



## **Síntesis de Redes Activas**

### **Trabajo Práctico 1**

**“AO Ideal: Circuitos Analógicos Lineales y  
No Lineales”**

***PROFESORES:***

Dr. Ing. Ferreyra Pablo.

Ing. Reale Cesar.

***ALUMNOS:***

Dalla Fontana Facundo.

Gonzalez Bruno.

Lafay Justin.

Antonin, Kulyk.

<b>Circuito 1: Amplificador Diferencial.....</b>	<b>3</b>
● Análisis Teórico.....	3
➤ $V_o = f(V_1)$ .....	3
➤ $V_o = f(V_2)$ .....	4
➤ $V_o = f(V_1, V_2)$ .....	4
➤ $V_o = f(V_D)$ .....	5
➤ $V_{o2} = f(V_C)$ .....	5
➤ $Z_{i1}$ y $Z_{i2}$ .....	6
● Diagrama esquemático.....	6
● Diagrama esquemático en simulación.....	7
● Reporte de Ganancias.....	8
→ Ganancias individuales:.....	8
$V_{o1} = f(V_1) = 3 \cdot V_1$ .....	8
$V_{o1} = f(V_2) = -V_2$ .....	8
$V_{o2} = f(V_1) = 4 \cdot V_1$ .....	9
$V_{o2} = f(V_2) = 4 \cdot V_2$ .....	9
→ Ganancias de modo común:.....	9
$V_{o1} = f(V_C) = 2 \cdot V_C$ .....	9
$V_{o2} = f(V_C) = 0,0043 \cdot V_C$ con desfase de $90^\circ$ .....	10
→ Ganancias de modo diferencial: ( $V_D = V_1 - V_2$ ).....	10
$V_{o1} = f(V_D) = 4 \cdot V_D$ .....	10
$V_{o2} = f(V_D) = 4 \cdot V_D$ .....	10
● Mediciones.....	11
$V_{o1} = f(V_1)$ .....	11
$V_{o1} = f(V_2)$ .....	11
$V_{o2} = f(V_1)$ .....	11
$V_{o2} = f(V_2)$ .....	12
$V_{o2} = f(V_D)$ .....	12
$V_{o2} = f(V_C)$ .....	12
<b>Circuito 2: Fuente de Corriente Controlada Por Tensión.....</b>	<b>13</b>
● Análisis Teórico.....	13
$V_{out} = f(V_{in}, R_L)$ .....	13
$I_{RL} = f(V_{in})$ .....	13
$R_L, M_{ax}$ .....	14
● Diagrama esquemático.....	15
● Diagrama esquemático en simulación.....	15
● Reporte de $I_{RL} = f(V_{in})$ en simulación.....	16
<b>Circuito 3: Rectificador de Precisión.....</b>	<b>18</b>
● Análisis teórico:.....	18
➤ $V_o = f(V_{in})$ para $V_{in} > 0V$ .....	18
➤ $V_o = f(V_{in})$ para $V_{in} < 0V$ .....	18
● Diagrama esquemático.....	20
● Diagrama esquemático en simulación.....	20
● Simulación Transient.....	21

● DC Sweep.....	21
● Mediciones.....	22
Vo1.....	22
Vo2.....	22
Vo=f(Vin).....	22
Vo2 con Vin>4.5V.....	23
<b>Circuito 4: Comparador con Histéresis.....</b>	<b>24</b>
● Análisis teórico:.....	24
➤ Umbral de conmutación cuando Vo=V+=10V.....	24
➤ Umbral de conmutación cuando Vo=V+=0V.....	24
● Diagrama esquemático.....	25
● Simulación Transient.....	25
● Mediciones.....	26

# Círculo 1: Amplificador Diferencial

- Análisis Teórico

$$\gg V_o = f(V_1)$$

Para determinar la tensión de salida en función de la tensión de entrada V1 pasivamos la tensión de entrada V2:

$$V_1 \neq 0 ; V_2 = 0$$

Planteamos la ecuación de corrientes en el nodo '2' de la figura, llamando Vx a la tensión de salida del amplificador U1A (en el nodo '1'):

$$-\frac{V_1}{R_4} + V_x - \frac{V_1}{R_2} - \frac{V_1}{R_1} = 0$$

Si  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R$

$$\begin{aligned} -V_1 + V_x - V_1 - V_1 &= 0 \\ V_x &= 3V_1 = V_{o1} \end{aligned}$$

$$V_{o1} = 3V_1$$

Por otro lado, se tiene la siguiente ecuación de corrientes en el nodo '6':

$$\begin{aligned} \frac{V_o}{R_3} + \frac{V_x}{R_5} + \frac{V_1}{R_1} &= 0 \\ V_o + V_x + V_1 &= 0 \end{aligned}$$

Reemplazando Vx:

$$V_o + 3V_1 + V_1 = 0$$

$$V_{o2} = -4V$$

$$\gg V_o = f(V_2)$$

Para determinar la tensión de salida  $V_o$  en función de la tensión de entrada  $V_2$  pasivamos la tensión de entrada  $V_1$ :

$$V_1 = 0 ; V_2 \neq 0$$

La ecuación de corrientes en el nodo '2' de la figura, llamando  $V_x$  a la tensión de salida del amplificador U1A (en el nodo '1') resulta:

$$\frac{V_x}{R_2} + \frac{V_2}{R_1} = 0$$

Si  $R1 = R2 = R3 = R4 = R5 = R$

$$\begin{aligned} V_x + V_2 &= 0 \\ V_x &= -V_2 = V_{o1} \end{aligned}$$

$$V_{o1} = -V_2$$

Por otro lado, se tiene la siguiente ecuación de corrientes en el nodo '6':

$$\begin{aligned} \frac{V_o - V_2}{R_3} + \frac{V_x - V_2}{R_5} - \frac{V_2}{R_1} &= 0 \\ V_o - V_2 - V_2 + V_x + V_2 &= 0 \end{aligned}$$

Reemplazando  $V_x$ :

$$V_o - 3V_2 - V_2 = 0$$

$$V_{o2} = 4V_2$$

$$\gg V_o = f(V_1, V_2)$$

Por superposición:

$$V_{o1} = 3V_1 - V_2$$

$$V_{o2} = 4(V_2 - V_1)$$

$$\gg V_o = f(V_D)$$

$$V_D = V_2 - V_1; \quad V_1 = -\frac{V_D}{2}; \quad V_2 = \frac{V_D}{2}$$

$$\begin{aligned} V_{o1} &= 3V_1 - V_2 \\ V_{o1} &= 3\left(-\frac{V_D}{2}\right) - \frac{V_D}{2} \\ \boxed{V_{o1}} &= -2V_D \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{o2} &= 4(V_2 - V_1) \\ V_{o2} &= 4\left(\frac{V_D}{2} - \left(-\frac{V_D}{2}\right)\right) \\ \boxed{V_{o2}} &= 4V_D \end{aligned}$$

$$\gg V_{o2} = f(V_C)$$

$$V_C = \frac{V_1 + V_2}{2}; \quad V_1 = V_C; \quad V_2 = V_C$$

Por superposición:

$$\begin{aligned} V_{o1} &= 3V_1 - V_2 \\ V_{o1} &= 3V_C - V_C \end{aligned}$$

$$\boxed{V_{o1} = 2V_C}$$

$$\begin{aligned} V_{o2} &= 4(V_2 - V_1) \\ V_{o2} &= 4(V_C - V_C) \end{aligned}$$

$$V_{o2} = 0$$

$$> Z_{i1} \text{ y } Z_{i2}$$

Las impedancias vistas por las fuentes de señal V1 y V2 son las impedancias de entrada de ambos amplificadores.

Estamos analizando el caso de un amplificador ideal, por lo tanto:

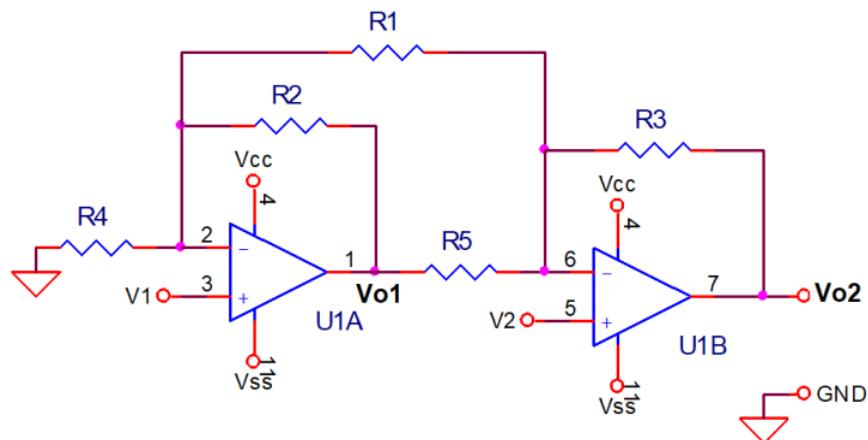
$$Z_{i1} = Z_{i2} = \infty$$

- *Diagrama esquemático*

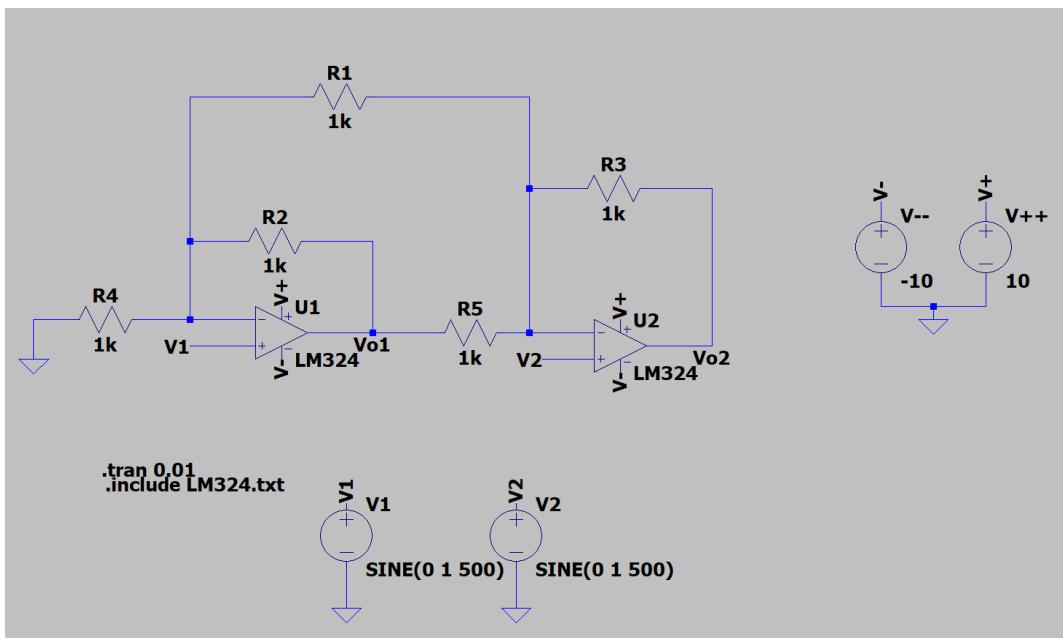
Datos: Amplificador Operacional LM324

Vcc = 10V Vss = -10V

R1 = R2 = R3 = R4 = R5 = R



- *Diagrama esquemático en simulación*

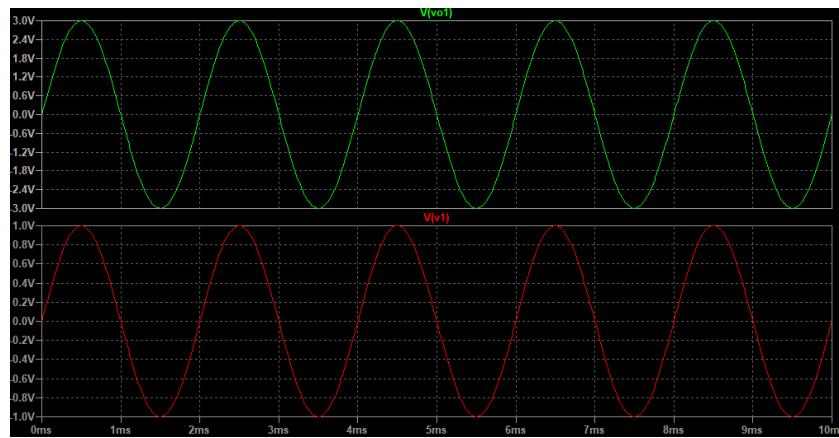


- *Reporte de Ganancias*

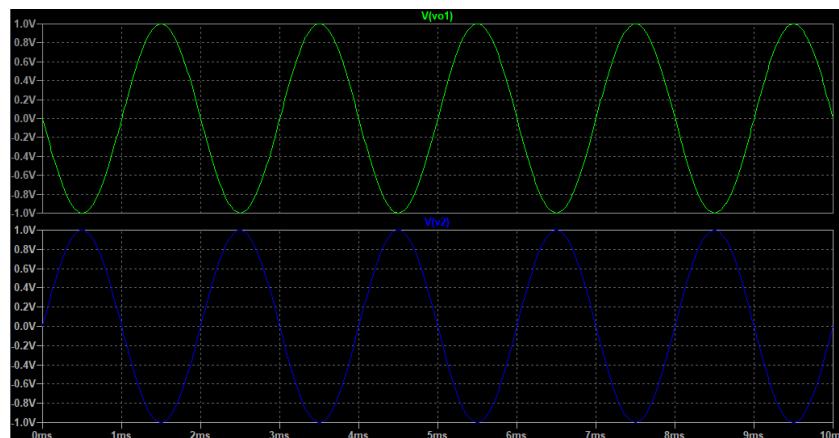
Se presenta la expresión analítica y el análisis transient de las salidas en función de las entradas.

→ Ganancias individuales:

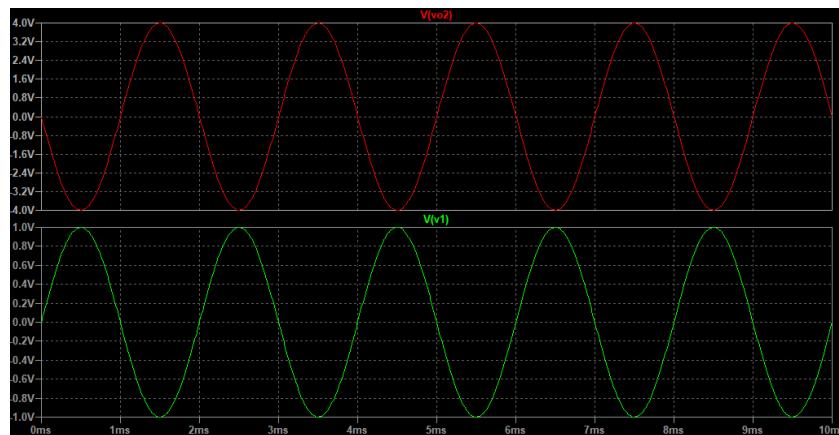
$$V_{o1} = f(V_1) = 3 \cdot V_1$$



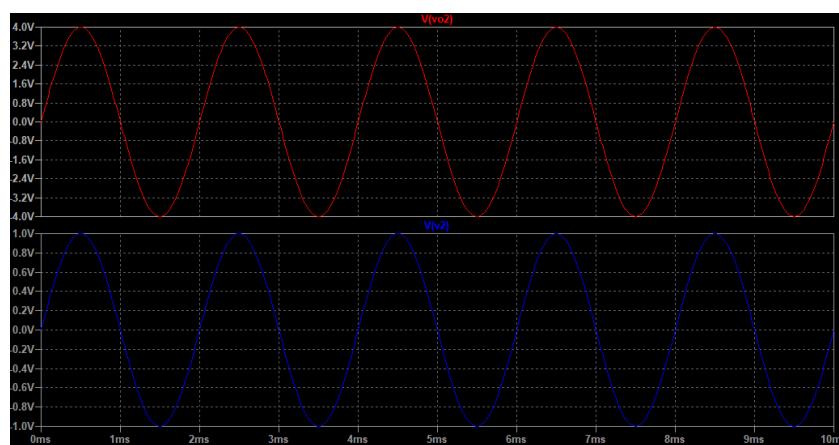
$$V_{o1} = f(V_2) = -V_2$$



$$V_{o2} = f(V_1) = 4 \cdot V_1$$

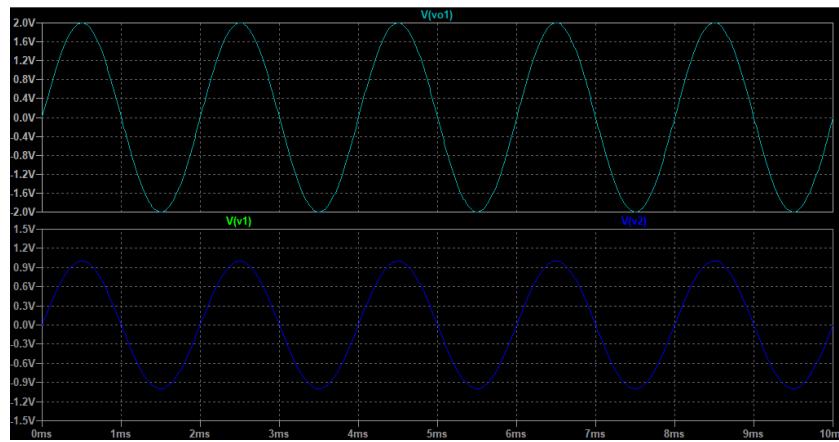


$$V_{o2} = f(V_2) = 4 \cdot V_2$$

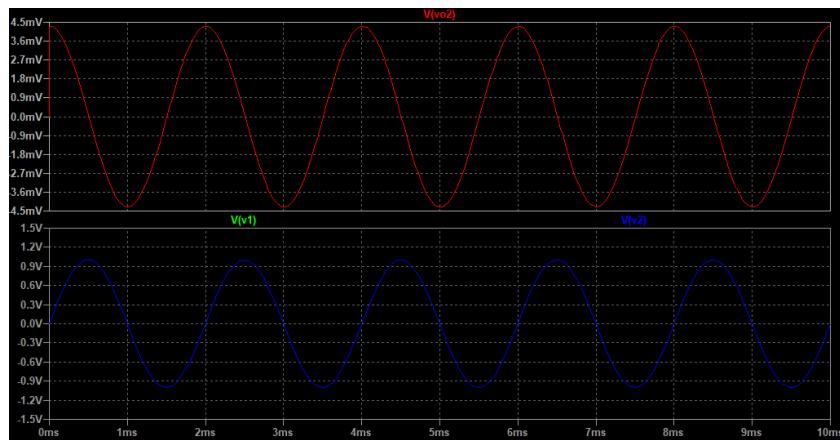


→ Ganancias de modo común:

$$V_{o1} = f(V_C) = 2 \cdot V_C$$

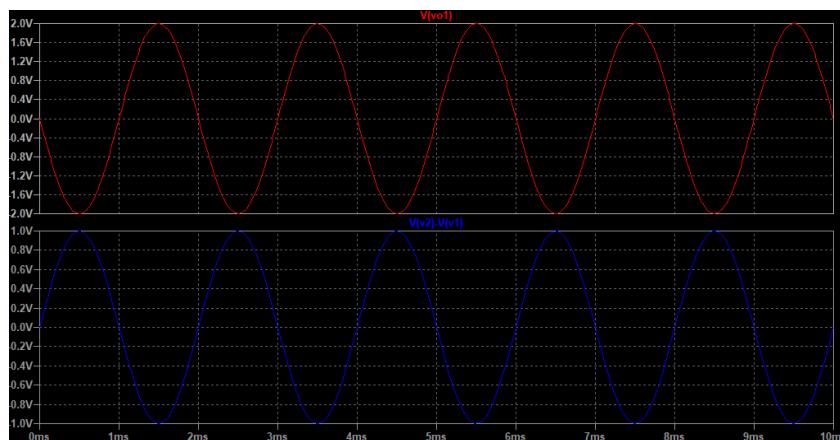


$$V_{o2} = f(V_C) = 0,0043 \cdot V_C \text{ con desfase de } 90^\circ$$

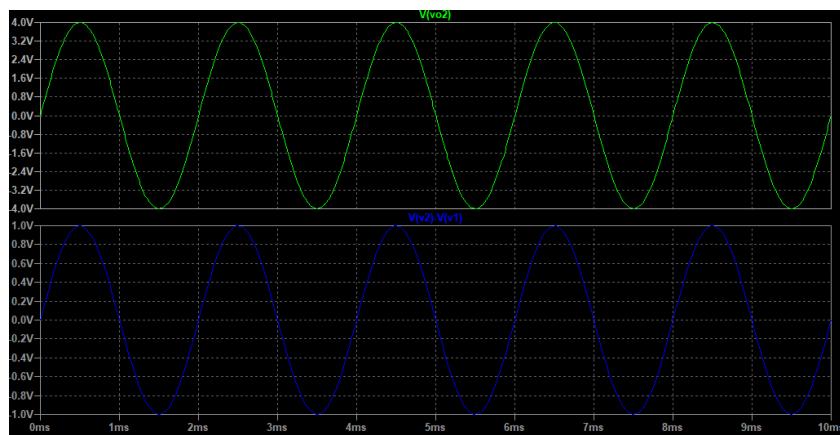


→ Ganancias de modo diferencial:  $(V_D = V_1 - V_2)$

$$V_{o1} = f(V_D) = 4 \cdot V_D$$

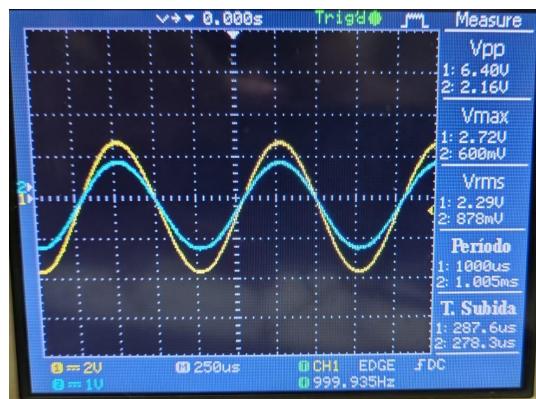


$$V_{o2} = f(V_D) = 4 \cdot V_D$$



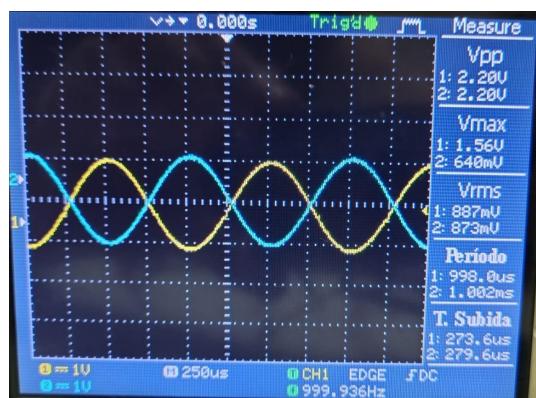
- *Mediciones*

$$V_{o1} = f(V_1)$$



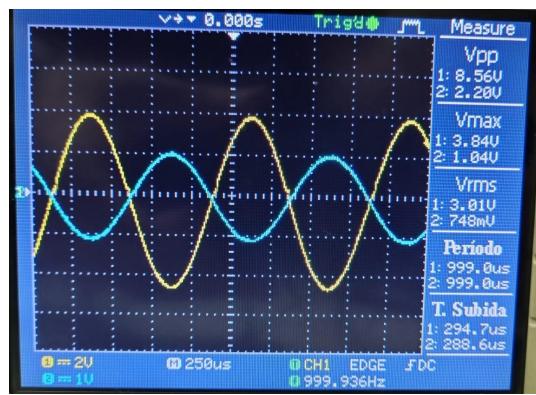
$$Av=2.96 \text{ V/V}$$

$$V_{o1} = f(V_2)$$



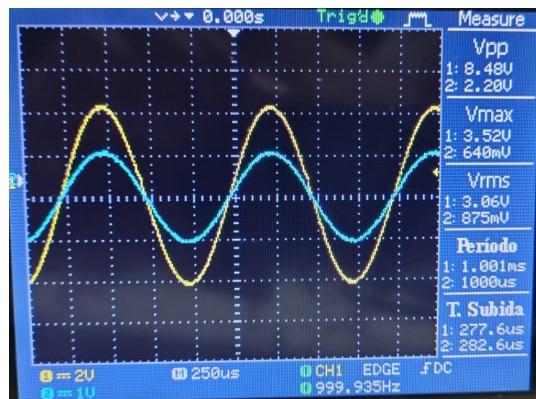
$$Av=-1 \text{ V/V}$$

$$V_{o2} = f(V_1)$$



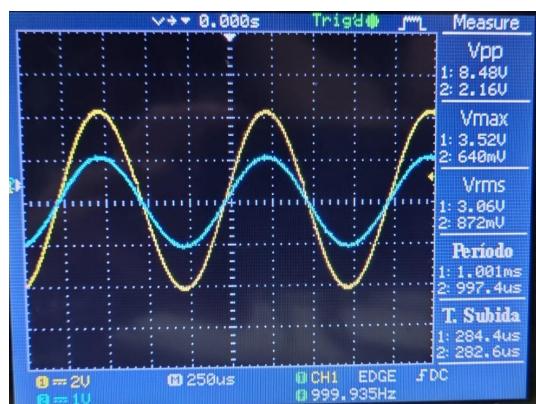
$$Av=3.93 \text{ V/V}$$

$$V_{o2} = f(V_2)$$



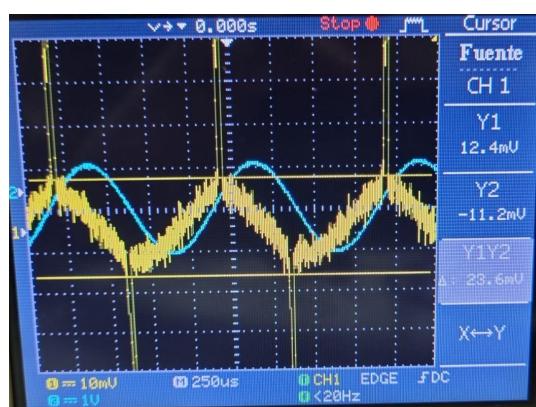
$$Av=3.85 \text{ V/V}$$

$$V_{o2} = f(V_D)$$



$$Av=3.92 \text{ V/V}$$

$$V_{o2} = f(V_C)$$



$$Av=0.0118 \text{ V/V}$$

## Círculo 2: Fuente de Corriente Controlada Por Tensión

- Análisis Teórico

$$V_{out} = f(V_{in}, R_L)$$

Inicialmente expresamos v+ y v- en función de Vo planteando el divisor resistivo en el nodo '2' de la figura:

$$v^+ = v^- = V_o \frac{R_4}{R_4 + R_2}$$

Se plantea la ecuación de corrientes en el nodo '3' de la figura:

$$\begin{aligned} \frac{V_{in} - v^+}{R_3} + \frac{V_o - v^+}{R_1} &= \frac{v^+}{R_L} \\ \frac{V_{in}}{R_3} + \frac{V_o}{R_1} &= v^+ \left( \frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} \right) \end{aligned}$$

Reemplazando v+:

$$\begin{aligned} \frac{V_{in}}{R_3} + \frac{V_o}{R_1} &= V_o \frac{R_4}{R_4 + R_2} \left( \frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} \right) \\ V_{in} &= V_o \left[ \frac{1}{R_L} \left( \frac{R_3 R_4}{R_4 + R_2} \right) + \left( \frac{R_3 R_4}{R_4 + R_2} \right) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} \right) - \frac{R_3}{R_1} \right] \end{aligned}$$

Reemplazando los valores de R1, R2, R3 y R4.

$$V_{in} = V_o \frac{1}{R_L} \left( \frac{R_3 R_4}{R_4 + R_2} \right). \text{ Se cancelan los últimos 2 términos}$$

$$V_o = \frac{V_{in}}{\frac{1}{R_L} \left( \frac{R_3 R_4}{R_4 + R_2} \right)} = V_{in} R_L \times 1,1 \times 10^{-3}$$

$$I_{RL} = f(V_{in})$$

Ahora, vamos a expresar la corriente que fluye a través de la carga en función del valor de la carga resistiva y de la tensión de entrada :

$$\begin{aligned} I_{RL} &= \frac{v^+}{R_L} \\ I_{RL} &= V_o \frac{R_4}{R_4 + R_2} \frac{1}{R_L} \end{aligned}$$

$$I_{RL} = \frac{V_{in}}{\frac{1}{R_L} \left( \frac{R_3 R_4}{R_4 + R_2} \right)} \cdot \frac{R_4}{R_4 + R_2} \cdot \frac{1}{R_L}$$

$$I_{RL} = \frac{V_{in}}{R_3}$$

$R_{L,Máx}$

Para terminar, podemos encontrar la relación entre el valor máximo de la carga que podemos conectar al circuito y la tensión de entrada. Para determinar la RL máxima, debemos considerar el caso en el cual Vo sea igual a Vcc (10V):

$$10[V] = V_{in} R_{L,MAX} \times 1,1 \times 10^{-3}$$

$$R_{L,MAX} = \frac{10[V]}{V_{in} \times 1,1 \times 10^{-3}}$$

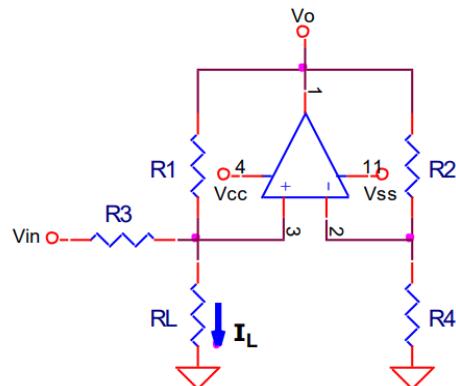
$$R_{L,MAX} = \frac{9090,9}{V_{in}}$$

- *Diagrama esquemático*

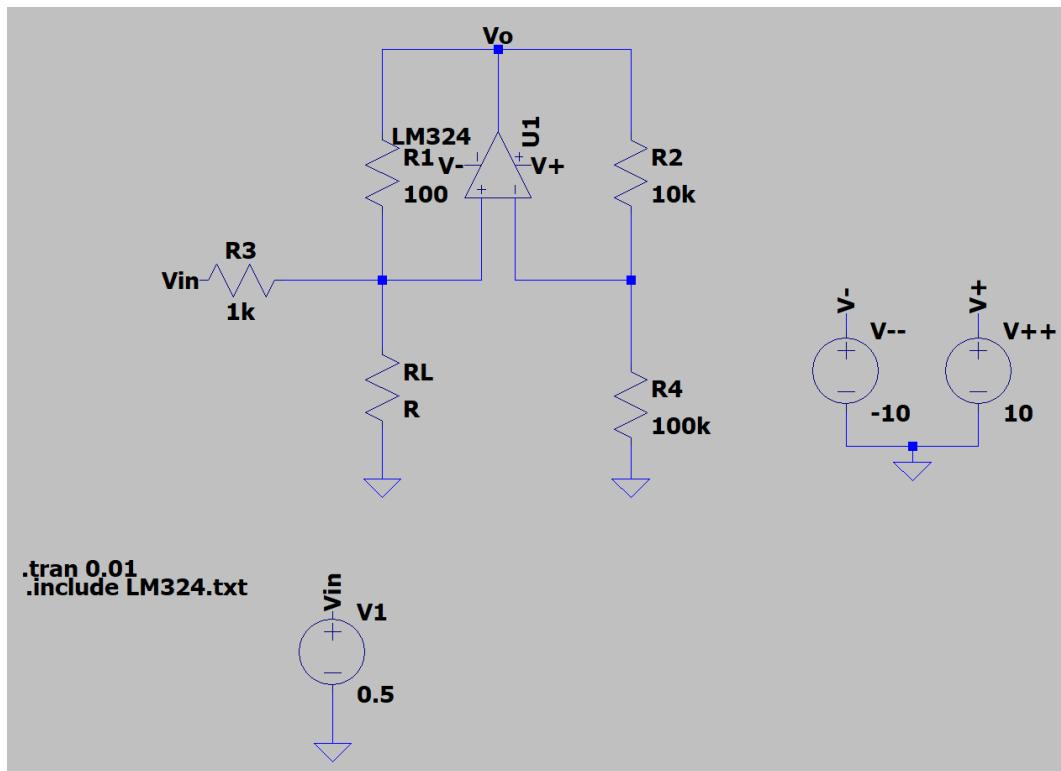
Datos: Amplificador Operacional LM324

$V_{cc} = 10V$  y  $V_{ss} = -10V$

$R_1 = 100\Omega$ ;  $R_2 = 10K\Omega$ ;  $R_3 = 1K\Omega$  y  $R_4 = 100K\Omega$



- *Diagrama esquemático en simulación*



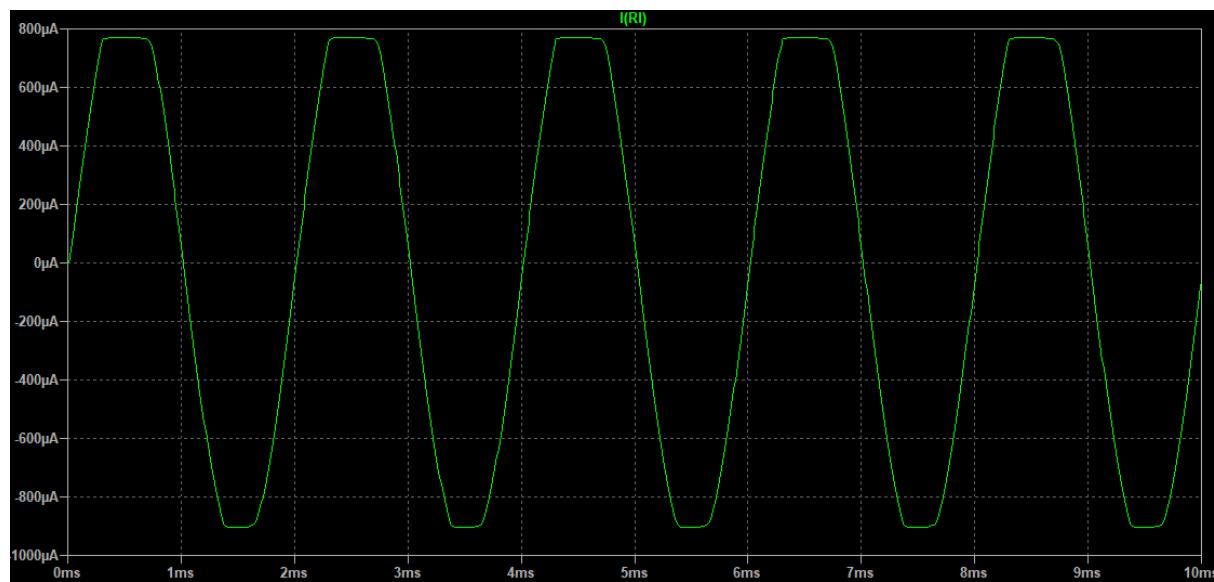
- Reporte de  $I_{RL} = f(V_{in})$  en simulación

IRL(mA)		Vin[V]		
		0,5	1	2
RL(ohm)	$\approx 0$	0,496	0,996	1,995
	1K	0,497	0,996	1,9956
	2K	0,496	0,9948	1,9911
	5K	0,4949	0,9928	1,55
	10K	0,492	0,7715	0,783

Vin=2V; RL=5K



$V_{in}=1V$ ;  $RL=10K$



## Círculo 3: Rectificador de Precisión

- Análisis teórico:

Para determinar la tensión de salida  $V_o$  en función de la tensión de entrada  $V_{in}$ , se considerarán dos casos: cuando la tensión de entrada es positiva, y cuando la tensión de entrada es negativa.

$$\geq V_o = f(V_{in}) \text{ para } V_{in} > 0V$$

En estas condiciones, el diodo D2 conduce, mientras que el diodo D1 no, ya que el amplificador U1A se encuentra operando en modo no inversor.

Inicialmente se analizará el caso en que la tensión de entrada del amplificador U1B se encuentra pasivada, entonces la ecuación de corrientes en el nodo '6' resulta:

$$\begin{aligned}\frac{V_o}{R_4} &= -\frac{V_{in}}{R_1+R_2} \\ V_o &= -\frac{2}{3}V_{in}\end{aligned}$$

Si ahora se pasa la tensión de entrada del amplificador U1A, se plantea el divisor de tensión en el nodo '6':

$$\begin{aligned}V_{in} &= V_o \frac{R_1+R_2}{R_1+R_2+R_4} \\ V_o &= \frac{5}{3}V_{in}\end{aligned}$$

Si no se tiene ninguna tensión pasivada, aplicando superposición:

$$V_o = V_{in} \frac{5}{3} - V_{in} \frac{2}{3}$$

$$V_o = V_{in}$$

$$\geq V_o = f(V_{in}) \text{ para } V_{in} < 0V$$

En estas nuevas condiciones, el diodo D1 conduce, mientras que el diodo D2 no. Se considerará inicialmente que la tensión a la salida del amplificador U1A se encuentra pasivada. Se plantea el divisor de tensión en el nodo '6':

$$V_{in} = V_o \frac{R_2}{R_2 + R_4}$$

$$V_o = 3V_{in}$$

Si ahora se considera que la tensión de entrada del amplificador U1B está pasivada, la ecuación de corrientes del nodo '6', tomando VoB como la tensión de salida del amplificador U1B, resulta:

$$\frac{V_{oB}}{R_2} = -\frac{V_o}{R_4}$$

$$V_o = -2V_{oB}$$

Por otro lado, la tensión de salida VoB se obtiene planteando el divisor de tensión del amplificador U1B:

$$V_{in} = V_{oB} \frac{R_3}{R_1 + R_3}$$

$$V_{in} = \frac{V_{oB}}{2}$$

Reemplazando:

$$V_o = -4V_{in}$$

Si no se tiene ninguna tensión pasivada, aplicando superposición:

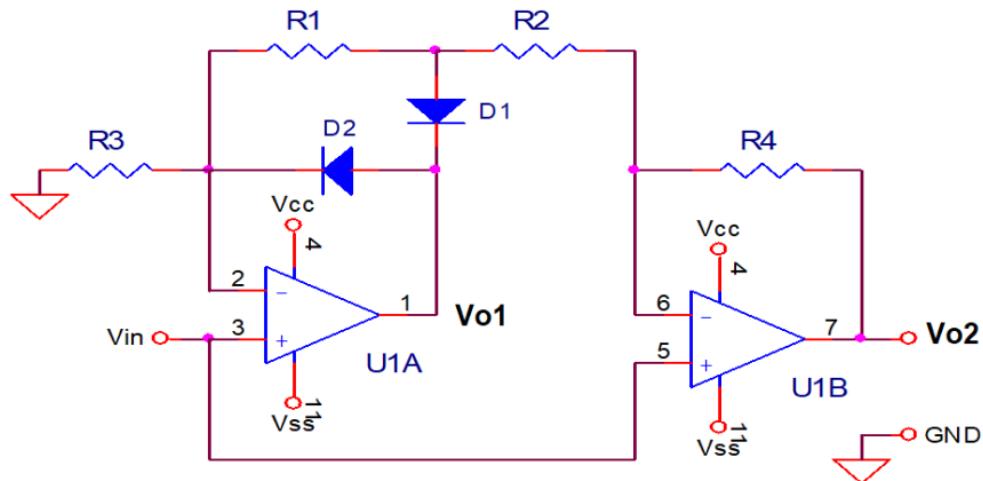
$$V_o = 3V_{in} - 4V_{in}$$

$$V_o = -V_{in}$$

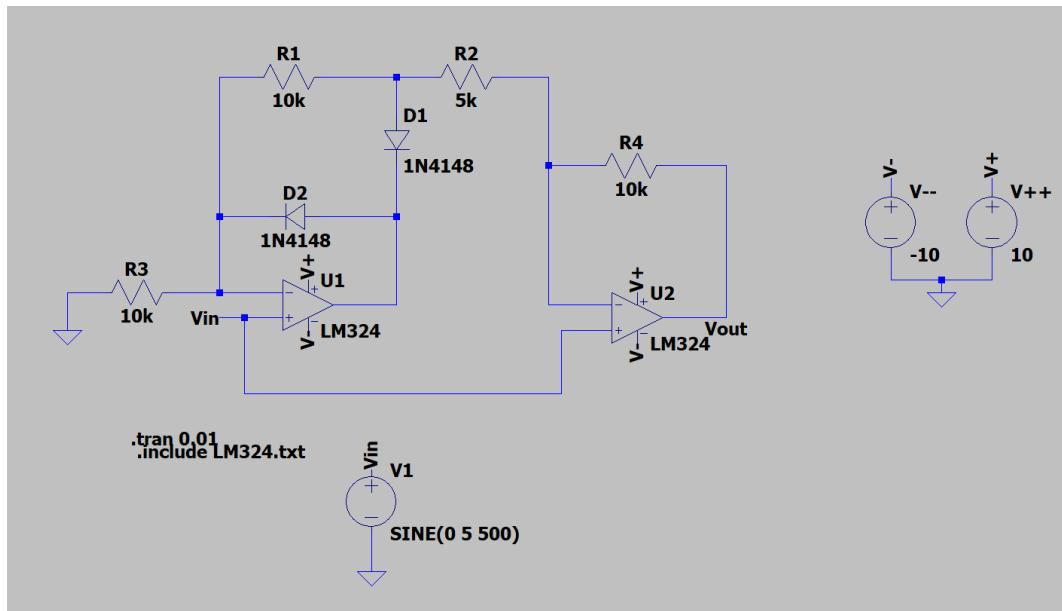
En resumen, cuando la tensión de entrada es positiva, la tensión de salida es igual a la tensión de entrada, mientras que cuando la tensión de entrada es negativa, la tensión de salida será positiva y de igual amplitud a la de entrada.

- *Diagrama esquemático*

Datos: Amplificador Operacional LM324  
 $V_{cc} = 10V$   $V_{ss} = -10V$   
 $D1 = D2 = 1N4148$   
 $R1 = R3 = R4 = 10K\Omega$  1% y  $R2 = 5K\Omega$  1%

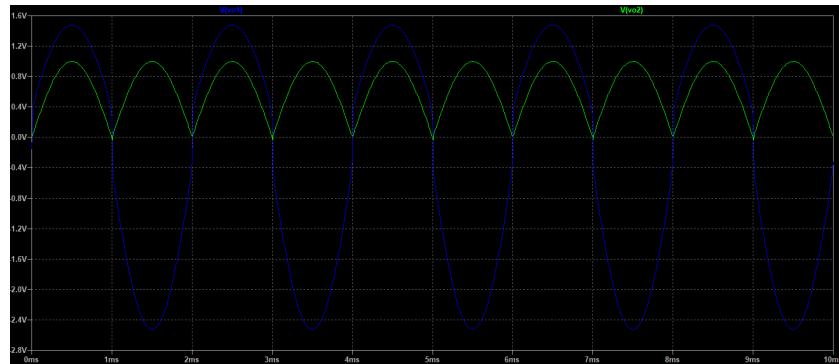


- *Diagrama esquemático en simulación*



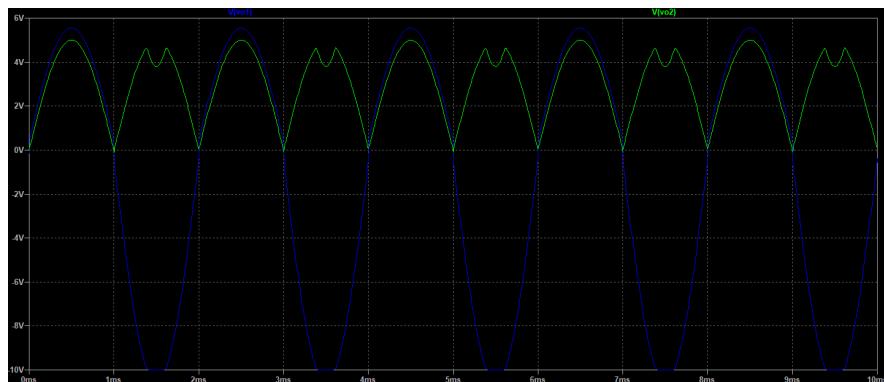
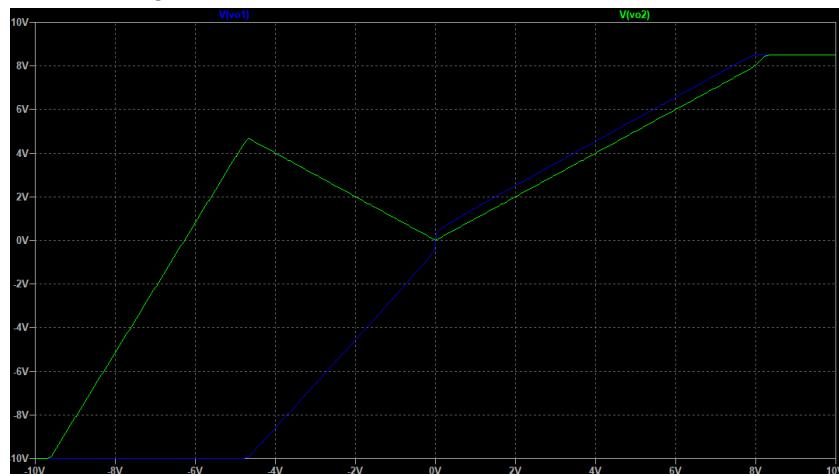
- *Simulación Transient*

$$V_{o1} = V_{outU1}; V_{o2} = V_{outU2}; \hat{V}_{in} = 1V$$



- *DC Sweep*

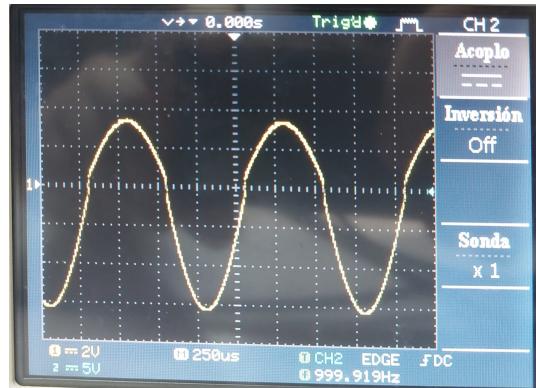
Se observa el rango de funcionamiento del rectificador para la tensión de entrada.



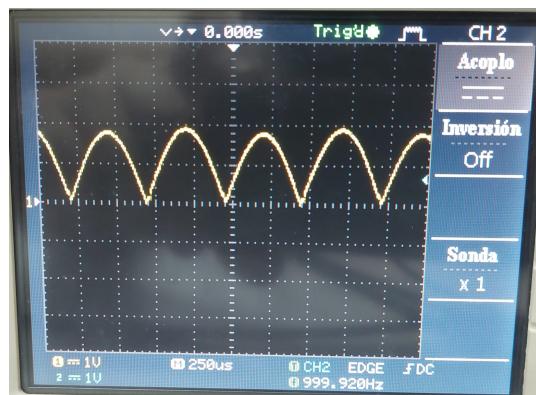
“Vo1(Vin=5v) y Vo2(Vin=5v)”

- *Mediciones*

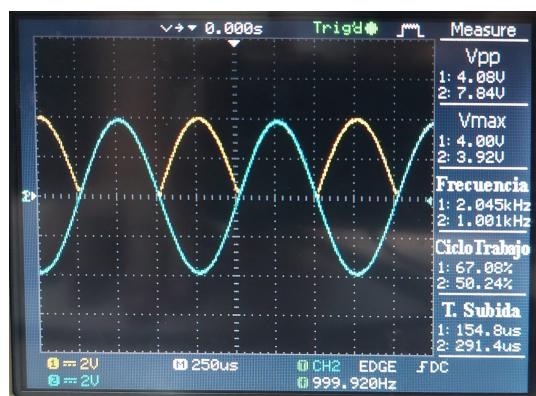
$V_{o1}$



$V_{o2}$



$$V_o = f(V_{in})$$



$$V_{o2} \text{ con } V_{in} > 4.5V$$



## Círculo 4: Comparador con Histéresis

- Análisis teórico:

➤ Umbral de conmutación cuando  $V_o = V \approx 10V$

$$U^+ = (V_o - V_{ref}) \times \frac{R_3}{R_3 + R_4} + V_{ref} = (10V - 2V) \times \frac{2K}{2K+10K} + 2V = 3,33V$$

$$U^+ = (10V - 2V) \times \frac{2K\Omega}{2K\Omega+10K\Omega} + 2V$$

$$U^+ = 3,33V$$

➤ Umbral de conmutación cuando  $V_o = V \approx 0V$

$$U^- = V_{ref} \times \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

$$U^- = 2V \times \frac{10K\Omega}{2K\Omega+10K\Omega}$$

$$U^- = 1,66V$$

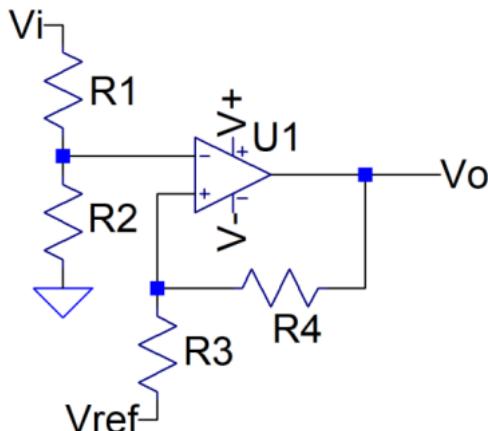
- *Diagrama esquemático*

Datos: Amplificador Operacional LM324

$V_+ = 10V$   $V_- = 0V$

$R_1 = R_2 = R_4 = 10K\Omega$  y  $R_3 = 2K\Omega$

$V_{ref}=2V$



- Análisis teórico (para salida saturación de salida en 8,5V)

→ Tensión de salida:

$$V_{OH} = 0.85 \cdot V_{cc} = 8.5V$$

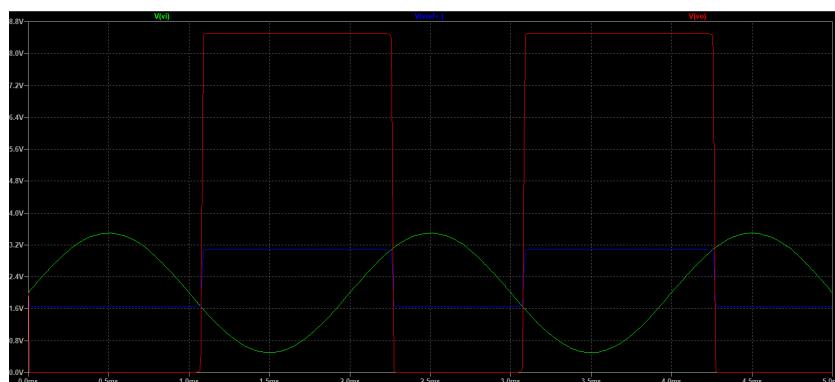
$$V_{OL} = V_{ee} = 0V$$

→ Tensiones umbrales:

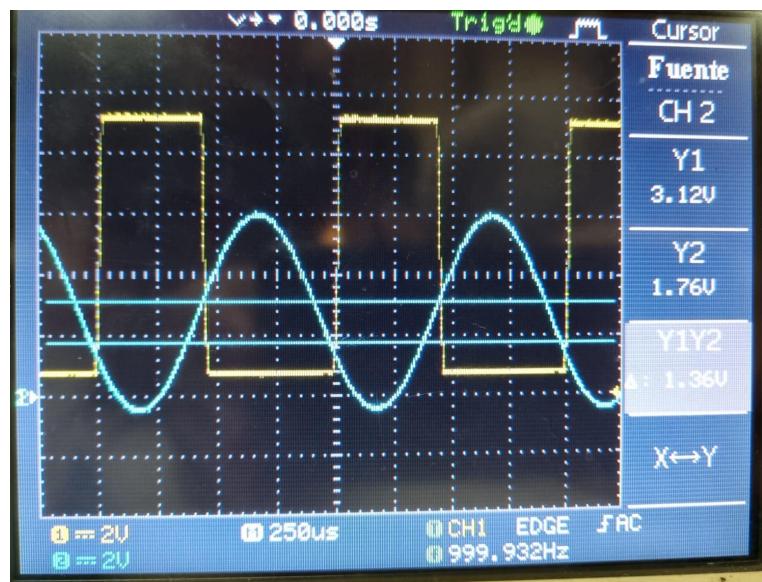
$$U^+ = (V_o - V_{ref}) \times \frac{R_3}{R_3 + R_4} + V_{ref} = (8.5V - 2V) \times \frac{2K}{2K+10K} + 2V = 3.08V$$

$$U^- = V_{ref} \times \frac{R_4}{R_3 + R_4} = 2V \times \frac{10K}{2K+10K} = 1.66V$$

- *Simulación Transient*



- *Mediciones*



$$V_{OH} = 8.9V$$

$$V_{OL} = 0.6V$$

$$U^+ = 3.12V$$

$$U^- = 1.36V$$