



Universidad
Nacional
de Córdoba



Trabajo Práctico de Laboratorio N°1

Síntesis de Redes Activas
Ingeniería Electrónica

Autores:

Cerquetti, Narella
Hernandez, Facundo
Taborda, Andrea
Valdez Benavidez, Mauricio L.

Profesores:

Ing. Ferreyra, Pablo
Ing. Reale, Cesar

Índice

1. Introducción	2
2. Objetivos	2
3. Amplificador Diferencial	3
3.1. Análisis teórico	3
3.1.1. Cálculo de V_{01}	3
3.1.2. Cálculo de V_{02}	3
3.1.3. Cálculo de RRMC	4
3.1.4. Respuesta en frecuencia	4
3.1.5. Impedancias	5
3.2. Simulaciones	5
3.3. Implementación	8
3.4. Comparación entre resultados	8
3.5. Conclusión	8
4. Fuente de corriente controlada por tensión	9
4.1. Análisis teórico	9
4.2. Simulaciones	11
4.3. Implementación	12
4.4. Comparación entre resultados	12
4.5. Conclusión	12

1. Introducción

En este trabajo de laboratorio, se analizarán tres circuitos:

1. Amplificador diferencial.
2. Fuente de corriente controlada por tensión.
3. Rectificador de precisión.

Para cada circuito, se realizará un análisis teórico, simulaciones y mediciones experimentales. Finalmente, se van a comparar los datos obtenidos en cada etapa.

2. Objetivos

- Aplicar el conocimiento teórico - práctico para analizar los circuitos.
- Fortalecer el uso del simulador LtSpice e interpretar los resultados del mismo.
- Familiarizarnos con los componentes físicos y el armado de los circuitos, comprobando el correcto funcionamiento a través de las mediciones correspondientes.
- Visualizar los errores relativos que hay entre el modelo teórico y las simulaciones y las implementaciones.

3. Amplificador Diferencial

Datos: Amplificador Operacional LM324

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

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

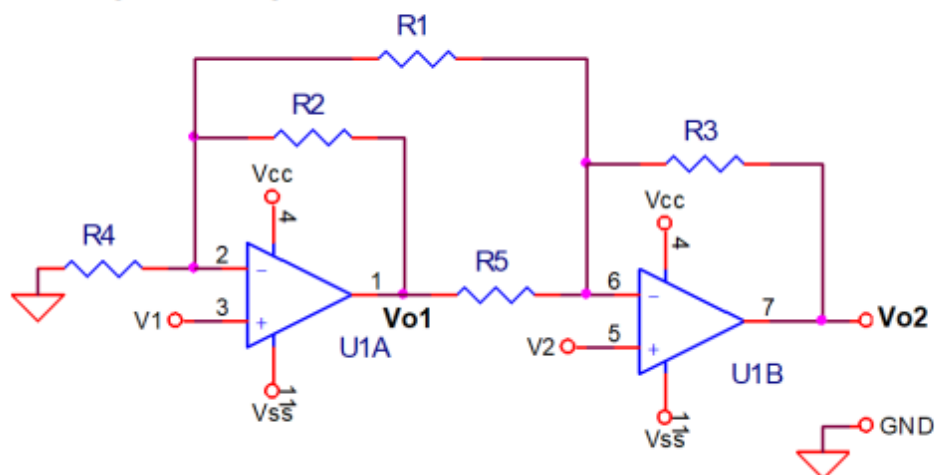


Figura 1: Circuito propuesto

3.1. Análisis teórico

Se debe analizar la tensión de salida en función de la tensión de entrada en modo diferencial $V_d = (V_2 - V_1)$ y también en modo común $V_c = (V_1 + V_2)/2$.

Para realizar el análisis en modo diferencial, se aplica el método de superposición, primero se calcula V_{O1} y luego V_{O2} .

3.1.1. Cálculo de V_{O1}

Pasivando V_2

$$V_{O1}|_{V_2=0} = \left(1 + \frac{R}{R/2}\right)V_1 = 3V_1$$

Pasivando V_1

$$V_{O1}|_{V_1=0} = \left(-\frac{R}{R}\right)V_2 = -V_2$$

$$V_{O1} = 3V_1 - V_2$$

3.1.2. Cálculo de V_{O2}

Pasivando V_1 y V_2

$$V_{O2}|_{V_1=0}^{V_2=0} = \left(-\frac{R}{R}\right)V_1 = -V_{O1}$$

Pasivando V_2 y V_{O1}

$$V_{O2}|_{V_{O1}=0}^{V_2=0} = \left(-\frac{R}{R}\right)V_1 = -V_1$$

Pasivando V_1 y V_{O1}

$$V_{O2}|_{V_1=0}^{V_1=0} = (1 + \frac{R}{R/2})V_2 = 3V_2$$

$$V_{O2} = 3V_2 - V_1 - 3V_1 + V_2 = 4V_2 - 4V_1 = 4(V_2 - V_1)$$

reemplazando con $V_d = (V_2 - V_1)$

$$V_{O2} = 4V_d$$

Para el análisis en $V_c = (V_1 + V_2)/2$ y haciendo $V_1 = V_2$ tenemos que

$$V_{O2} = 0$$

3.1.3. Cálculo de RRMC

$$RRMC = (\frac{A_d}{A_c}) = \frac{4}{0}$$

$$RRMC = \infty$$

3.1.4. Respuesta en frecuencia

En el Datasheet del LM324 se encuentra el dato de la $f_T = 1[MHz]$ por lo tanto

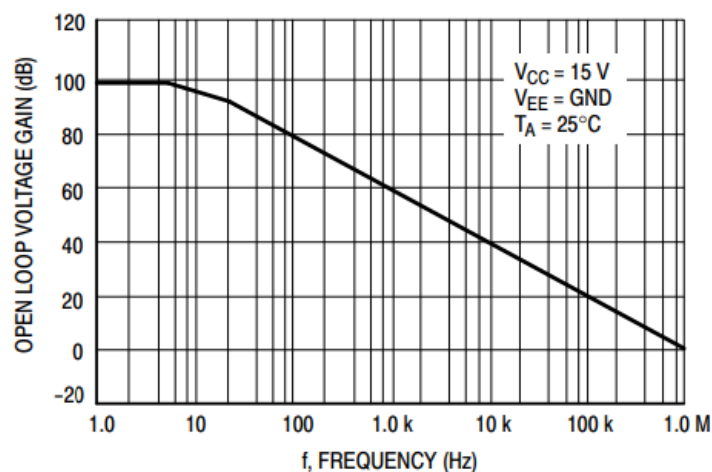
$$\omega_T = 2\pi f_T$$

$$\omega_H = \omega_T k = \omega_T \frac{1}{4} = \frac{\pi}{2} f_T$$

$$\omega_H = 1,57[Mrps]$$

$$f_H = 250[KHz]$$

La ganancia del amplificador es 4 lo que se traduce en 12.04[dB]. A 250[KHz] la ganancia disminuirá 3[dB], es decir que la amplitud quedará en 9.03[dB] ó 2.83 veces.



3.1.5. Impedancias

Las impedancias vistas por las fuentes de señales V_1 y V_2 son las impedancias de entrada de ambos amplificadores. Definimos Z_{i1} y Z_{i2} a las impedancias vistas por V_1 y V_2 respectivamente.

$$Z_{i1} = \frac{V_1}{I_{i1}} \text{ al ser } I_{i1} = 0$$

entonces queda $Z_{i1} = \infty$

de manera análoga se determina

$$Z_{i2} = \frac{V_2}{I_{i2}} = \infty$$

3.2. Simulaciones

Se realizaron diferentes simulaciones con LTSpice para observar el comportamiento a la salida de cada amplificador. A continuación se listan las simulaciones realizadas:

- V_{o1} y V_{o2} con $V_1 = 10[mV]$ y $V_2 = 0[mV]$.
- V_{o1} y V_{o2} con $V_1 = 0[mV]$ y $V_2 = 10[mV]$.
- V_{o1} y V_{o2} con $V_1 = V_2 = 10[mV]$ pero ambas entradas desfasadas 180° entre ellas.
- V_{o1} y V_{o2} con $V_1 = V_2 = 10[mV]$ sin desfasar.
- Respuesta en frecuencia del circuito, graficando el Bode con Magnitud y Fase.

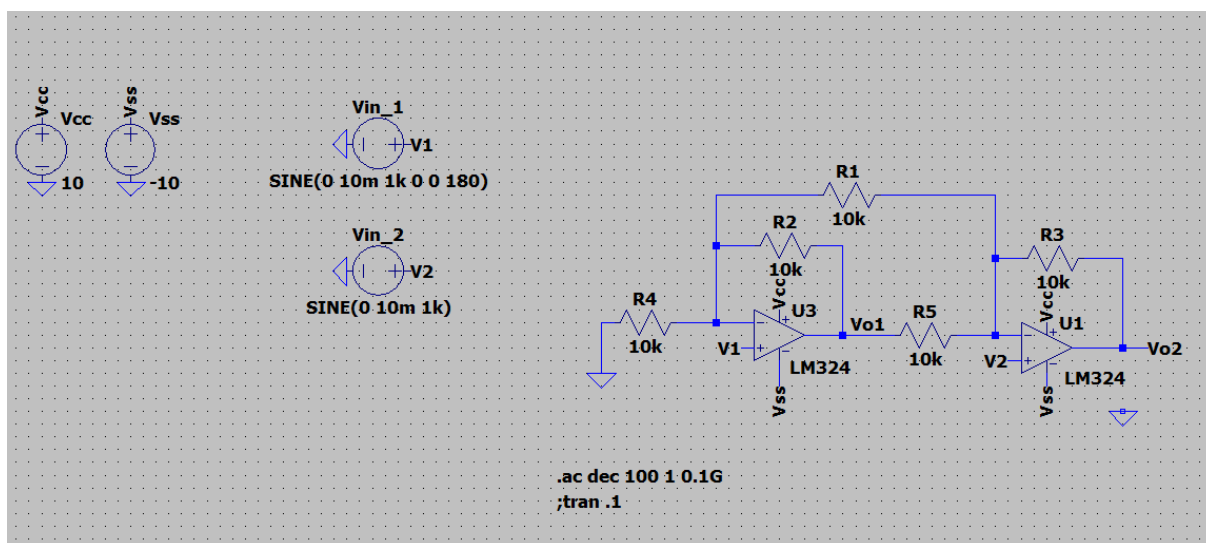


Figura 2: Circuito simulado

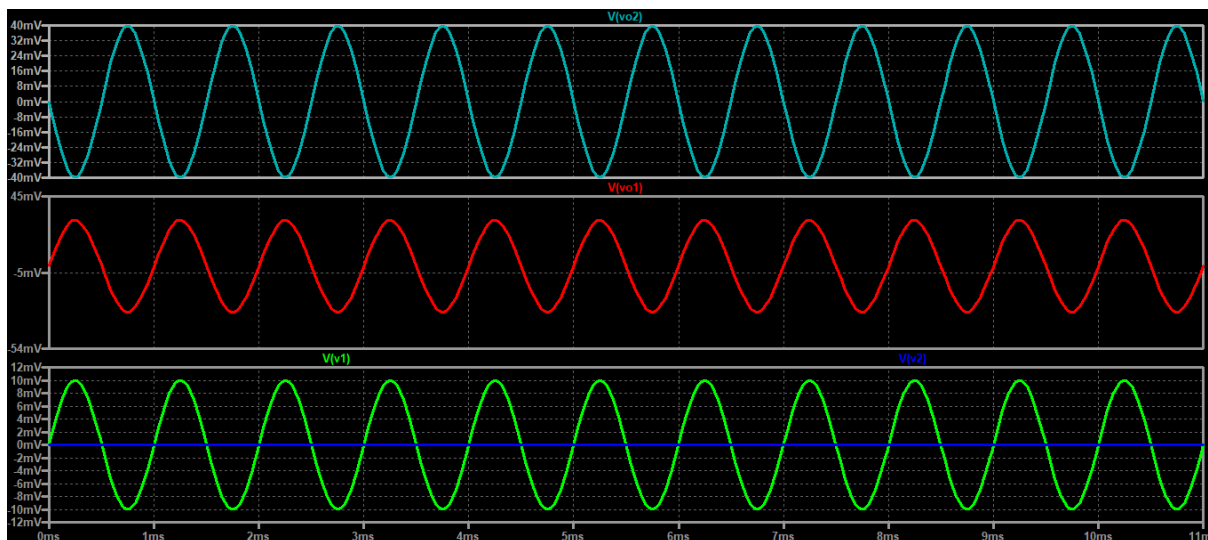


Figura 3: V_{o1} (rojo) y V_{o2} (celeste) con $V_1 = 10[mV]$ y $V_2 = 0[mV]$.

	$V_1 = 10[mV]$ y $V_2 = 0[mV]$
V_{o1}	29.5 [mV]
V_{o2}	39.73[mV]

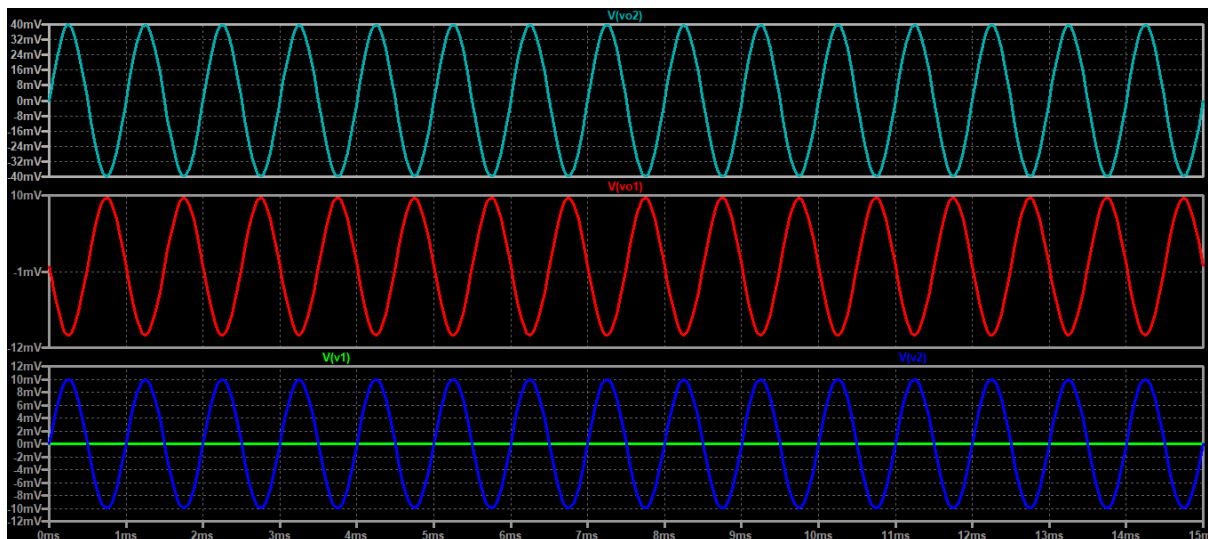


Figura 4: V_{o1} (rojo) y V_{o2} (celeste) con $V_1 = 0[mV]$ y $V_2 = 10[mV]$.

	$V_1 = 0[mV]$ y $V_2 = 10[mV]$
V_{o1}	29.5 [mV]
V_{o2}	39.73[mV]

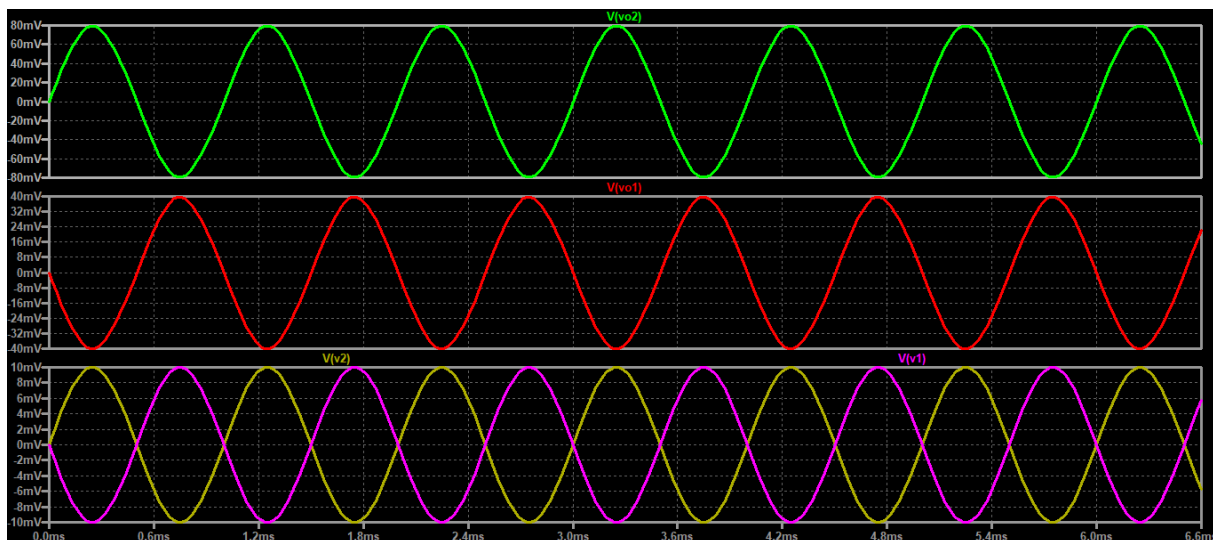


Figura 5: V_{o1} (rojo) y V_{o2} (verde) con $V_1 = V_2 = 10[mV]$ pero ambas entradas desfasadas 180° entre ellas.

	$V_1 = 10[mV]$ y $V_2 = 10[mV]$ y $\Delta\varphi = 180^\circ$
V_{o1}	39.99 [mV]
V_{o2}	79.46[mV]

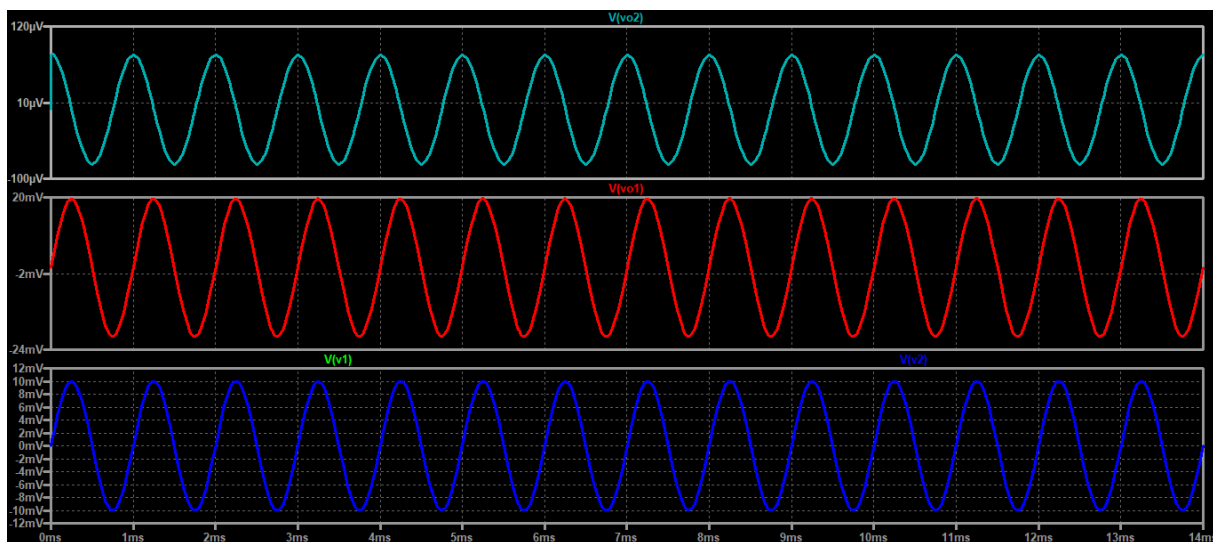


Figura 6: V_{o1} (rojo) y V_{o2} (celeste) con $V_1 = V_2 = 10[mV]$ sin desfasar.

	$V_1 = 10[mV]$ y $V_2 = 10[mV]$ y $\Delta\varphi = 0$
V_{o1}	19.60 [mV]
V_{o2}	79.14[μV]

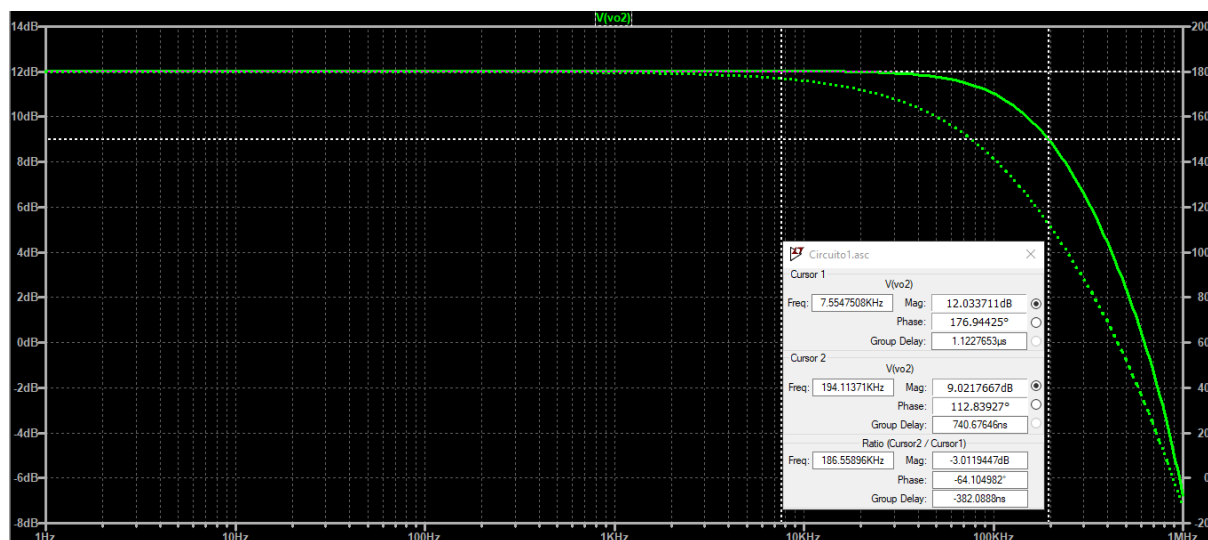


Figura 7: Bode con Magnitud y Fase $-V_{O2}$ con $V_1 = 1[V]$ y $V_2 = 0[V]$.

	$V_1 = 1[V]$ y $V_2 = 0[V]$
Frecuencia para -3[dB]	186.55 [KHz]
$\Delta\varphi$	64.10°

3.3. Implementación

3.4. Comparación entre resultados

En la siguiente tabla comparativa se reflejan los resultados obtenidos en cada una de las etapas previas y se calcula el error relativo que existe entre los resultados.

Tanto para la simulación como para la parte experimental, se ingresó señal por V_1

	Salida $V_{O2}[V]$			Errores relativos (%)		
Entrada $V_1[V]$	Teoría	Simulación	Experimental	Exp/Teo	Exp/Sim	Sim/Teo
0.2	0.8	0.7989	-	-	-	0.14
0.4	1.6	1.5973	-	-	-	0.17
1	4	3.9974	-	-	-	0.06

3.5. Conclusión

Se puede concluir que la herramienta de simulación es bastante precisa, pues el error relativo respecto al valor teórico siempre se mantuvo menor al 1%.

Ahora bien, el error relativo entre el valor teórico y el experimental es mas grande, aproximadamente (... %), esto se debe a que los componentes no son ideales y el comportamiento puede variar en un rango acotado indicado por el fabricante.

4. Fuente de corriente controlada por tensión

Datos: Amplificador Operacional LM324

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

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

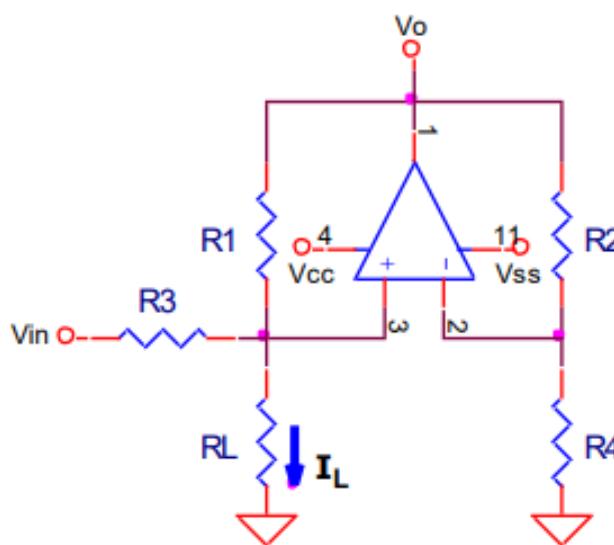


Figura 8: Circuito propuesto

4.1. Análisis teórico

Para analizar el circuito propuesto, se propone expresar V^+ (la entrada no inversora del AO) y V^- (la entrada inversora del AO) en función del V_o , planteando el divisor resistivo en el nodo "2" de la figura:

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

luego se plantea la ley de los nodos de Kirchhoff en el nodo "3"

$$\frac{V_{in} - V^+}{R_3} + \frac{V_o - V^+}{R_1} = \frac{V^+}{R_L}$$

$$\frac{V_{in}}{R_3} + \frac{V_o}{R_1} = V^+ \left(\frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} \right)$$

y reemplazando V^+

$$\frac{V_{in}}{R_3} + \frac{V_o}{R_1} = V_o \frac{R_4}{R_4 + R_2} \left(\frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} \right)$$

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

Reemplazando para $R_1 = 100[\Omega]$, $R_2 = 10[K\Omega]$, $R_3 = 1[K\Omega]$ y $R_4 = 100[K\Omega]$:

$$V_{in} = V_o \left[\frac{1}{R_L} (909,09091) \right]$$

Luego la corriente que circula por la carga se define:

$$I_{RL} = \frac{V^+}{R_L}$$

$$I_{RL} = V_o \frac{R_4}{R_4 + R_2} \frac{1}{R_L}$$

$$I_{RL} = \frac{V_{in}}{\left[\frac{1}{R_L} (R_3 \frac{R_4}{R_4 + R_2}) + (R_3 \frac{R_4}{R_4 + R_2}) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} \right) - \frac{R_3}{R_1} \right] R_4 + R_2} \frac{1}{R_L}$$

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

$$I_{RL} = V_{in} 10^{-3}$$

de igual manera se define la tensión V_o en función de R_L y de V_{in}

$$V_o = \frac{V_{in}}{\left(\frac{1}{R_L} (909,09091) \right)}$$

$$V_o = V_{in} R_L (1,1 * 10^{-3})$$

Por último, se determina el valor de R_{Lmax} teniendo en cuenta que al ser ideal el A.O. la tensión de salida máxima será la misma que $V_{cc} = 10[V]$. Por lo tanto operando se obtiene:

$$R_{Lmax} = \frac{9090,9091}{V_{in}}$$

A partir de las relaciones obtenidas, se procede a completar la siguiente tabla:

-		$V_{in}[V]$		
$I_{RL}[\mu A]$		0.5	1	2
$R_L[K\Omega]$	0	0	0	0
$R_L[K\Omega]$	1	500	1000	2000
$R_L[K\Omega]$	2	500	1000	2000
$R_L[K\Omega]$	5	500	1000	2000
$R_L[K\Omega]$	10	500	1000	2000

Cuadro 1: Valores teóricos de I_{RL} en función de R_L y de V_{in}

-		$V_{in}[V]$		
$V_o[V]$		0.5	1	2
$R_L[K\Omega]$	0	0	0	0
$R_L[K\Omega]$	1	0.55	1.1	2.2
$R_L[K\Omega]$	2	1.1	2.2	4.4
$R_L[K\Omega]$	5	2.75	5.5	11
$R_L[K\Omega]$	10	5.5	11	22

Cuadro 2: Valores teóricos de V_o en función de R_L y de V_{in}

Aquellos valores que superen el valor de la tensión de V_{cc} , la salida se enclava a ese mismo valor y la forma de la onda se recorta.

4.2. Simulaciones

Se realizaron diferentes simulaciones con LTSpice para observar el comportamiento de I_{RL} y V_o . Luego se completaron nuevamente las tablas anteriores con los valores simulados.

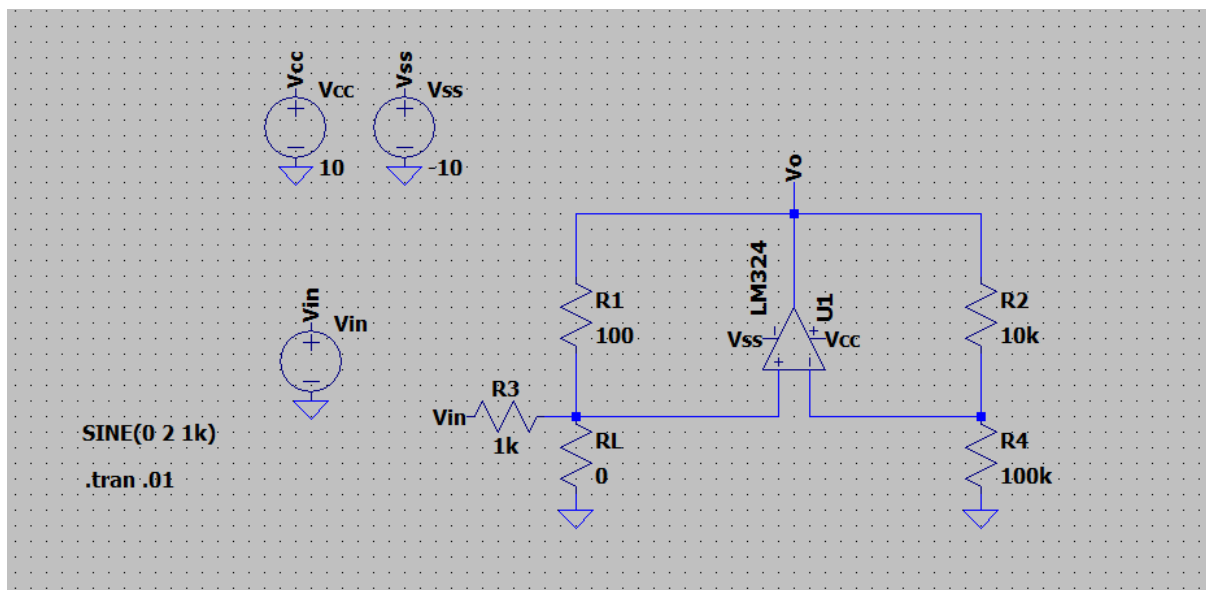


Figura 9: Circuito simulado

-		$V_{in}[V]$		
$I_{RL}[\mu A]$		0.5	1	2
$R_L[K\Omega]$	0	0	0	0
$R_L[K\Omega]$	1	495.93	994.15	1994.08
$R_L[K\Omega]$	2	495.52	993.33	1991.35
$R_L[K\Omega]$	5	493.86	990.39	1549.12
$R_L[K\Omega]$	10	488.45	771.00	783.06

Cuadro 3: Valores simulados de I_{RL} en función de R_L y de V_{in}

-		$V_{in}[V]$		
$V_o[V]$		0.5	1	2
$R_L[k\Omega]$	0	0	0	0
$R_L[k\Omega]$	1	0.545	1.093	2.193
$R_L[k\Omega]$	2	1.089	2.185	4.380
$R_L[k\Omega]$	5	2.715	5.446	8.475
$R_L[k\Omega]$	10	5.372	8.458	8.492

Cuadro 4: Valores simulados de V_o en función de R_L y de V_{in}

4.3. Implementación

4.4. Comparación entre resultados

4.5. Conclusión