

# Síntesis de redes activas

## Laboratorio N°2: Amplificadores operacionales reales: Errores

Profesor Titular: Dr. Ing. Pablo Ferreyra  
Profesor Adjunto: Ing. César Reale  
Alumnos: Campos Mariano, Enzo Verstraete

20 de noviembre de 2024

### Resumen

Introducir al estudiante en el diseño, armado, medición y análisis de circuitos amplificadores lineales, teniendo en cuenta las fuentes de error del AO real, y como se relacionan con las condiciones de entorno del circuito.

## 1. Circuito I: Sumador inversor

En esta sección se diseña un amplificador operacional (LM741 o LM324) en configuración sumador inversor, alimentado con  $V_{cc} = 10[V]$ , la ganancia en la banda media debe ser de 30 veces, la impedancia de entrada no debe cargar la fuente de señal:

### 1.1. Análisis de la ganancia de tensión en la banda media

Aplicamos el teorema de superposición, obteniendo la ganancia de tensión respecto a una entrada anulando la otra, y luego sumando los efectos:

Tanto para  $V_o/V_2$  como para  $V_o/V_1$  la ganancia resulta la expresión del OPAM inversor:

$$V_o = \frac{-Rf}{R} V_1 \quad (1)$$

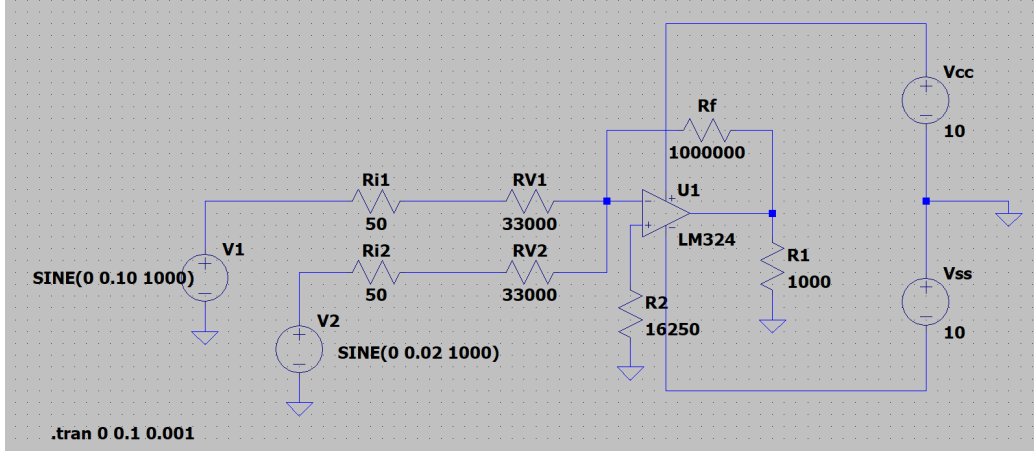


Figura 1: Esquemático del circuito

$$V_o = \frac{-R_f}{R} V_2 \quad (2)$$

La ganancia resulta:

$$V_o = \frac{-R_f}{R} (V_1 + V_2) \quad (3)$$

Para obtener una ganancia aproximada de 30 veces seleccionamos las resistencias de valores comerciales con los siguientes valores  $R_f = 1[Mohm]$  y  $R = 33[Kohm]$

## 1.2. Análisis de errores en continua

Para obtener la expresión total de los errores en continua tomamos del datasheet los valores de tensión/ corriente offset, ganancia en continua a lazo abierto y RRMC:

Error de corriente:

$$\Delta V(i_{pol-}) = \frac{(I_{pol-})(R//R//R_f)(-A_d)}{1 - T} \quad (4)$$

Agregamos una resistencia de ecualización en el terminal positivo para reducir el error:

$$Z = (R//R//R_f) \quad (5)$$

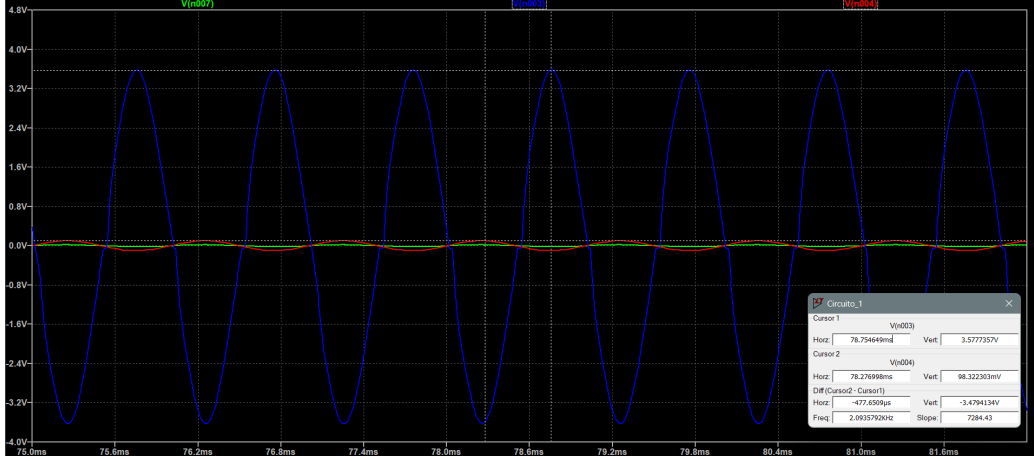


Figura 2: Ganancia de tensión

$$\Delta V(ipol+) = \frac{(Ipol+)(R//R//Rf)(-Ad)}{1 - T} \quad (6)$$

$$T = \frac{-R//R(Ad)}{R//R + Rf} \quad (7)$$

Resultando:

$$\Delta V = \frac{[(Ipol+)(R//R//Rf)(-Ad)] - [(Ipol-)(R//R//Rf)(-Ad)]}{1 + \frac{R//R(Ad)}{R//R + Rf}} \quad (8)$$

Simplificando la expresión y teniendo en cuenta que  $IOS = (Ipol+) - (Ipol-)$  tenemos:

$$\Delta V = \frac{(R//R//Rf)(R//R + Rf)IOS}{R//R} \quad (9)$$

Con los valores de resistencias obtenidos en la sección anterior y teniendo en cuenta que la corriente de offset para el amplificador operacional LM324 es de  $50[pA]$ , el error de corriente resulta en  $0,05[V]$

Error de tensión:

$$\Delta V = \frac{AdVOS}{1 + \frac{R//R(Ad)}{R//R + Rf}} \quad (10)$$

Simplificando la expresión:

$$\Delta V = \frac{(R//R + Rf)VOS}{R//R} \quad (11)$$

Teniendo en cuenta que la tensión de offset del amplificador operacional es de  $2[mV]$  el error de tension resulta en  $0,123[mV]$

Error de ganancia no infinita:

$$\Delta V = \frac{FS}{|T|} \quad (12)$$

$$\Delta V = \frac{FS}{\frac{R//R(Ad)}{R//R+Rf}} \quad (13)$$

La ganancia no infinita para el LM324 es de  $100dB$  el error resulta en  $6,2[mV]$

Error de relación de rechazo en modo común no infinita: En este caso tenemos el terminal positivo del amplificador operacional a masa por lo que el error de RRMC es nulo

### 1.3. Simulación de error en continua

Para aproximar cuando es el error de continua se pasivo las entradas del operacional y se mide la tensión de salida, en este caso es de  $20[mV]$

### 1.4. Ancho de banda de pequeña señal

$$F_H = \frac{FT}{Avf} \quad (14)$$

Teniendo en cuenta que  $FT = 1[MHz]$  y la ganancia a lazo cerrado es 30 tenemos que la frecuencia de corte en alta es de  $F_H = 33,3[KHz]$

### 1.5. Ancho de banda a plena potencia

Para calcular el ancho de banda a plena potencia obtenemos del datasheet el valor de "slew rate" del operacional en este caso, para el LM324 es de  $0,3[V/uS]$ , luego:

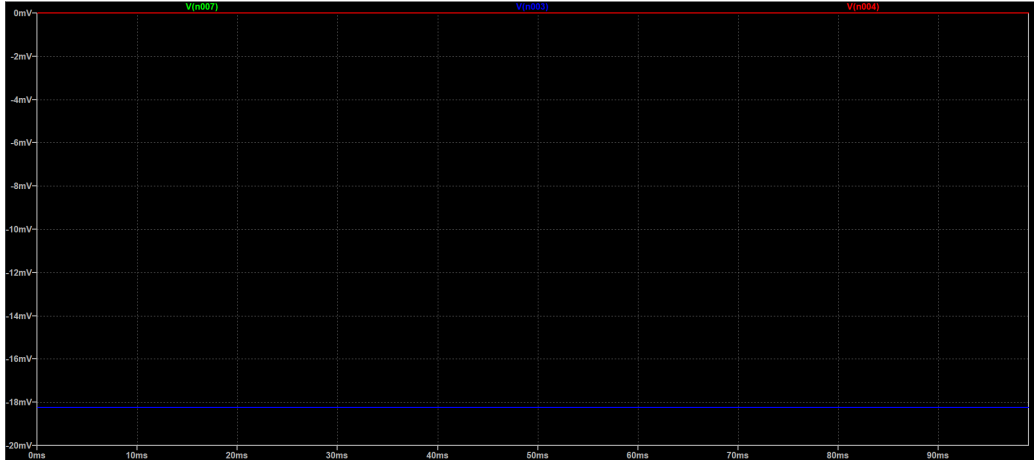


Figura 3: Simulación del error en DC

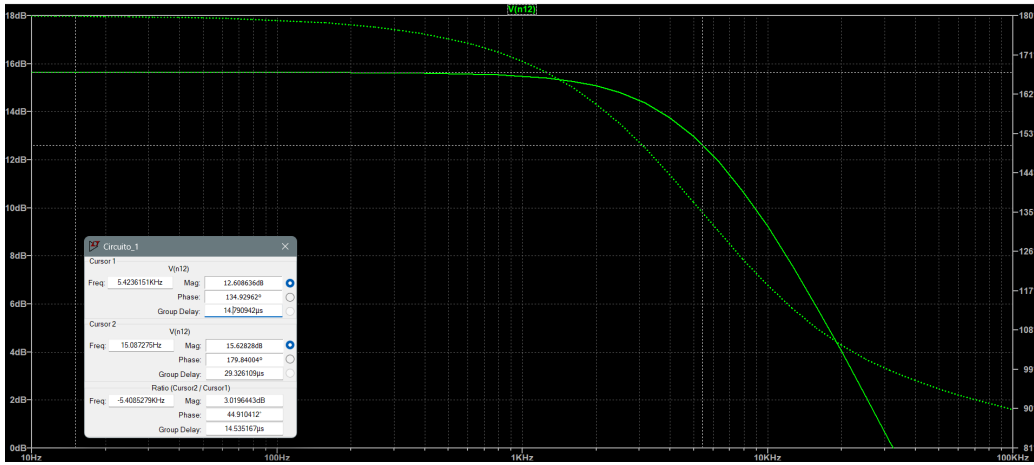


Figura 4: Ancho de banda de baja señal

$$F_{[Hp]} = \frac{SR}{2\pi FS} = 4775[Hz] \quad (15)$$

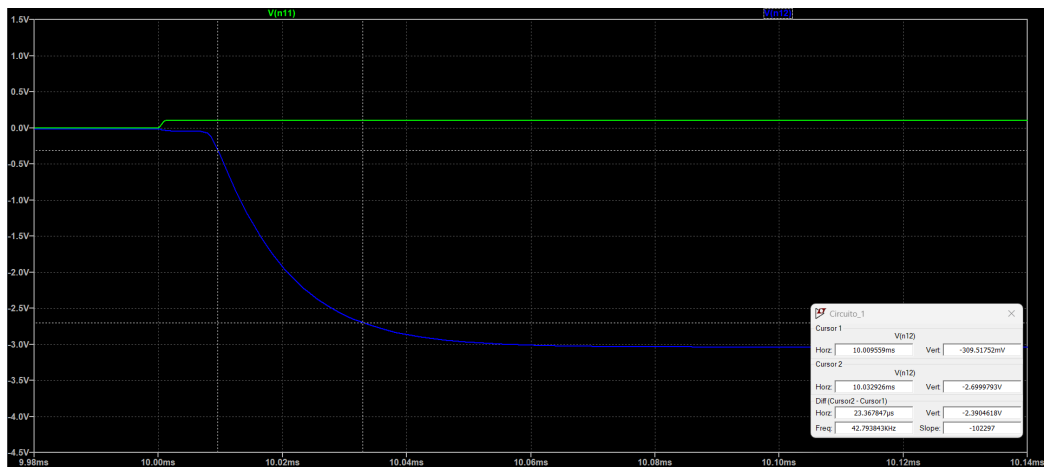


Figura 5: Slew rate