V_2 \quad (13)$$

Para $V_2 = 0$ y $V_{01} = 0$ tenemos una configuración inversora de R_3 sobre R_4

$$V_{02} = -\frac{R_3 V_1}{R_4} \quad (14)$$

Normalizando los valores de la resistencia obtenemos:

$$R_3 = R_4 = R \quad (15)$$

La salida de V_{02} resulta:

$$V_{02} = -V_1 \quad (16)$$

La salida de V_{02} resulta la suma de los tres efectos, se obtiene:

$$V_{02} = 3 V_2 - V_1 - V_{01} \quad (17)$$

Reemplazando (7) en la ecuación anterior, se obtiene la respuesta total del circuito

$$V_{02} = 4 (V_2 - V_1) \quad (18)$$

3.2. Simulación en SPICE

Se realizaron las simulaciones para comprobar la formula (18), se le coloca una tensión en modo común la tensión de salida resulta 0 como se espera.

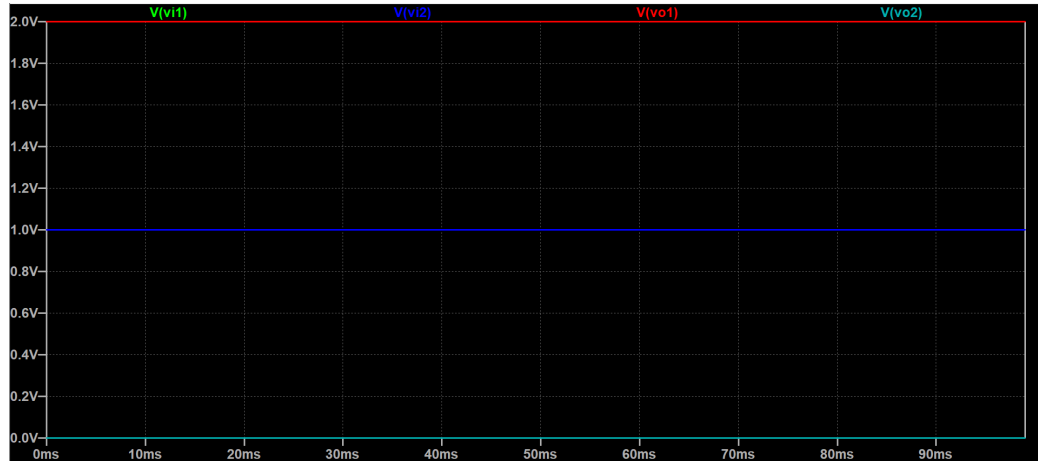


Figura 2: Tensión en modo común $V_{02} = 4(1V - 1V)$

Para tensiones diferentes la salida responde a la ecuación (18) obteniéndose los 2V esperados.

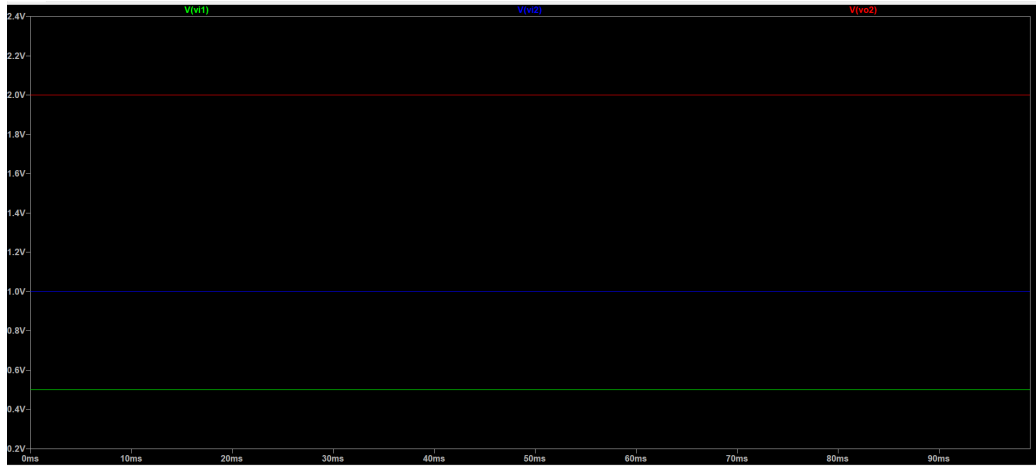


Figura 3: Tensiones diferentes $V_{02} = 4(1V - 0,5V)$

3.3. Armado y mediciones del circuito

Por ultimo se arma el circuito en la protoboard y excita con las mismas señales que se probaron en la simulación para contrastar los resultados.

4. Circuito II: Fuente de corriente controlada por tensión

En esta sección se analiza el siguiente circuito

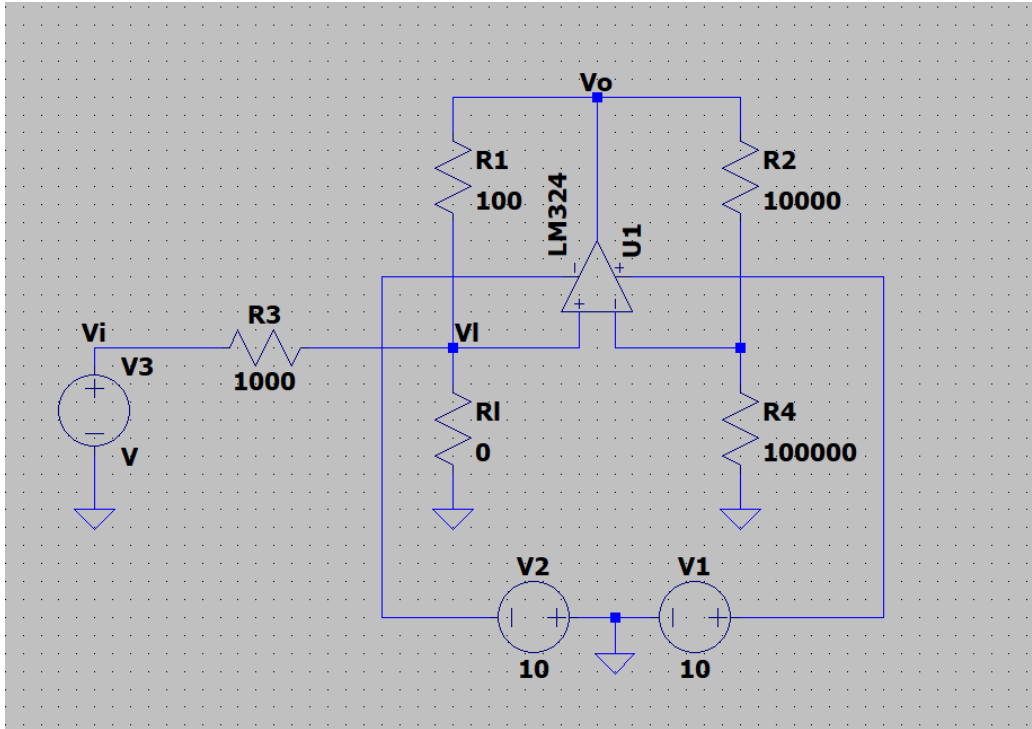


Figura 4: Fuente de corriente controlada por tensión

4.1. Análisis del circuito

Aplicamos ley de Kirchhoff en el nodo inversor tenemos:

$$-\frac{V_{OUT} - V^-}{R_2} = \frac{V_{IN} - V^-}{R_3} \quad (19)$$

Suponiendo el amplificador ideal la tensión diferencial tiende a cero $V^- = 0$ y despejando la tensión de salida

$$V_{OUT} = -\frac{R_2 V_{IN}}{R_3} \quad (20)$$

Obtenemos la corriente de carga con la expresión: $I_{RL} = V_{OUT}/R_2$ y reemplazando en la expresión (20) obtenemos la corriente de carga en función de la tensión de entrada, la cual es independiente de R_2

$$I_{RL} = -\frac{V_{IN}}{R_3} \quad (21)$$

En la siguiente tabla de valores indica las corrientes obtenidas en LTSPICE para distintos valores de tensión de entrada y resistencia de carga:

| | | Vin[V] | | |
|-------|-----|----------|-----------|----------|
| Irl | | 0.5 | 1 | 2 |
| Rl[Ω] | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 1k | 495.9uA | -1.004mA | 1.996mA |
| | 2k | 495.9uA | -1.0039mA | 1.996mA |
| | 5k | 496.08uA | -1.004mA | 1.50mA |
| | 10k | 496.3uA | -814.82uA | 763.61uA |

4.2. Armado y mediciones del circuito

5. Rectificador de precisión

En esta sección se analiza el siguiente circuito

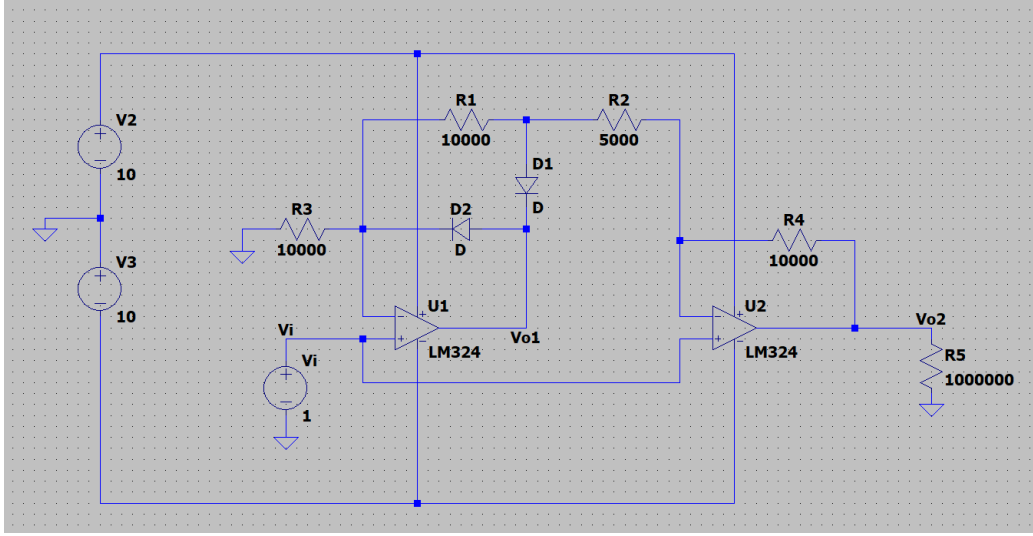


Figura 5: Rectificador de precisión

Hacemos un primer análisis para $V_{IN} > 0$, por lo que el diodo D_1 está polarizado inversamente (circuito abierto) y D_2 en forma directa. La salida en función de la tensión de entrada V_{IN} resulta:

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{5 V_{IN}}{3} \quad (22)$$

La salida en función de la tensión de salida del primer operacional V_{OUT_1} resulta:

$$\frac{V_{OUT}}{V_{OUT_1}} = -\frac{2 V_{OUT_1}}{3} \quad (23)$$

Sumando ambos efectos tenemos la salida total del sistema para la primer condición

$$V_{OUT} = \frac{5 V_{IN}}{3} - \frac{2 V_{OUT_1}}{3} \quad (24)$$

6. Circuito IV: Comparador con histéresis

Ahora, pasaremos a analizar el siguiente circuito:

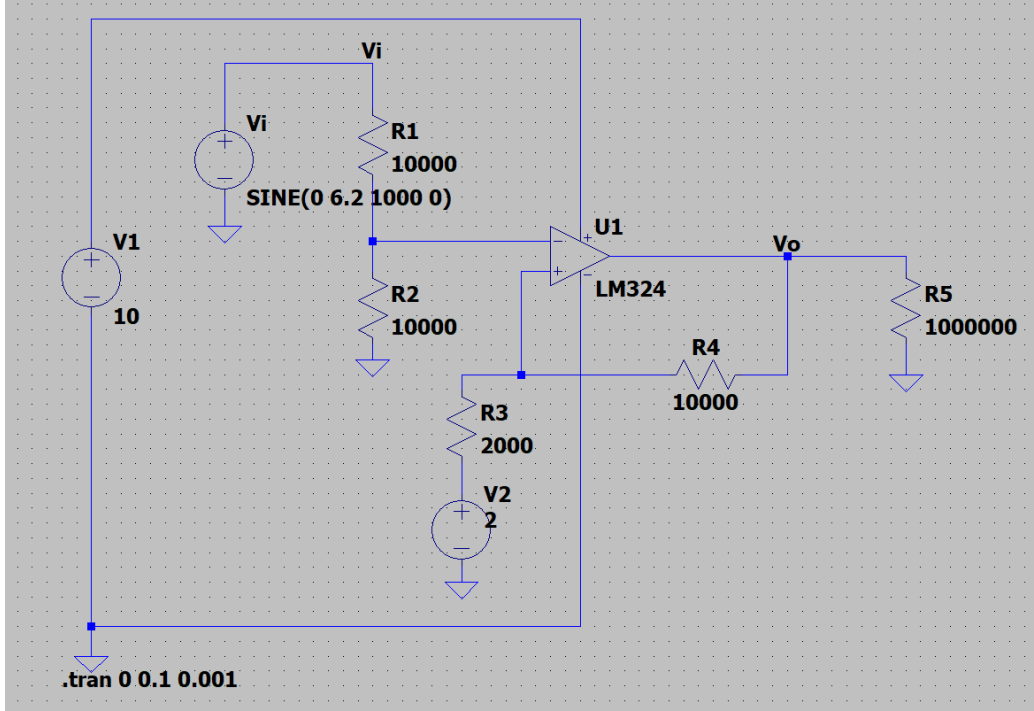


Figura 6: Comparador con histéresis

Hacemos un análisis por superposición, cortamos por voltaje en la salida V_o antes de R_4 , y arrancamos analizando V_o con $V_{in} = 0$ y $V_{ref} = 0$, obteniendo:

$$V_o = \frac{1}{6} A_d V_o' \quad (25)$$

luego hacemos V_o para $V_o' = 0$ y $V_{ref} = 0$, y obtenemos:

$$V_o = -\frac{1}{2} A_d V_{in} \quad (26)$$

por último haremos V_o para $V_{in}' = 0$ y $V_o' = 0$, que nos da:

$$V_o = \frac{5}{6} A_d V_{ref} \quad (27)$$

si hacemos $V'_o = V_o$ y despejando obtenemos:

$$V_o = \frac{A_d \frac{1}{6} (5V_{ref} - 3V_{in})}{1 - \frac{1}{6} A_d} = -(5V_{ref} - 3V_{in}) \quad (28)$$