



Universidad
Nacional
de Córdoba



FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS y NATURALES

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. Amplificador Diferencial	9
4.1. Análisis teórico	9
4.1.1. Cálculo de V_{01}	9
4.1.2. Cálculo de V_{02}	9
4.1.3. Cálculo de RRMC	10
4.1.4. Respuesta en frecuencia	10
4.1.5. Impedancias	11
4.2. Simulaciones	11
4.3. Implementación	14
4.4. Comparación entre resultados	14
4.5. Conclusión	14

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

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

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

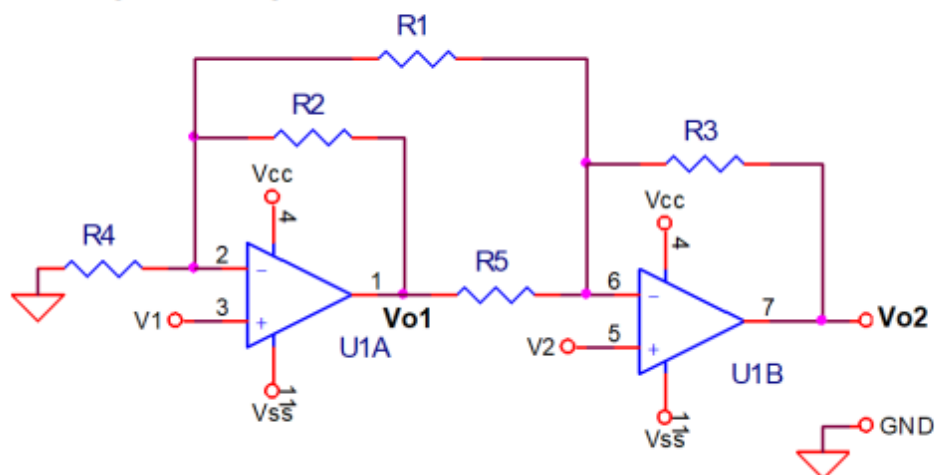


Figura 1: Circuito propuesto

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

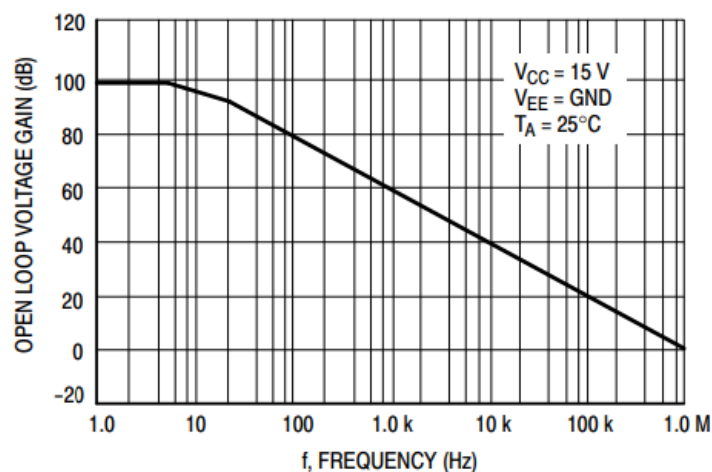
$$\omega_T = 2\pi f_T$$

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

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

$$f_H = 250[KHz]$$

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.

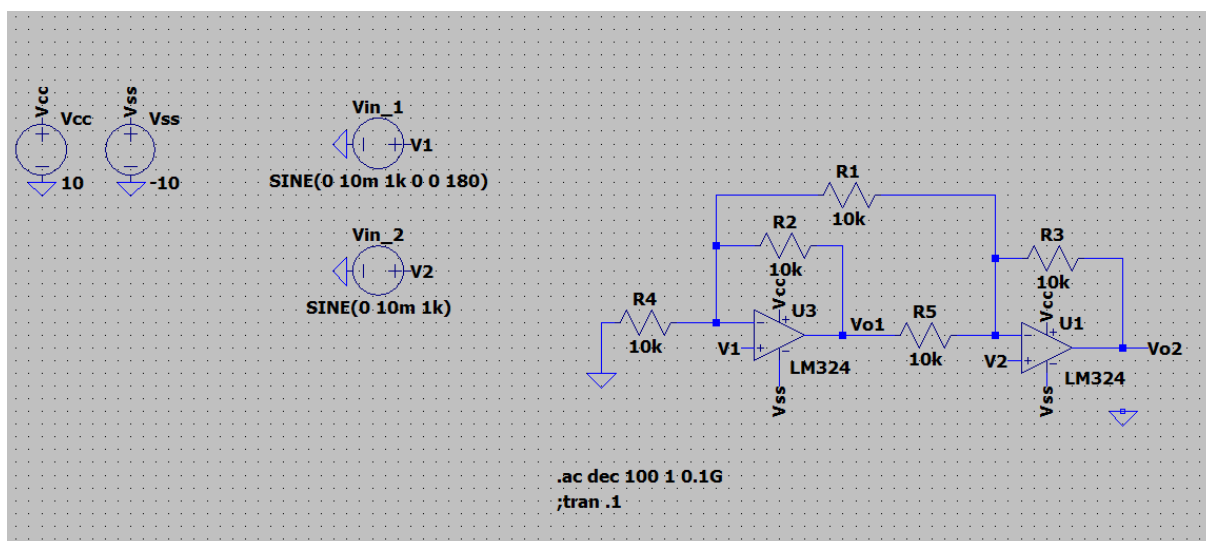


Figura 2: Circuito simulado

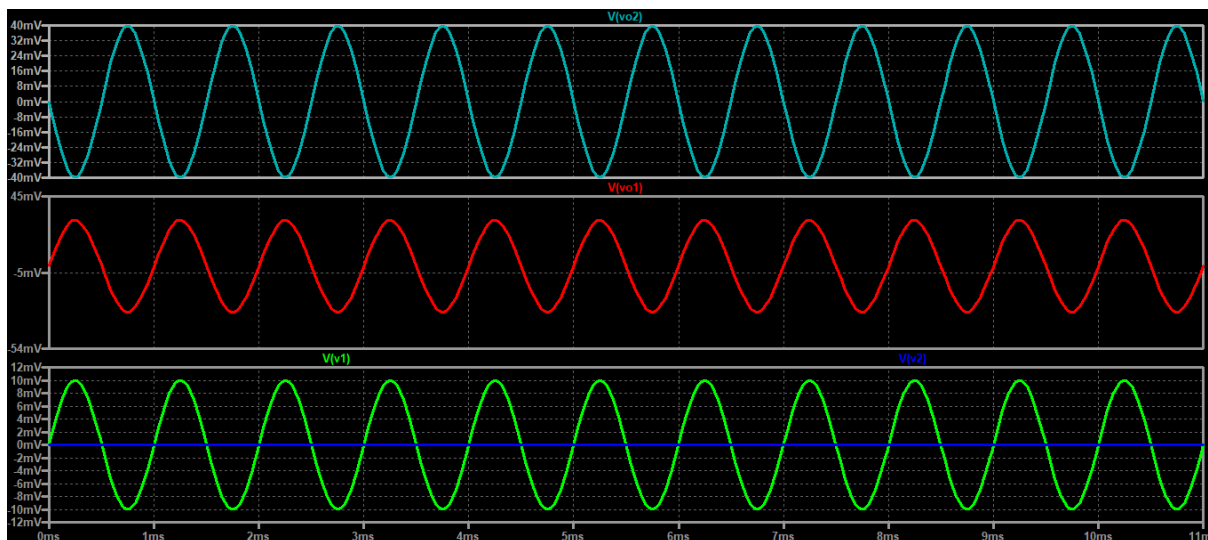


Figura 3: V_{o1} (rojo) y V_{o2} (celeste) con $V_1 = 10[mV]$ y $V_2 = 0[mV]$.

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

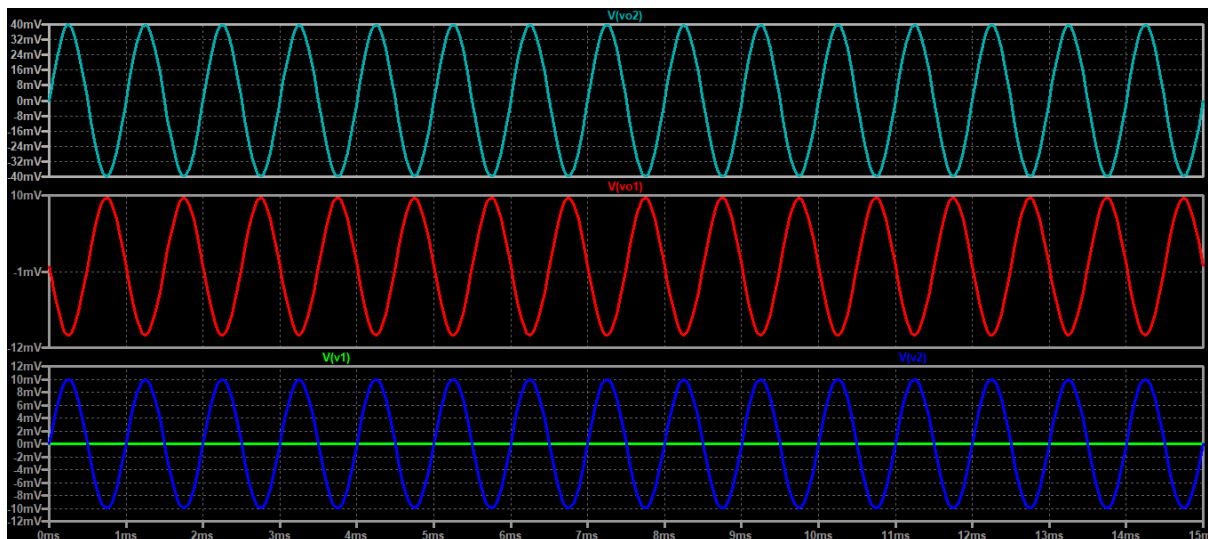


Figura 4: V_{o1} (rojo) y V_{o2} (celeste) con $V_1 = 0[mV]$ y $V_2 = 10[mV]$.

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

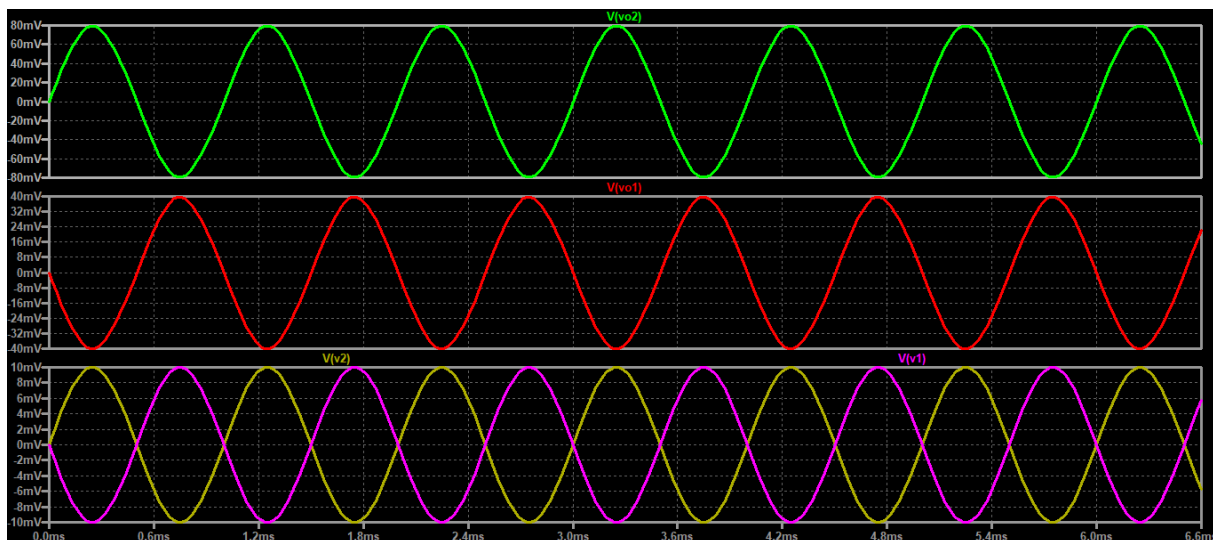


Figura 5: V_{o1} (rojo) y V_{o2} (verde) con $V_1 = V_2 = 10[mV]$ pero ambas entradas desfasadas 180° entre ellas.

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

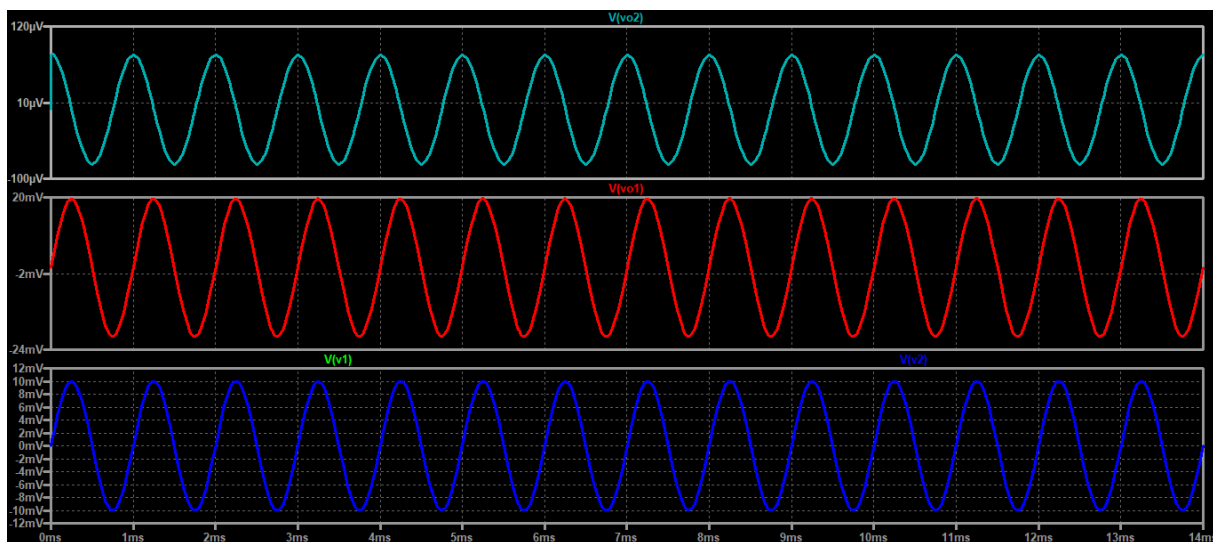


Figura 6: V_{o1} (rojo) y V_{o2} (celeste) con $V_1 = V_2 = 10[mV]$ sin desfasar.

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

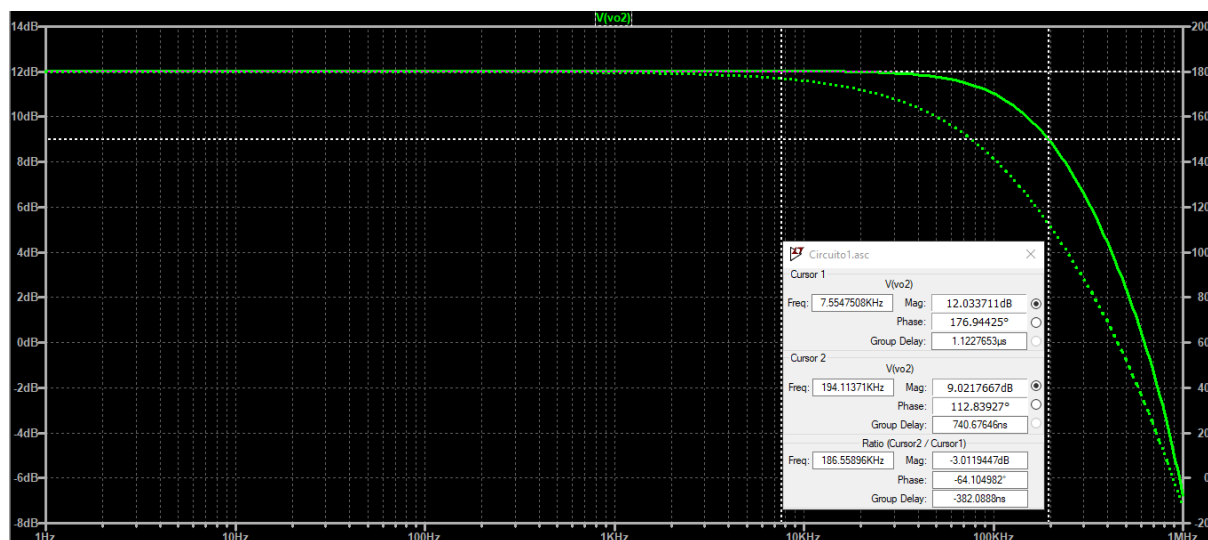


Figura 7: Bode con Magnitud y Fase $-V_{O2}$ con $V_1 = 1[V]$ y $V_2 = 0[V]$.

	$V_1 = 1[V]$ 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. Amplificador Diferencial

Datos: Amplificador Operacional LM324

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

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

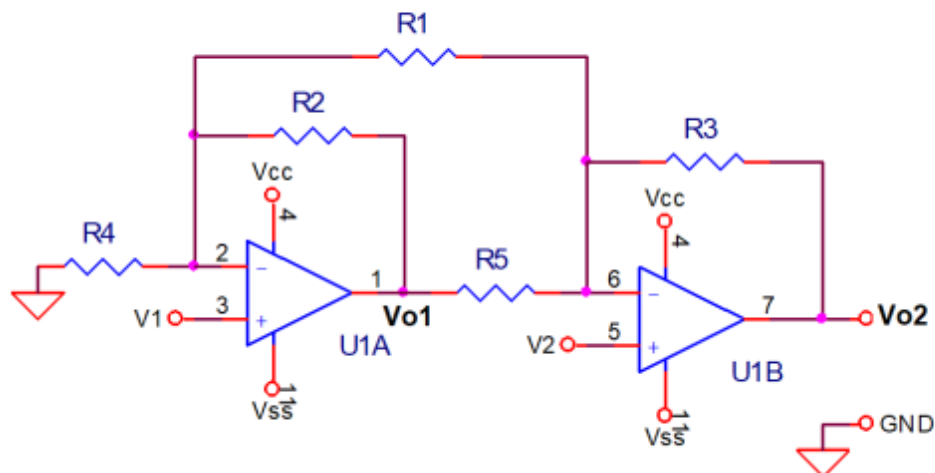


Figura 8: Circuito propuesto

4.1. 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_{01} y luego V_{02} .

4.1.1. Cálculo de V_{01}

Pasivando V_2

$$V_{01}|_{V_2=0} = (1 + \frac{R}{R/2})V_1 = 3V_1$$

Pasivando V_1

$$V_{01}|_{V_1=0} = (-\frac{R}{R})V_2 = -V_2$$

$$V_{01} = 3V_1 - V_2$$

4.1.2. Cálculo de V_{02}

Pasivando V_1 y V_2

$$V_{02}|_{V_1=0, V_2=0} = (-\frac{R}{R})V_1 = -V_{01}$$

Pasivando V_2 y V_{01}

$$V_{02}|_{V_2=0, V_{01}=0} = (-\frac{R}{R})V_1 = -V_1$$

Pasivando V_1 y V_{01}

$$V_{O2}|_{V_1=0}^{V_{01}=0} = (1 + \frac{R}{R/2})V_2 = 3V_2$$

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

reemplazando con $V_d = (V_2 - V_1)$

$$\boxed{V_{O2} = 4V_d}$$

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

$$\boxed{V_{O2} = 0}$$

4.1.3. Cálculo de RRMC

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

$$\boxed{RRMC = \infty}$$

4.1.4. Respuesta en frecuencia

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

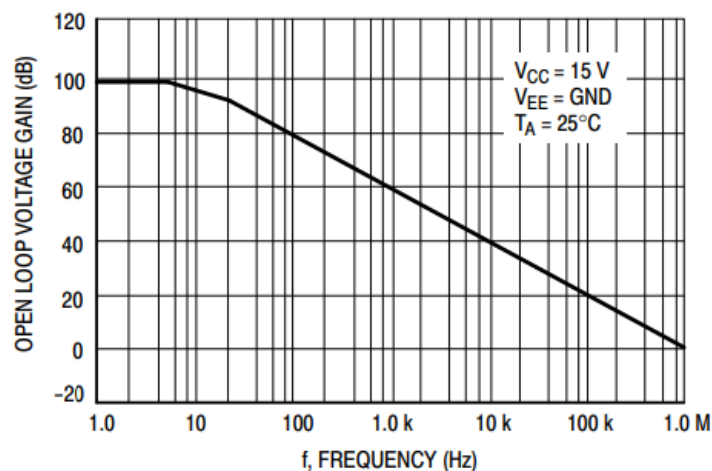
$$\omega_T = 2\pi f_T$$

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

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

$$f_H = 250[KHz]$$

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.



4.1.5. 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

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

4.2. 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.

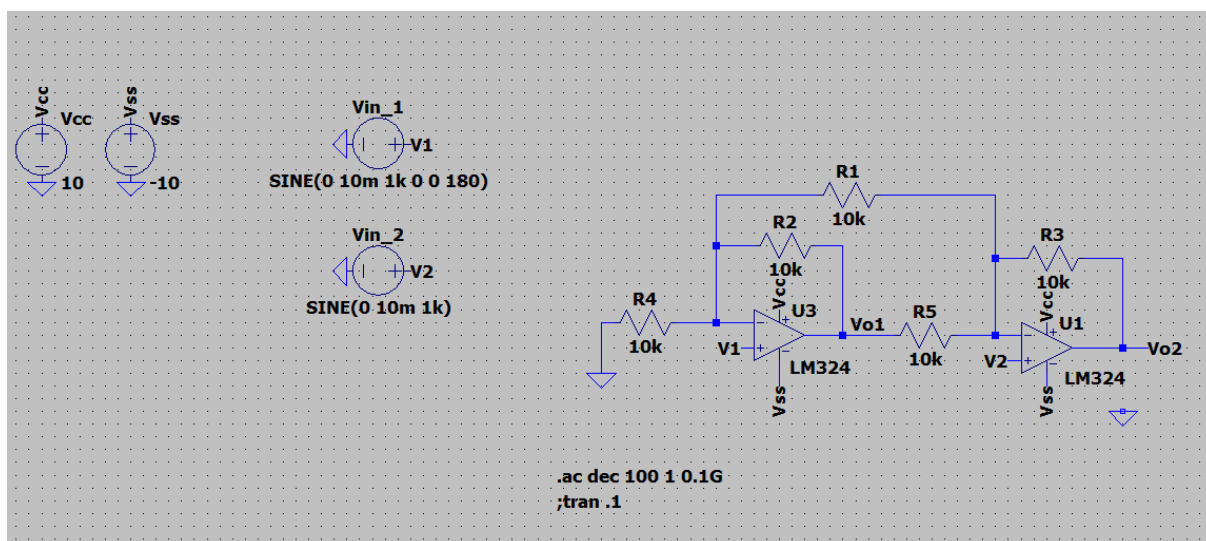


Figura 9: Circuito simulado

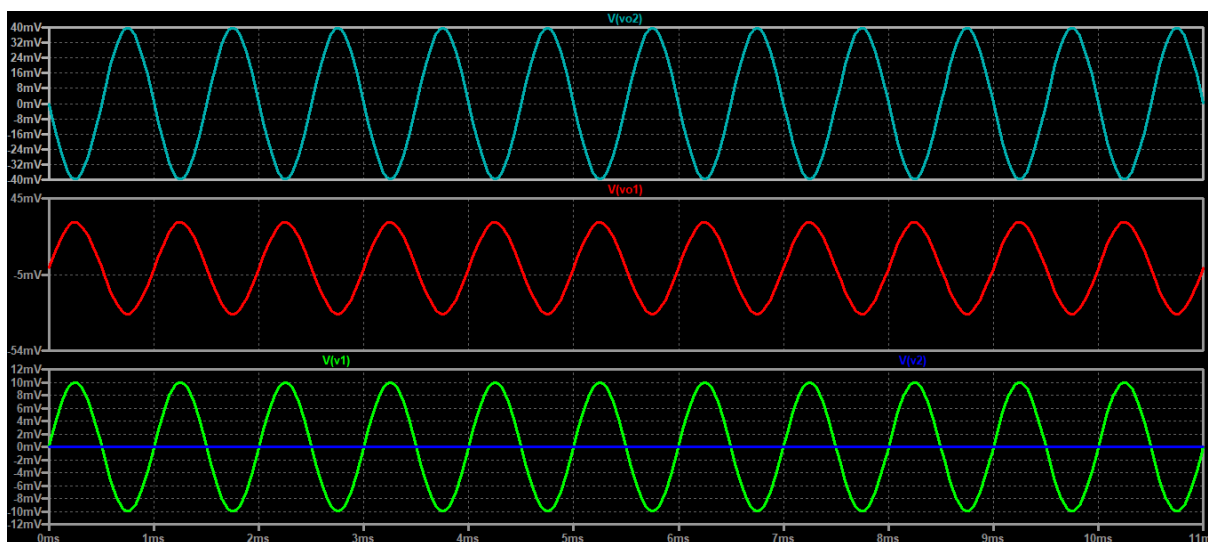


Figura 10: V_{o1} (rojo) y V_{o2} (celeste) con $V_1 = 10[mV]$ y $V_2 = 0[mV]$.

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

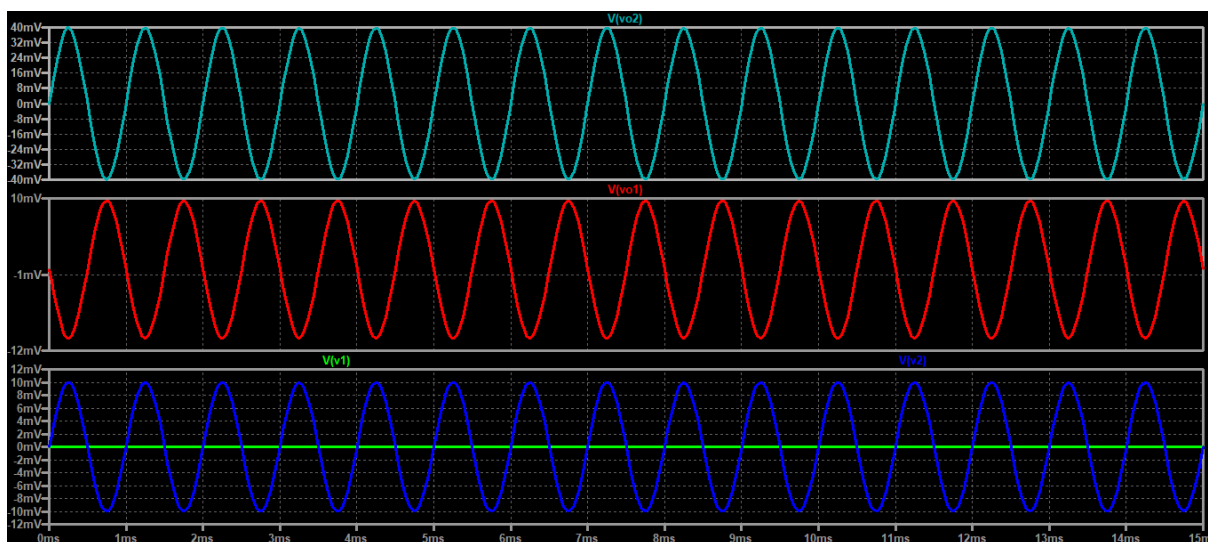


Figura 11: V_{o1} (rojo) y V_{o2} (celeste) con $V_1 = 0[mV]$ y $V_2 = 10[mV]$.

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

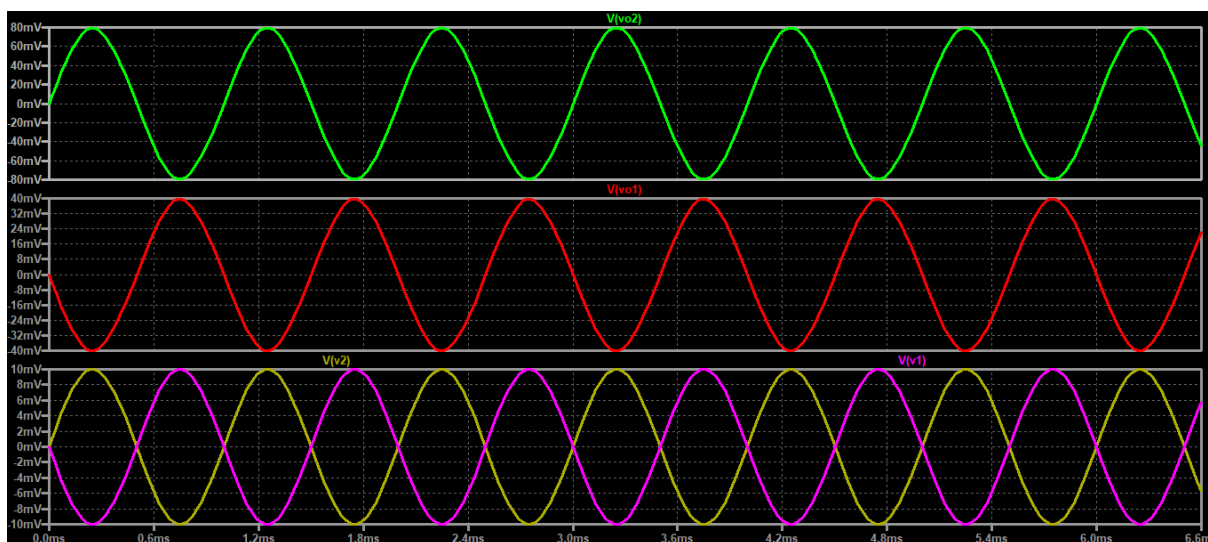


Figura 12: V_{o1} (rojo) y V_{o2} (verde) con $V_1 = V_2 = 10[mV]$ pero ambas entradas desfasadas 180° entre ellas.

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

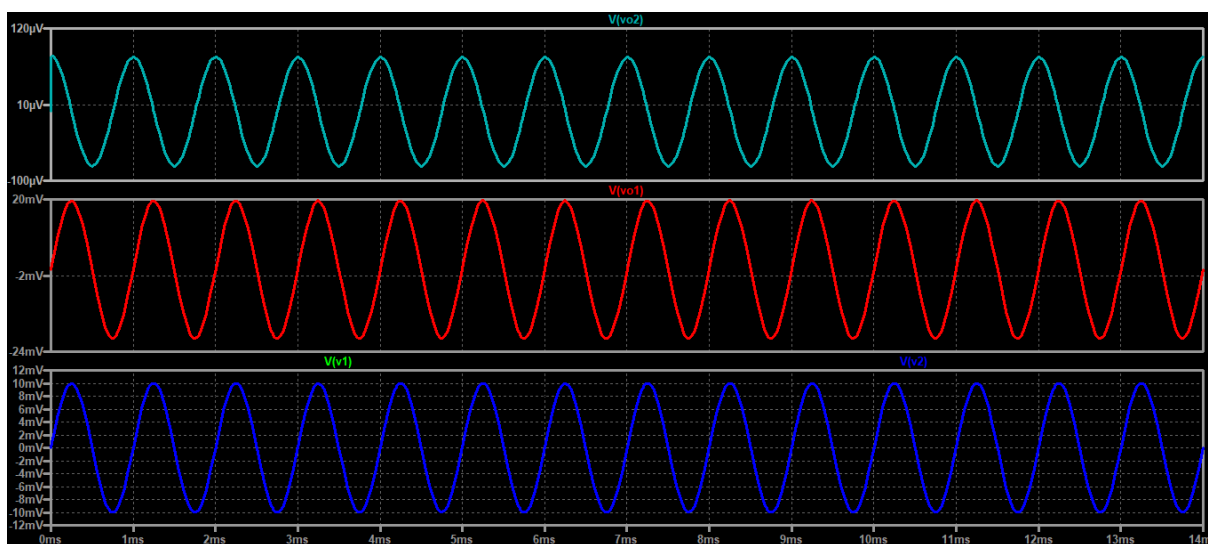


Figura 13: V_{o1} (rojo) y V_{o2} (celeste) con $V_1 = V_2 = 10[mV]$ sin desfasar.

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

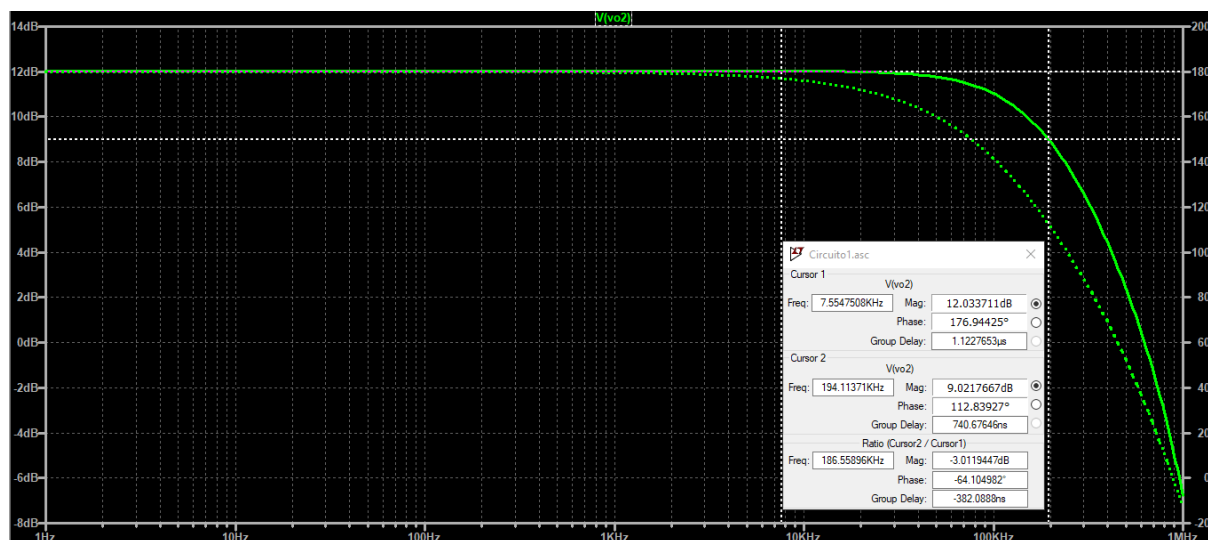


Figura 14: Bode con Magnitud y Fase $-V_{o2}$ con $V_1 = 1[V]$ y $V_2 = 0[V]$.

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

4.3. Implementación

4.4. 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

4.5. 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.