

# Síntesis de redes activas

## Laboratorio N°3:Diseño de amplificadores

Profesor Titular: Dr. Ing. Pablo Ferreyra

Profesor Adjunto: Ing. César Reale

Alumnos: Campos Mariano, Enzo Verstraete

18 de febrero de 2025

### **Resumen**

Diseñar amplificadores utilizando tecnologías VFA y CFA, aplicando conceptos de compensación.

# 1. Metodología

En general, para cada uno de los casos particulares solicitados, se debe: A. Realizar una sintética introducción teórica. B. Analizar el circuito propuesto, su desarrollo numérico, todos los cálculos analíticos. C. Realizar simulación en LTSPICE. D. Armar el circuito y hacer las mediciones en laboratorio. E. Finalmente comparar los valores calculados, simulados y medidos, y extraer conclusiones a cerca de las diferencias. Analizar las causas. F. Presentar un informe digital y en papel.

# 2. Desarrollo

La figura 1 muestran un amplificador compuesto que deberá ser diseñado para obtener una ganancia global  $Avf = 20\text{dB}$ , compensándolo para obtener una máxima planicidad de módulo ( $Mf = 65^\circ$  o  $Qp = 0,707$ ).

## 2.1. Configuración: 1.A VFA+VFA

Utilizando tecnologías VFA + VFA. Como amplificador VFA se utilizará un LM324, de 2(dos) polos ( $Ad0 = 100\text{dB}$ ,  $FT = 1\text{MHz}$ ,  $F1 = 10\text{Hz}$  y  $F2 = 5,06\text{MHz}$ ). A.1 . Diseñar el amplificador compuesto VFA + VFA. A.2 . Calcular el ancho de banda potencial, la frecuencia del polo de la función de transferencia a lazo cerrado y ancho de banda a  $-3\text{dB}$ . A.3 Medir el ancho de banda a  $-3\text{dB}$ . A.4 . Estimar el margen de fase obtenido en base a la respuesta al escalón del amplificador compuesto.

Ganancia considerando el segundo amplificador operacional ideal, la ganancia a lazo abierto resulta:

$$\frac{V_{OUT}}{v_{IN}} = A_{D01} \frac{R1 + R2}{R1} \quad (1)$$

Ganancia de lazo:

$$\frac{V_{OUT}}{V_{VO'}} = \frac{Ri}{Ri + Rf} - A_{D01} \frac{R1 + R2}{R1} \quad (2)$$

Ganancia a lazo cerrado:

$$Avf = \frac{Av}{1 - T} = \frac{A_{D01} \frac{R1+R2}{R1}}{1 + \frac{Ri}{Ri+Rf} A_{D01} \frac{R1+R2}{R1}} \quad (3)$$

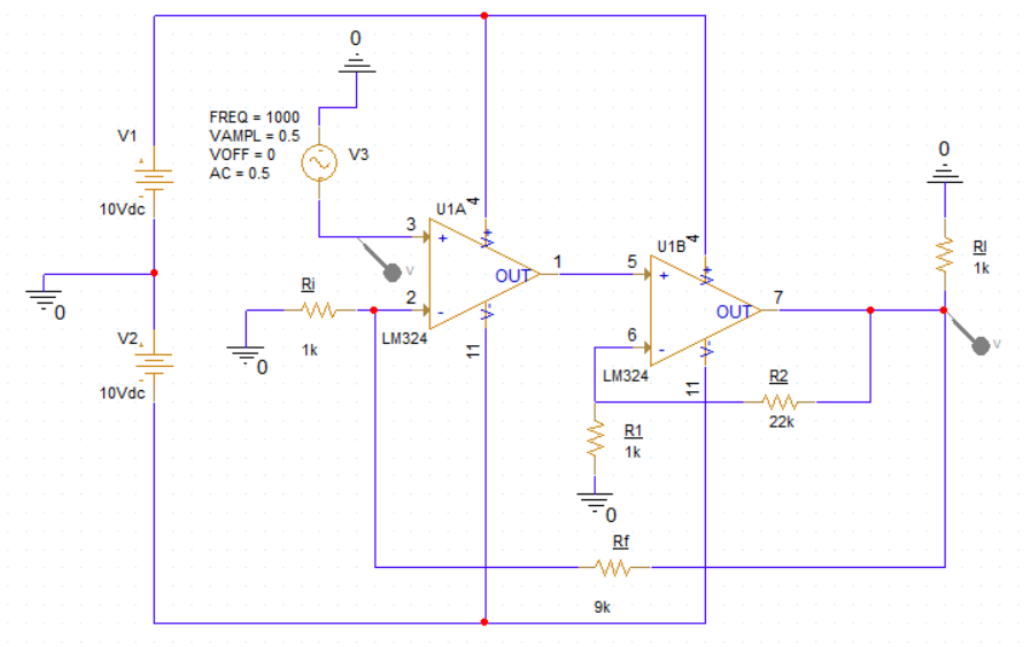


Figura 1: Amplificador configuración VFA+VFA

Como  $A_{D01}$  tiende a infinito, la ecuación se simplifica a la siguiente:

$$Avf = \frac{Av}{1 - T} = \frac{Ri + Rf}{Ri} = 10 \quad (4)$$

Seleccionamos los valores de resistencias para obtener el valor deseado  $Ri = 1[Kohm]$  y  $Rf = 9[Kohm]$

El ancho de banda potencial  $fg$  también se vincula con la ganancia del segundo operacional, buscando la condición de máxima planicidad del modulo tenemos la siguiente expresión:

$$M\Phi = 180 - \arctg\left(\frac{fg}{f1}\right) - \arctg\left(\frac{fg}{f2}\right) = 65,5 \quad (5)$$

Con

$$\arctg\left(\frac{fg}{f1}\right) = 90 \quad (6)$$

Por lo tanto

$$fg = f2tg(24,5)) = 2,306[MHz] \quad (7)$$

Con este valor determinamos la ganancia de lazo cerrado del segundo operacional

$$Avf2 = \frac{Avfwg}{A_{D0}w1} = 23 \quad (8)$$

Luego la ganancia a lazo abierto del amplificador compuesto resulta:

$$Avcomp = A_{D01}Avf2 = 2300000 = 127,24[dB] \quad (9)$$

Calculamos los valores de R1 y R2:

$$R1 = [1Kohm], R2 = 22[Kohm] \quad (10)$$

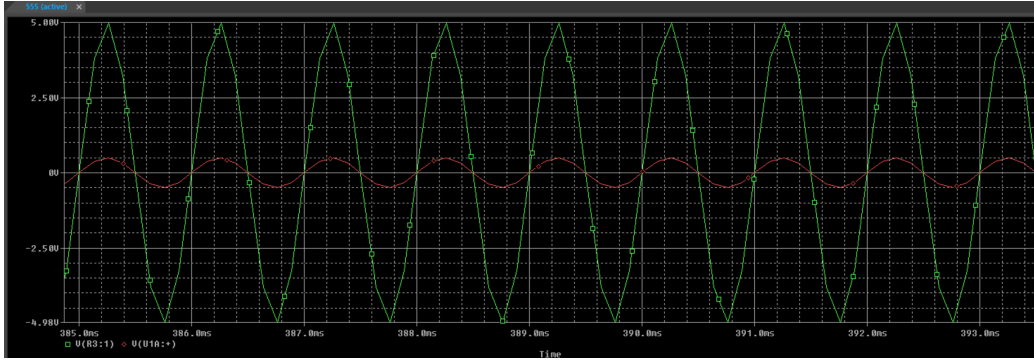


Figura 2: Salida del amplificador

## 2.2. Configuración: 1.B VFA+CFA

Utilizando tecnologías VFA + CFA. Se sugiere como amplificador VFA un LM324, de 2(dos) polos ( $Ad0 = 100dB$ ,  $FT = 1MHz$ ,  $F1 = 10Hz$  y  $F2 = 5,06MHz$ ) y como CFA un LM6181 con  $RT = 2,37M$ ,  $CT = 4,8pF$ , cuya transimpedancia  $ZT$  presenta también 2(dos) polos ( $F1 = 14KHz$ ,  $F2 = 82,3MHz$ ). B.1 . Diseñar el amplificador compuesto VFA + CFA para máxima planicidad de módulo y que además cumpla con un ancho de banda potencial aproximado de  $f_g = 2MHz$ . Tener en cuenta la presencia del segundo polo del VFA. B.2 . Calcular el ancho de banda potencial, la frecuencia del polo de la función de transferencia a lazo cerrado y ancho de banda a -3dB. B.3

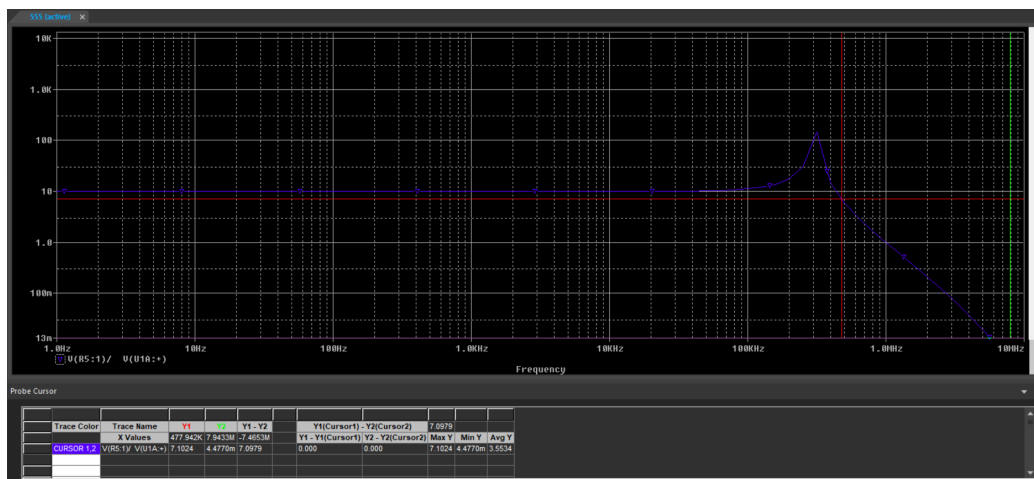


Figura 3: Respuesta en frecuencia

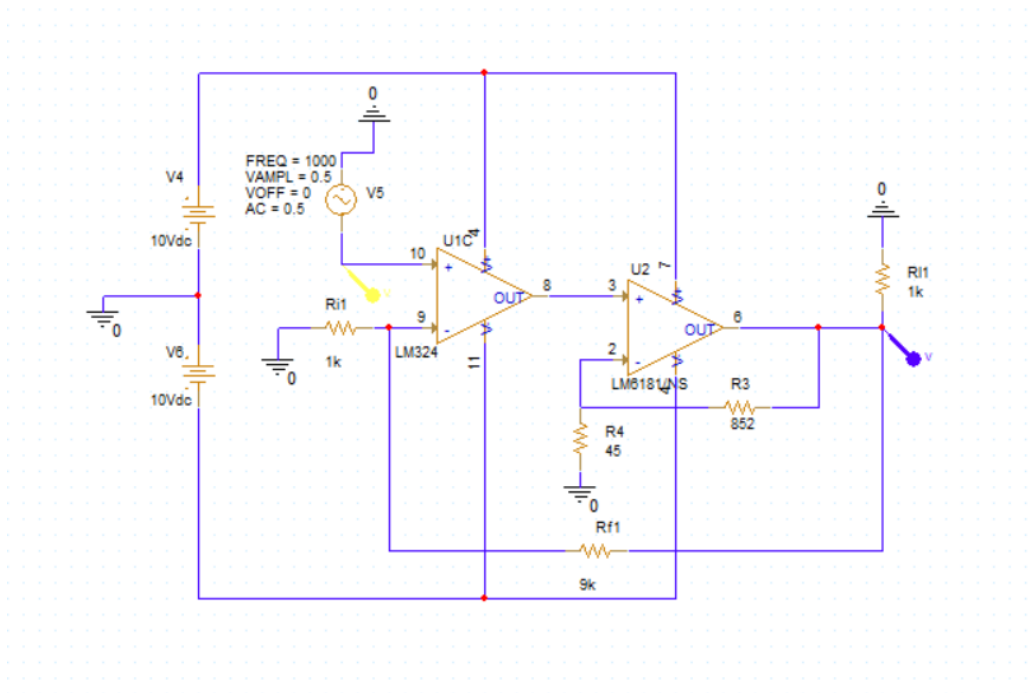


Figura 4: Amplificador configuración VFA+CFA

Medir el ancho de banda a -3dB. B.4 . Estimar el margen de fase obtenido en base a la respuesta al escalón del amplificador compuesto.

Para  $f_{2CFA}$  se considera que esta lo suficientemente alejado y VFA tiene el mismo comportamiento

$$M\Phi = 180 - \arctg\left(\frac{fg}{f1_{VFA}}\right) - \arctg\left(\frac{fg}{f2_{VFA}}\right) - \arctg\left(\frac{fg}{f1_{CFA}}\right) = 65,5 \quad (11)$$

$$\arctg\left(\frac{fg}{f1_{VFA}}\right) = 90 \quad (12)$$

$$\arctg\left(\frac{fg}{f2_{VFA}}\right) = 21,56 \quad (13)$$

$$f_{CFA} = \frac{fg}{tg(2,94)} = 38,9[MHz] \quad (14)$$

Sabiendo que:

$$w_{CFA} = \frac{1}{CTR2} \quad (15)$$

Calculamos el valor de R2:

$$R2 = \frac{1}{CT2\pi f_{CFA}} = 853[ohm] \quad (16)$$

Teniendo en cuenta que el producto de ganancia por ancho de banda:

$$Avffg = A_{D01}f1Avf2 \quad (17)$$

$$Avf2 = \frac{Avffg}{A_{D01}f1} = \frac{R1 + R2}{R1} = 20 \quad (18)$$

Por ultimo obtenemos el valor de R2 y R1

$$R2 = 853[ohm], R1 = 44,84[ohm] \quad (19)$$

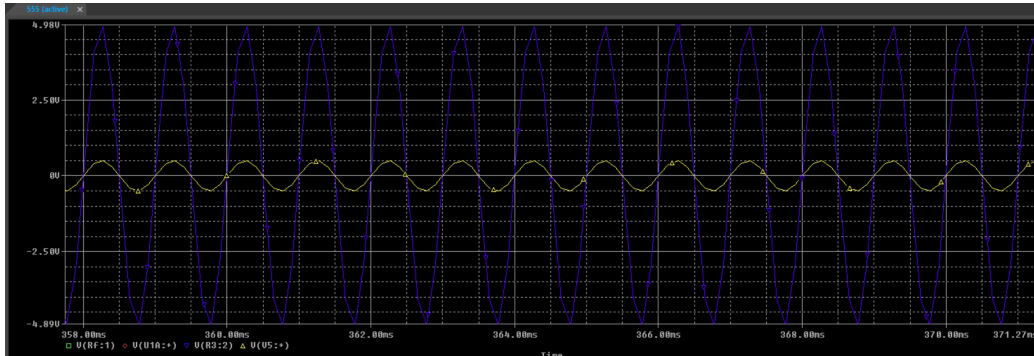


Figura 5: Salida del amplificador

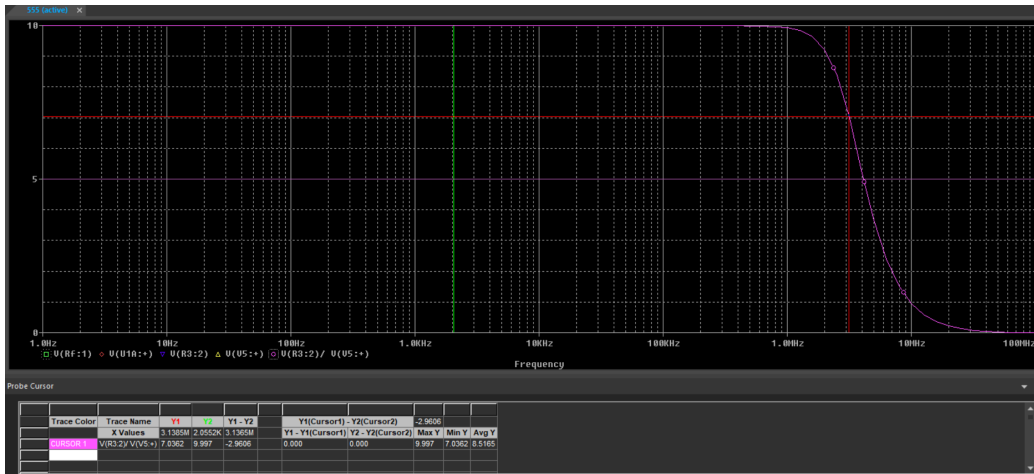


Figura 6: Respuesta en frecuencia

### 2.3. Configuración amplificador VFA+CFA II

Insertar en la configuración anterior una red de compensación cero – polo (a la salida del VFA) de tal modo que el cero de la red cancele el segundo polo del VFA. Ubicar el polo de la red a una octava de su cero. Retocar la ganancia del CFA realimentado para compensar la atenuación introducida por la red. Constatar la mejora del margen de fase a través de la respuesta al escalón. C.1 . Calcular y medir el margen de fase, el ancho de banda potencial, la frecuencia del polo de la función de transferencia a lazo cerrado y ancho de banda a -3dB. C.2 . Calcular el ancho de banda potencial, la frecuencia del polo de la función de transferencia a lazo cerrado y ancho de banda a

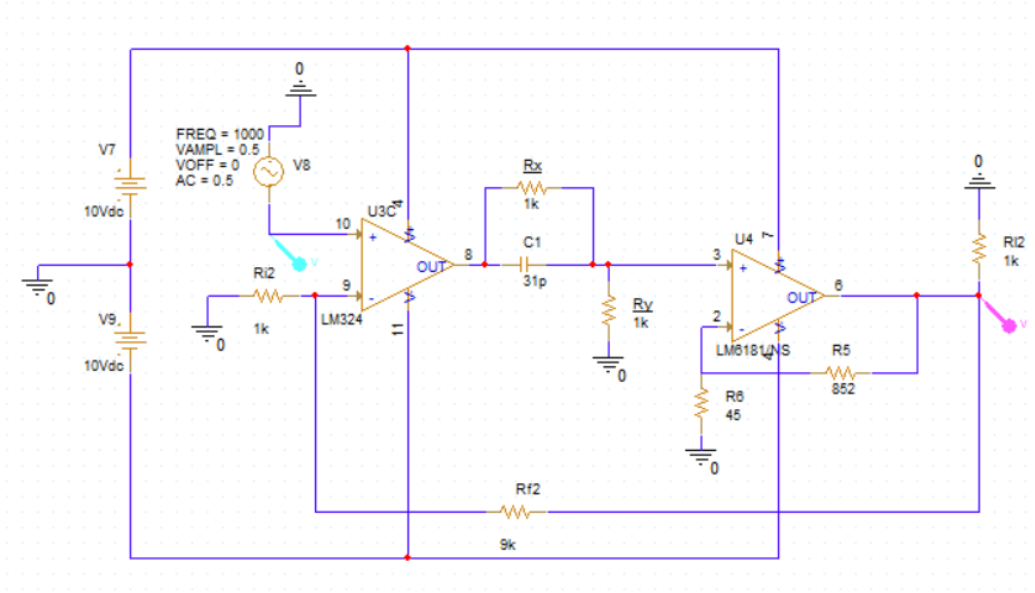


Figura 7: Diseño del compensador

-3dB. C.3 Medir el ancho de banda a -3dB. C.4 . Estimar el margen de fase obtenido en base a la respuesta al escalón del amplificador compuesto.

Utilizamos una red de compensación cero-polo para cancelar el polo  $f_{2VFA}$  y el polo del compensador se coloca a una octava de  $f_2$

$$w_{PC} = \frac{1}{CxRx//Ry} \quad (20)$$

$$w_{ZC} = \frac{1}{CxRx} \quad (21)$$

La función de transferencia del compensador resulta:

$$Ac(s) = \frac{Ry}{Ry + Rx} \frac{1 + sCxRx}{1 + sCx(Rx//Ry)} \quad (22)$$

$$w_{ZC} = 2\pi f_2[mps] \quad (23)$$

$$w_{PC} = 2\pi 10,12[Mrps] \quad (24)$$

$$2Ry = Rx + Ry = \frac{Rx}{Ry} = 1 \quad (25)$$



Por lo tanto:

$$R_x = R_y = 1[K\ ohm] \quad (26)$$

$$C_x = \frac{1}{\omega_{zc} R_x} = \frac{1}{2\pi f_{2} R_x} = 3,15[pF] \quad (27)$$

El compensador va despues del VFA por lo que hay que duplicar  $A_{vf2}$ , entonces:  $R_2 = 852[ohm]$  y  $\frac{R_2}{R_1} = 39$ , por lo tanto  $R_1 = 21,84[ohm]$

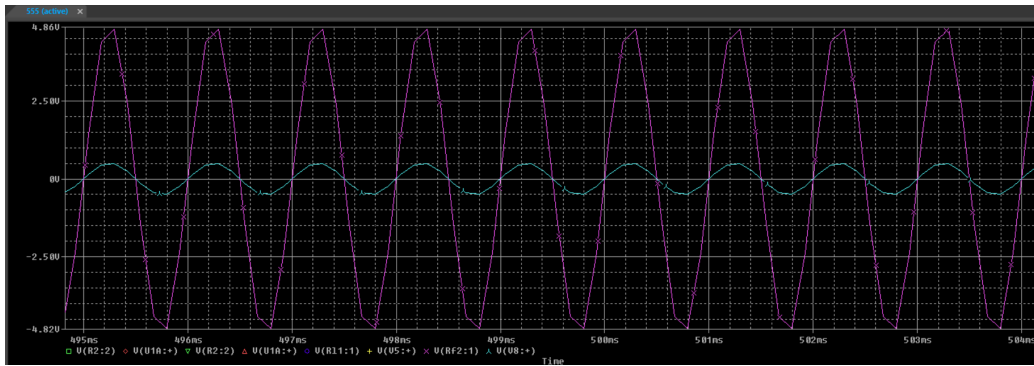


Figura 8: Salida del amplificador

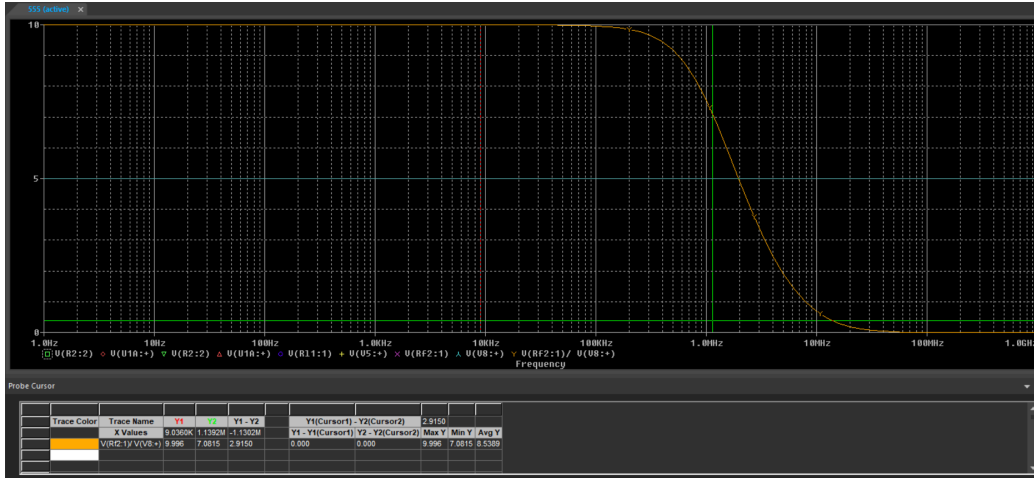


Figura 9: Respuesta en frecuencia