

# 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 noviembre 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.

### 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:

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

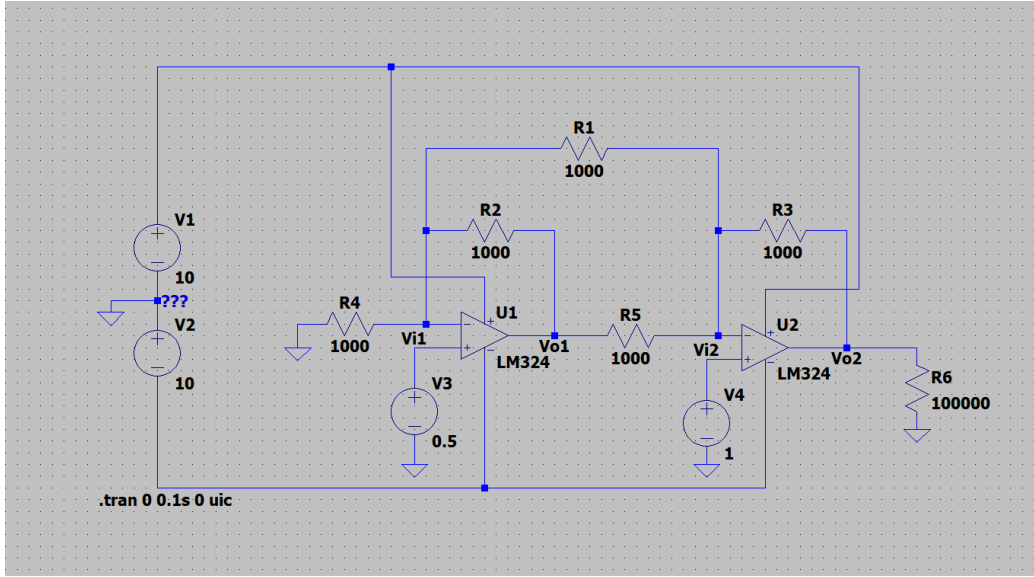


Figura 1: Amplificador diferencial

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:

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

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.

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

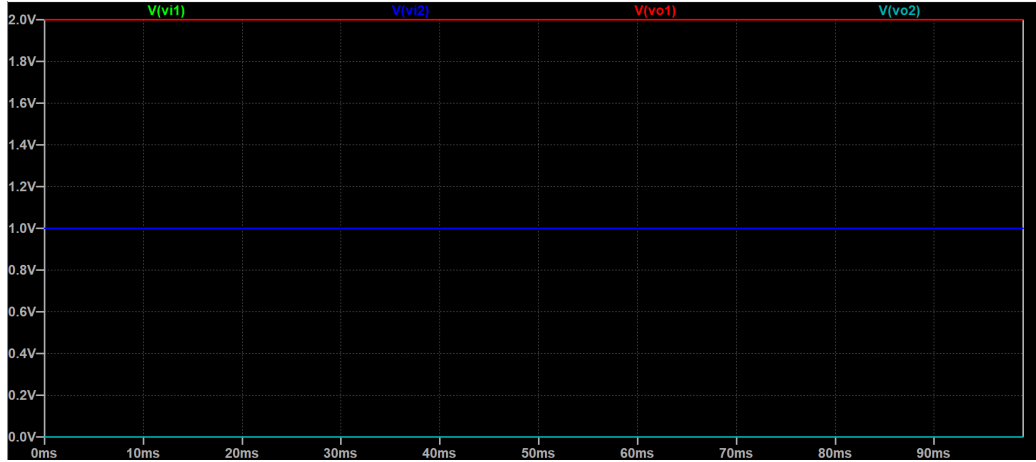


Figura 2: Tensión en modo común  $V_{02} = 4(1V - 1V)$

## 4. Circuito II: Fuente de corriente controlada por tensión

En esta sección se analiza el siguiente circuito (Figura 4), este tipo de circuito, como su nombre indica, es un dispositivo electrónico que suministra una corriente eléctrica a una carga, pero la magnitud de esta corriente es directamente proporcional a una tensión de entrada. En otras palabras, al variar la tensión de entrada ( $V_{in}$ ), variamos la corriente de salida ( $I_L$ ) de manera controlada.

### 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

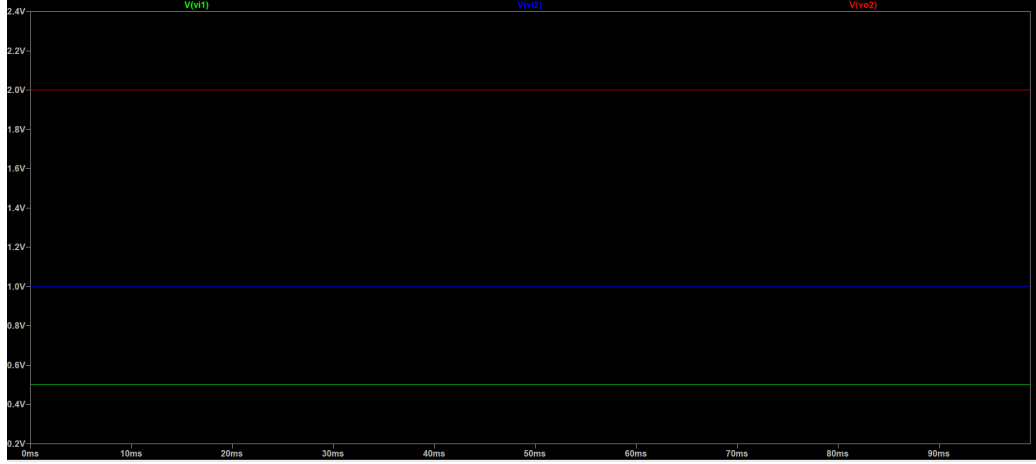


Figura 3: Tensiones diferentes  $V_{02} = 4(1V - 0,5V)$

reemplazando en la expresión (20) obtenemos la corriente de carga en función de la tensión de entrada, la cual es independiente de R2

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

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

		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

las simulaciones podemos ver que cuando el producto de la corriente de referencia por la resistencia supera la tensión de entrada disminuye la corriente de referencia.

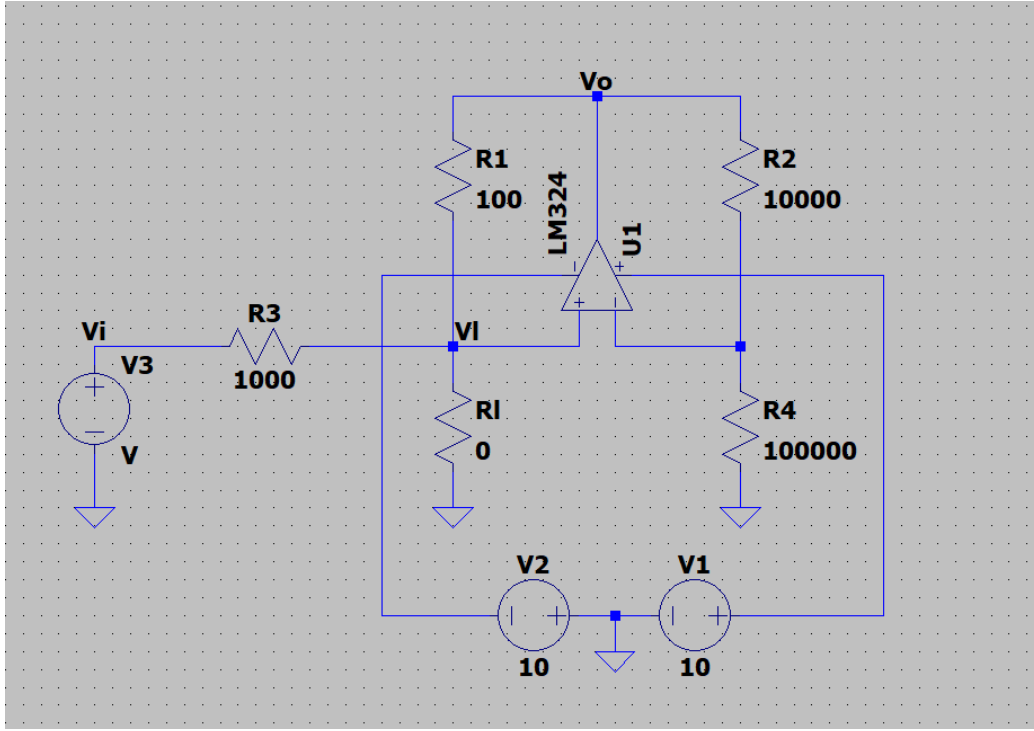


Figura 4: Fuente de corriente controlada por tensión

## 5. Circuito III: Rectificador de precisión

En esta sección se analiza el siguiente circuito: El circuito que has presentado es un rectificador de precisión utilizando amplificadores operacionales. Este tipo de circuitos son muy comunes en electrónica analógica y se utilizan para convertir señales de CA a señales de CC unidireccionales, pero con una precisión mucho mayor que los rectificadores de diodo tradicionales.

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 (circuito cerrado). Obtenemos la expresión  $V_{01} = f(V_{IN})$ . Para este caso  $R_f = 0$ , por lo tanto el primer operacional queda como un seguidor de tensión.

$$V_{01} = V_{IN} \quad (22)$$

Obtenemos la expresión  $V_{02} = f(V_{IN})$ . Para este caso resulta un amplifi-

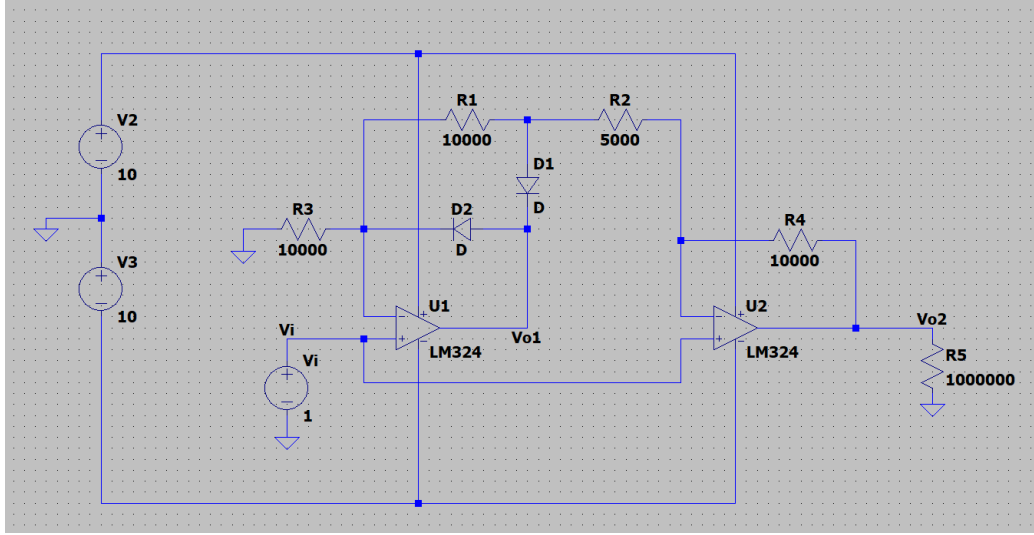


Figura 5: Rectificador de precisión

cador no inversor.

$$V_{02} = V_{IN} \left( \frac{-R4}{R1 + R2} \right) + \left( 1 + \frac{R4}{R2 + R1} \right) V_{IN} = \frac{-2}{3} V_{IN} + \frac{5}{3} V_{IN} = V_{IN} \quad (23)$$

Para un segundo análisis proponemos que la tensión de entrada es  $V_{IN} < 0$  por lo tanto  $D_1$  esta polarizado en directa (circuito cerrado) y  $D_2$  en forma inversa (circuito abierto). Obtenemos la expresión  $V_{01} = f(V_{IN})$ , resulta un amplificador no inversor:

$$V_{01} = \left( 1 + \frac{R1}{R3} \right) V_{IN} = 2V_{IN} \quad (24)$$

Obtenemos la expresión  $V_{02} = f(V_{IN})$ . Para este caso resulta un amplificador no inversor.

$$V_{02} = \left( 1 + \frac{R1}{R3} \right) V_{IN} \frac{-R4}{R2} + \left( 1 + \frac{R4}{R2} \right) V_{IN} = -4V_{IN} + 3V_{IN} = -V_{IN} \quad (25)$$

## 6. Circuito IV: Comparador con histéresis

Ahora, pasaremos a analizar el siguiente circuito: Un comparador con-



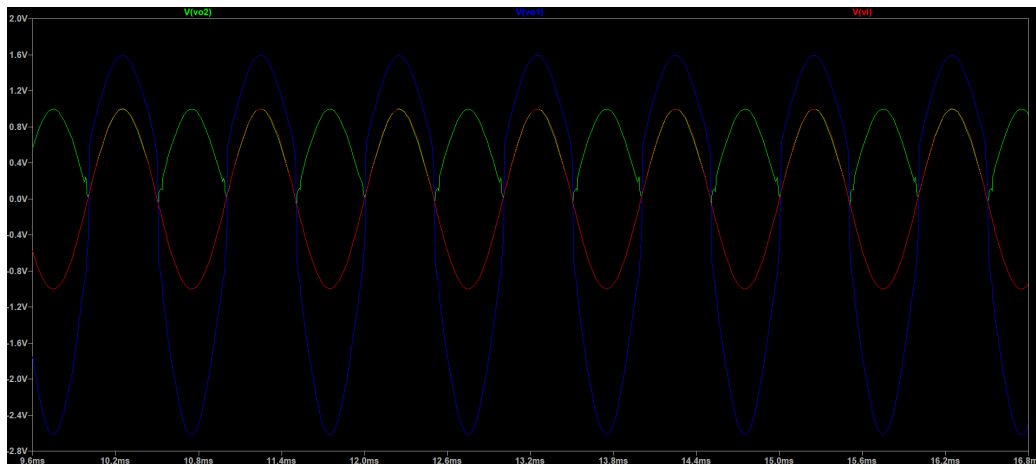


Figura 6: Salida de la onda rectificada

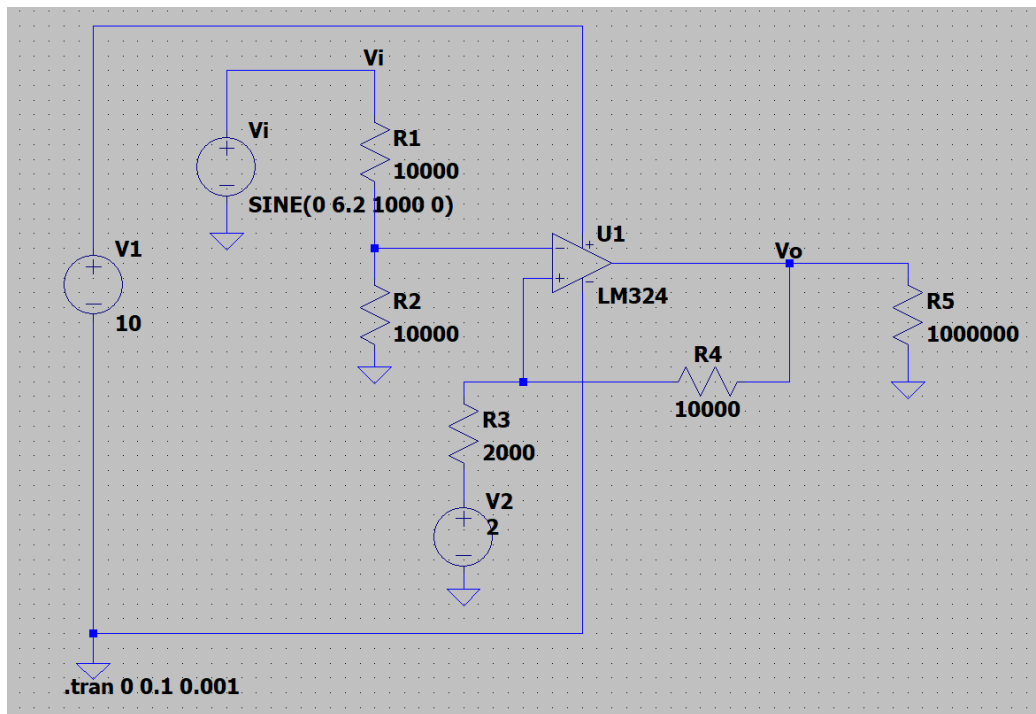


Figura 7: Comparador con histéresis

vencional simplemente compara dos voltajes de entrada y produce una salida

alta o baja dependiendo de cuál sea mayor. Sin embargo, un comparador con histéresis introduce una especie de memoria en el circuito. Esto significa que una vez que la salida cambia de estado, se requiere un cambio más grande en la señal de entrada para que vuelva a cambiar. Esta característica es útil en muchas aplicaciones, como la detección de niveles, control de motores y circuitos de disparo.

Analizamos por blackman y por superposición, cortamos por voltaje en la salida  $V_{OUT}$  antes de  $R4$ , y arrancamos analizando  $V_{OUT}$  con  $V_{IN} = 0$  y  $V_{REF} = 0$ , obteniendo:

$$V_o = \frac{1}{6}A_dV'_{OUT} \quad (26)$$

Luego hacemos  $V_{OUT}$  para  $V'_{OUT} = 0$  y  $V_{REF} = 0$ , y obtenemos:

$$V_{OUT} = -\frac{1}{2}A_dV_{IN} \quad (27)$$

Por ultimo haremos  $V_{OUT}$  para  $V'_{IN} = 0$  y  $V'_{OUT} = 0$ , que nos da:

$$V_{OUT} = \frac{5}{6}A_dV_{REF} \quad (28)$$

Si hacemos  $V'_{OUT} = V_{OUT}$  y despejando obtenemos:

$$V_{OUT} = \frac{A_d\frac{1}{6}(5V_{REF} - 3V_{IN})}{1 - \frac{1}{6}A_d} = -(5V_{REF} - 3V_{IN}) \quad (29)$$

En un amplificador operacional real, la impedancia de entrada es muy alta pero finita. En este circuito, la mayor parte de la corriente de entrada fluirá a través de  $R1$  y  $R2$ . Por lo tanto, podemos aproximar la impedancia de entrada como la resistencia en paralelo de  $R1$  y  $R2$ .

$$Z_{IN} = R1//R2 = 5[Kohm] \quad (30)$$

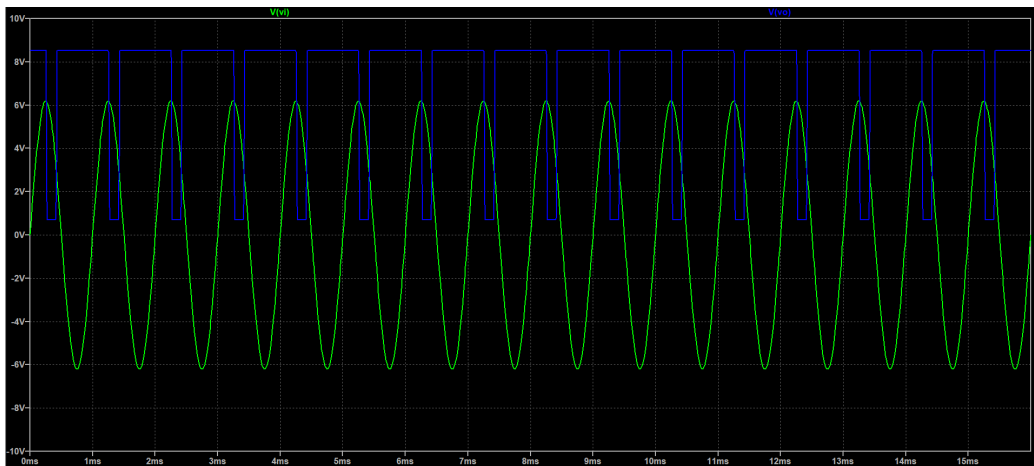


Figura 8: Salida del circuito