



Síntesis de Redes Activas

Trabajo Práctico 3

**“Amplificador Compuesto y
Compensación”**

PROFESORES:

Dr. Ing. Ferreyra Pablo.

Ing. Reale Cesar.

ALUMNOS:

Dalla Fontana Facundo.

Gonzalez Bruno.

Lafay Justin.

Antonin, Kulyk.

Amplificador Compuesto.....	3
● Diagrama Esquemático.....	3
Círculo 1: Amplificador Compuesto VFA-VFA.....	4
● Especificaciones.....	4
LM324.....	4
Amplificador Compuesto.....	4
● Análisis Teórico.....	4
→ Ganancia de Lazo Cerrado.....	4
→ Compensación.....	4
Caso 1.....	5
Caso 2.....	5
Caso 3.....	5
● Simulación.....	6
→ Diagrama Esquemático.....	6
→ Diagrama de Bode.....	6
Caso 1.....	6
Caso 2.....	7
Caso 3.....	8
→ Respuesta al Escalón.....	8
Caso 1.....	8
Caso 2.....	9
Caso 3.....	9
Caso 4.....	10
● Mediciones.....	11
Vo1=f(V1).....	11
Respuesta al escalón con R2=1K (Caso 1).....	11
Respuesta al escalón con R2=500 (Caso 4).....	12
Círculo 2: Amplificador Compuesto VFA-CFA.....	13
● Especificaciones.....	13
LM324.....	13
LM6181.....	13
Amplificador Compuesto.....	13
● Análisis Teórico.....	14
→ Análisis de lazo abierto.....	14
→ Análisis de lazo cerrado.....	14
● Simulación.....	15
→ Diagrama de Bode.....	15
→ Respuesta al Escalón.....	15
Círculo 3: Amplificador Compuesto VFA-CFA Con Compensador Cero-Polo.....	17
● Especificaciones.....	17
LM324.....	17
LM6181.....	17

Cátedra de Síntesis de Redes Activas : Trabajo Práctico N°3

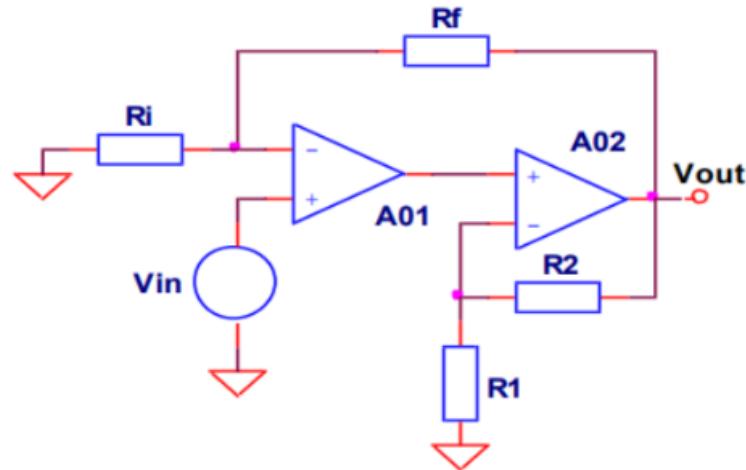
Amplificador Compuesto.....	17
● Diagrama Esquemático.....	17
● Análisis Teórico.....	18
● Simulación.....	18
→ Respuesta al Escalón.....	18
→ Diagrama de Bode.....	19

Amplificador Compuesto

Se procederá a diseñar un amplificador compuesto en configuraciones VFA-VFA y VFA-CFA de forma que se cumpla con las especificaciones deseadas.

Se utilizarán los dispositivos VFA LM324 y CFA LM6181.

- *Diagrama Esquemático*



Círculo 1: Amplificador Compuesto VFA-VFA

- *Especificaciones*

LM324

$$Ad_0 = 100 \text{ dB}$$

$$F_T = 1 \text{ MHz}$$

$$F_1 = 10 \text{ Hz}$$

$$F_2 = 5,06 \text{ MHz}$$

Amplificador Compuesto

$$Avf = 20 \text{ dB} = 10 \text{ V/V}$$

Margen de Fase = 65° (Máxima Planicidad de módulo)

- *Análisis Teórico*

Considerando ideal la ganancia de lazo cerrado de A02:

$$\text{Ganancia de lazo abierto} = Av_{OL}(0) = Ad_1(0) \cdot (1 + \frac{R2}{R1})$$

$$\text{Ganancia de lazo} = T(0) = \frac{Ri}{(Ri+Rf)} \cdot (-Ad_1(0)) \cdot (1 + \frac{R2}{R1})$$

$$\text{Ganancia de lazo cerrado} = Av_{CL,ideal} = (1 + \frac{Rf}{Ri})$$

→ Ganancia de Lazo Cerrado

$$Avfi = 20 \text{ dB} = 10 \text{ V/V} = (1 + \frac{Rf}{Ri})$$

$$Ri = 1 \text{ k}\Omega$$

$$Rf = 9 \text{ k}\Omega$$

→ Compensación

Para ajustar el margen de fase, se procede a configurar la distancia entre polos para encontrar el ω_G deseado.

El par Ri-Rf nos permite ajustar la ganancia, mientras que con el par R1-R2 ajustamos el margen de fase.

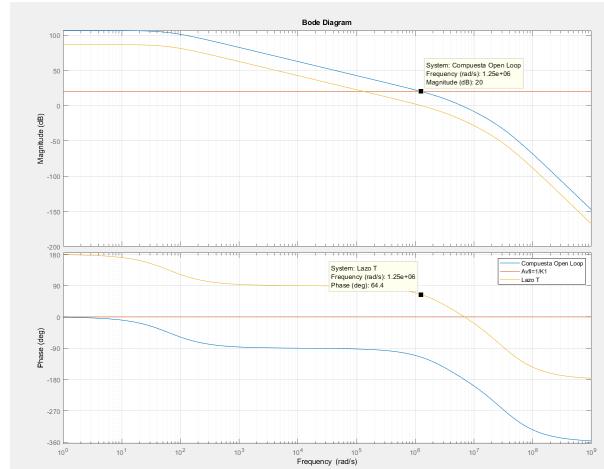
Dejamos fija R1=1K , y con un algoritmo diseñado en matlab buscamos el valor deseado de R2. Analizamos 3 casos:

1. ω_G para $|A_{vol}| = 10$ y $\angle T = 65.5^\circ$ para $\omega = \omega_G$
2. ω_H de A_{vf} y $\angle T = 65.5^\circ$ para $\omega = \omega_H$
3. Donde $\omega_G = 0,644\omega_H$

Cátedra de Síntesis de Redes Activas : Trabajo Práctico N°3

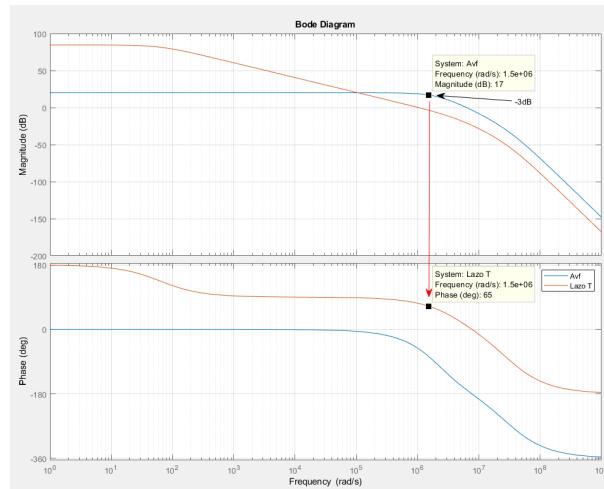
Caso 1

$R_2=1,025\text{k}\Omega$



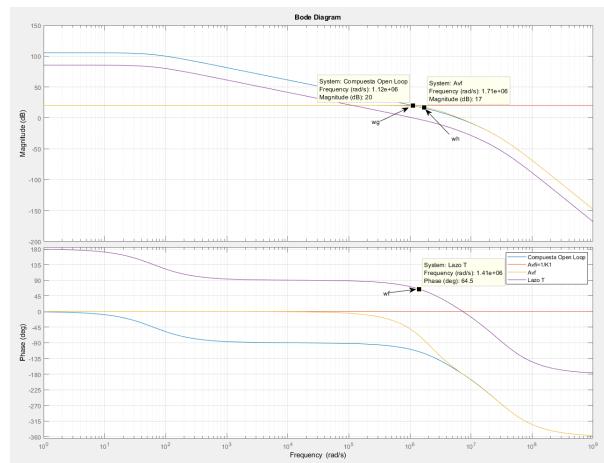
Caso 2

$R_2=688,9\Omega$



Caso 3

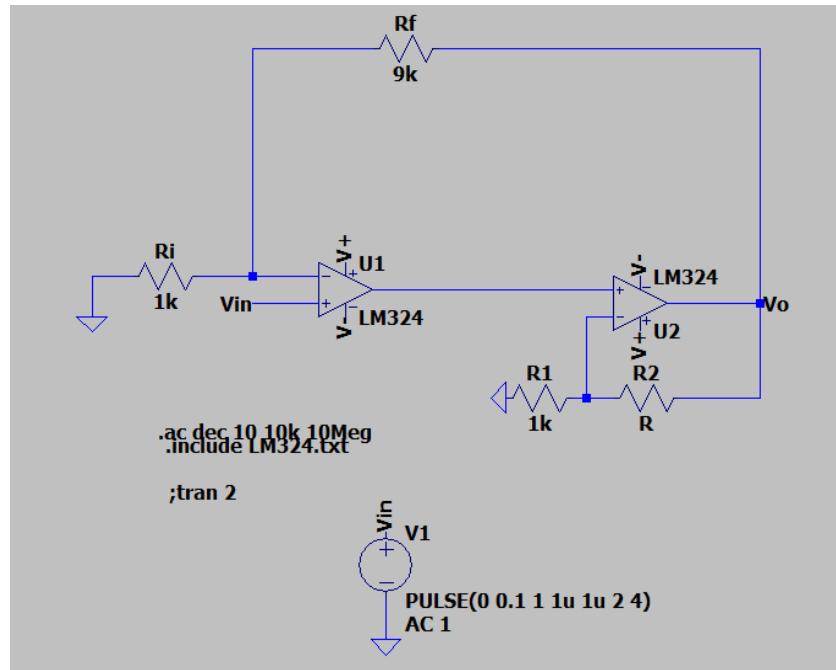
$R_2=846,4\Omega$



En este caso tenemos $\omega_g = 0,644\omega_H$ y observamos que la frecuencia para $Mf=63,4$ no coincide ni con ω_g ni con ω_H , de hecho el $Mf(\omega_g) = 69,5^\circ$.

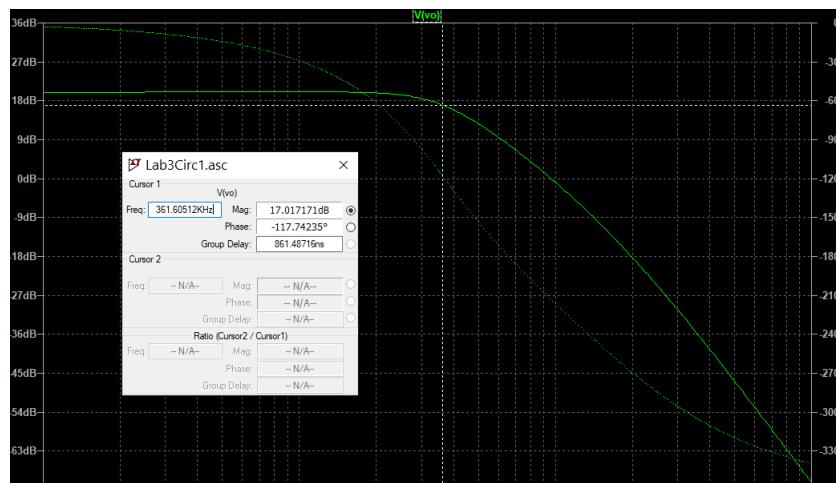
- *Simulación*

→ Diagrama Esquemático



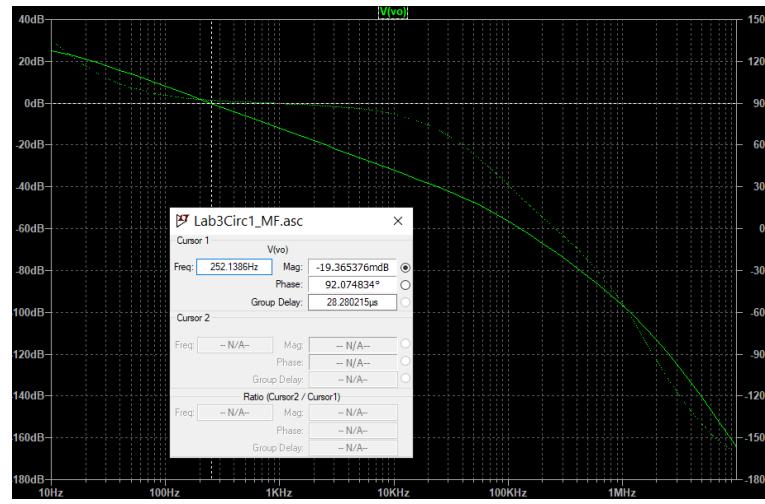
→ Diagrama de Bode

Caso 1



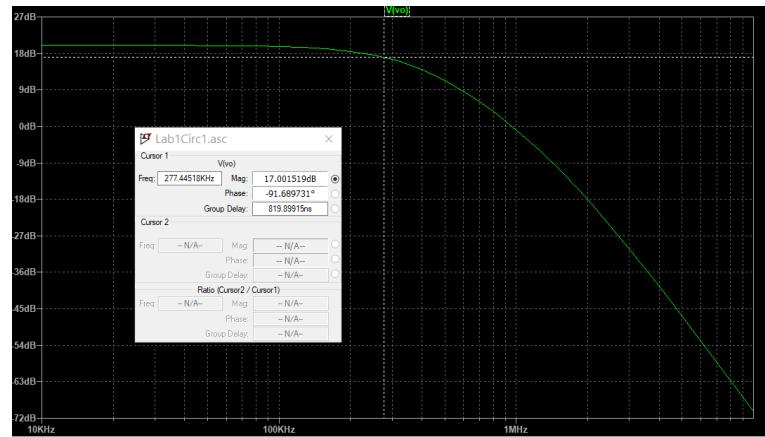
$$\omega_H = 361,6 \text{ KHz}$$

Cátedra de Síntesis de Redes Activas : Trabajo Práctico N°3

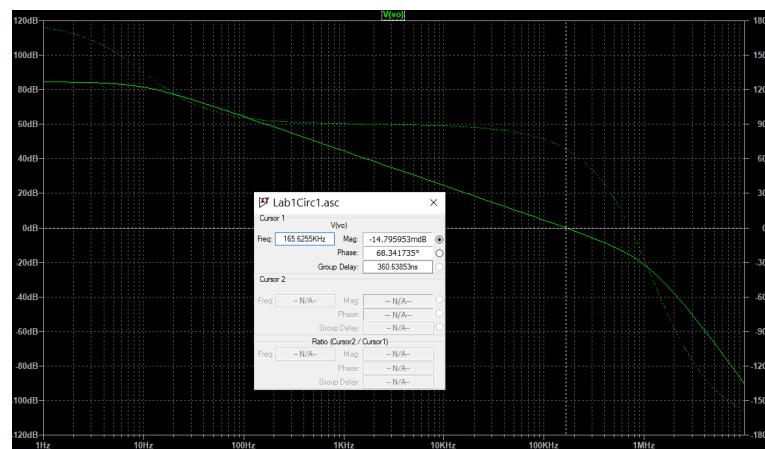


$$M_f = 92^\circ$$

Caso 2



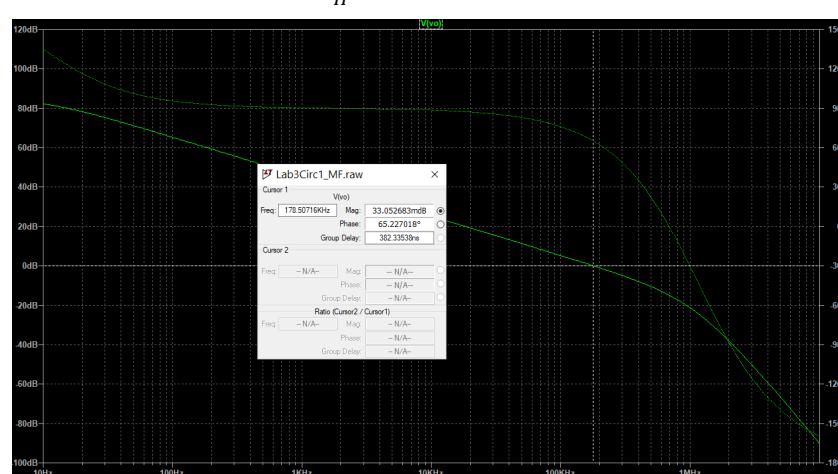
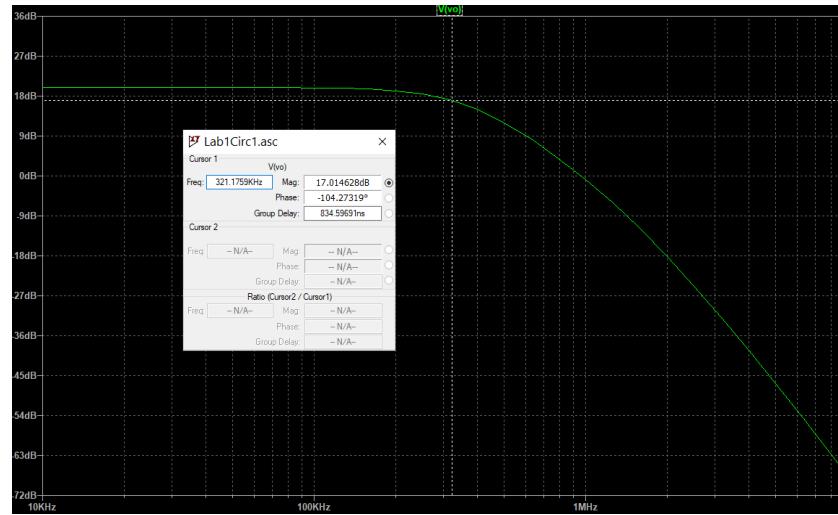
$$\omega_H = 277,44 \text{ KHz}$$



$$M_f = 68,34^\circ$$

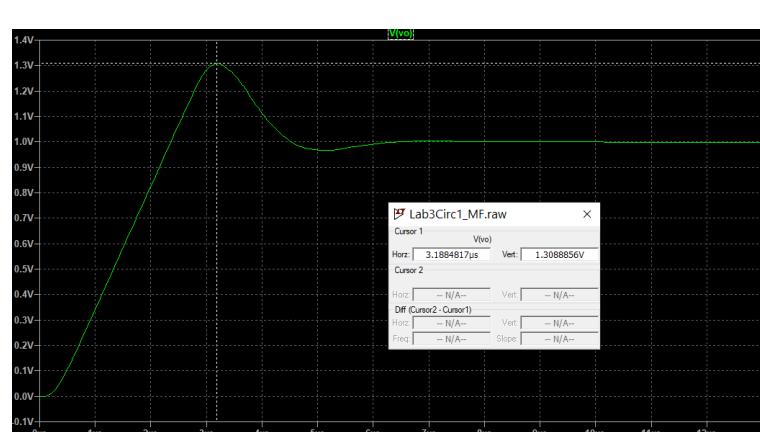
Cátedra de Síntesis de Redes Activas : Trabajo Práctico N°3

Caso 3



→ Respuesta al Escalón

Caso 1



$$M_p = \frac{1V - 1.309V}{1V} = 0,309$$

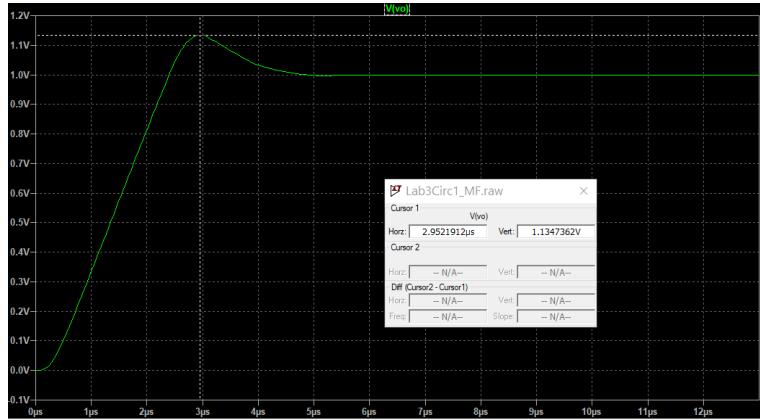
Cátedra de Síntesis de Redes Activas : Trabajo Práctico N°3

$$\xi = \sqrt{\frac{\ln(M_p)^2}{\pi^2 + \ln(M_p)^2}} = 0,35$$

$$Q_p = \frac{1}{2\xi} = 1,43$$

$$M\varphi = \arctg\left(\frac{2\xi}{\sqrt{-2\xi^2 + \sqrt{1+4\xi^4}}}\right) = 38,31^\circ$$

Caso 2



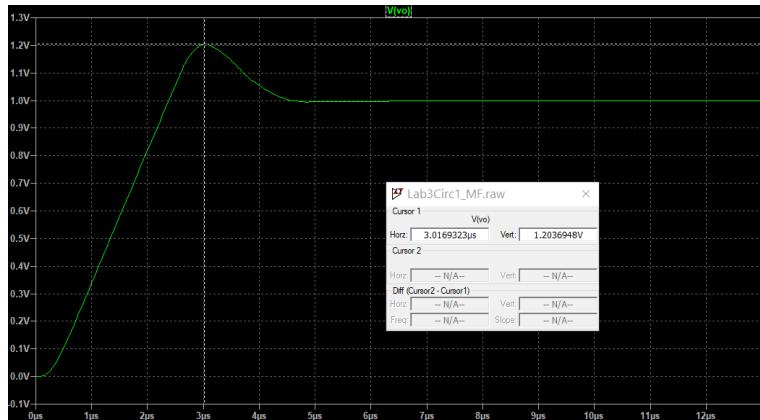
$$M_p = \frac{1V - 1,309V}{1V} = 0,1347$$

$$\xi = \sqrt{\frac{\ln(M_p)^2}{\pi^2 + \ln(M_p)^2}} = 0,5379$$

$$Q_p = \frac{1}{2\xi} = 0,929$$

$$M\varphi = \arctg\left(\frac{2\xi}{\sqrt{-2\xi^2 + \sqrt{1+4\xi^4}}}\right) = 54,789^\circ$$

Caso 3



$$M_p = \frac{1V - 1,309V}{1V} = 0,2036$$

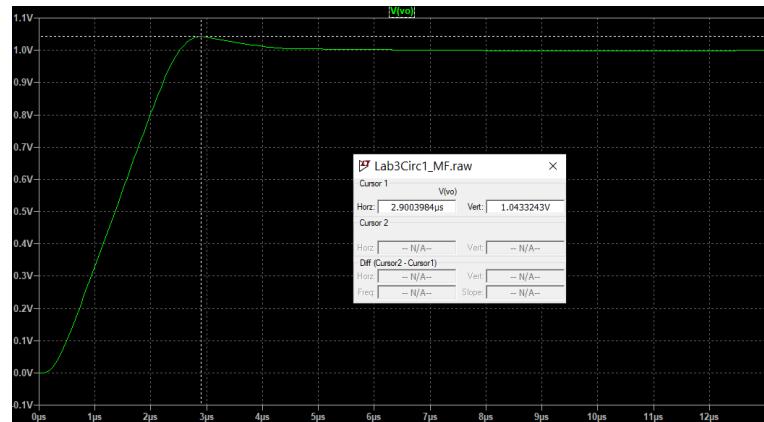
$$\xi = \sqrt{\frac{\ln(M_p)^2}{\pi^2 + \ln(M_p)^2}} = 0,4519$$

$$Q_p = \frac{1}{2\xi} = 1,1$$

$$M\varphi = \arctg \left(\frac{2\xi}{\sqrt{-2\xi^2 + \sqrt{1+4\xi^4}}} \right) = 47,79^\circ$$

Caso 4

Encontramos R2 a partir del Qp necesario ($Q_p=0,707$). En este caso, $R2=504\Omega$.



$$\xi = \frac{1}{2Q_p} = 0,707$$

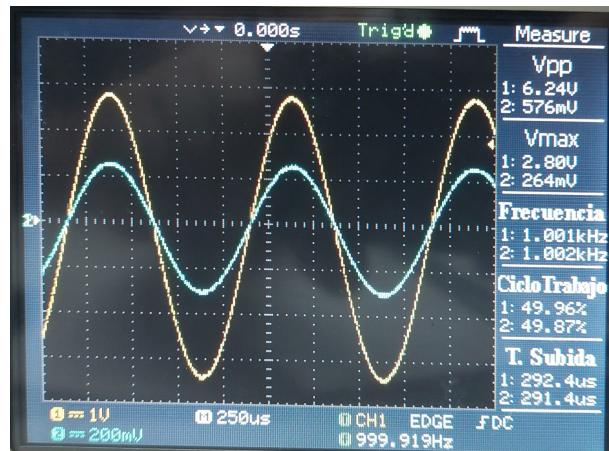
$$\phi = \arccos(\xi) = 45^\circ$$

$$M_p = e^{-\frac{\pi}{tg(\phi)}} = 0,04325 (4,3\%)$$

- *Mediciones*

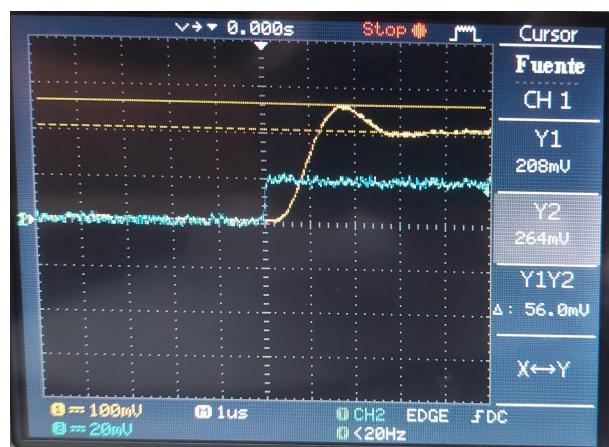
Aclaración: la implementación física del circuito utiliza $R_f = 10K\Omega$ y $R_i = 1K\Omega$ por lo tanto, la ganancia de lazo cerrado es 11.

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



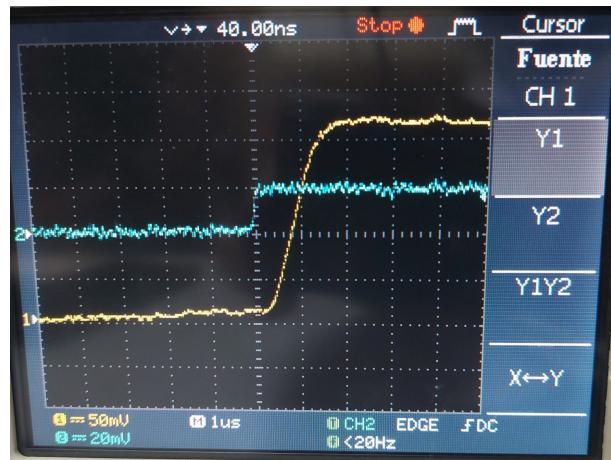
$$Av=10.83 \text{ V/V}$$

Respuesta al escalón con $R_2 = 1K\Omega$ (Caso 1)



$$Mp = 0.269 = 26.9\%$$

Respuesta al escalón con $R_2 = 500\Omega$ (Caso 4)



$M_p = 5\%$ aproximadamente.

Círculo 2: Amplificador Compuesto VFA-CFA

- *Especificaciones*

LM324

$$Ad_0 = 100 \text{ dB}$$

$$F_T = 1 \text{ MHz}$$

$$F_1 = 10 \text{ Hz}$$

$$F_2 = 5,06 \text{ MHz}$$

LM6181

$$RT = 2,37 \text{ M}\Omega$$

$$CT = 4,8 \text{ pF}$$

$$F_1 = 14 \text{ KHz}$$

$$F_2 = 82,3 \text{ MHz}$$

$$Z_T(s) = \frac{R_T}{(sR_C + 1)(\frac{s}{f_2} + 1)} = \frac{2,37 \times 10^6}{(\frac{s}{2\pi \times 14K} + 1)(\frac{s}{2\pi \times 82,3M} + 1)}$$

Amplificador Compuesto

$$Avf = 20 \text{ dB} = 10 \text{ V/V}$$

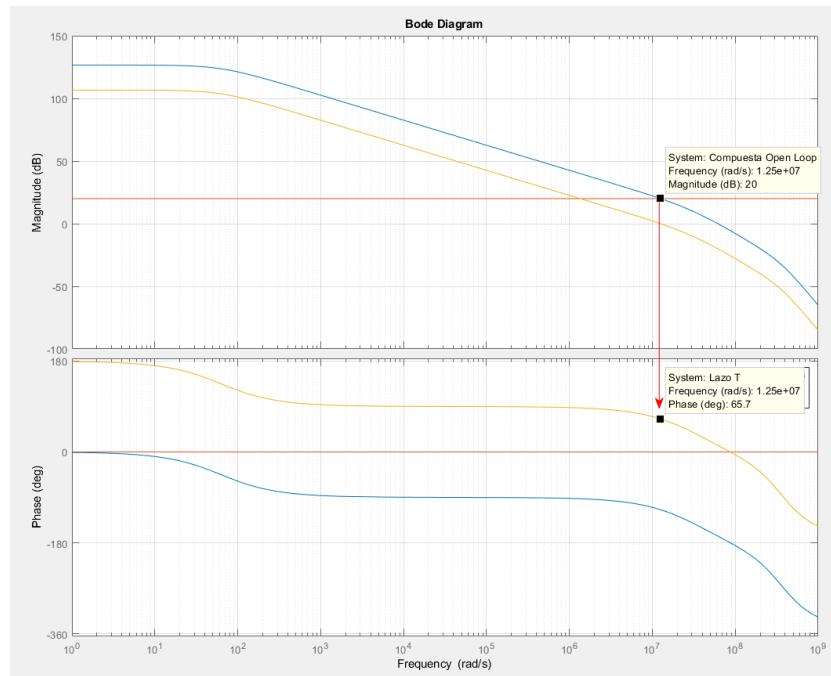
Margen de Fase = 65° (Máxima Planicidad de módulo)

- *Análisis Teórico*

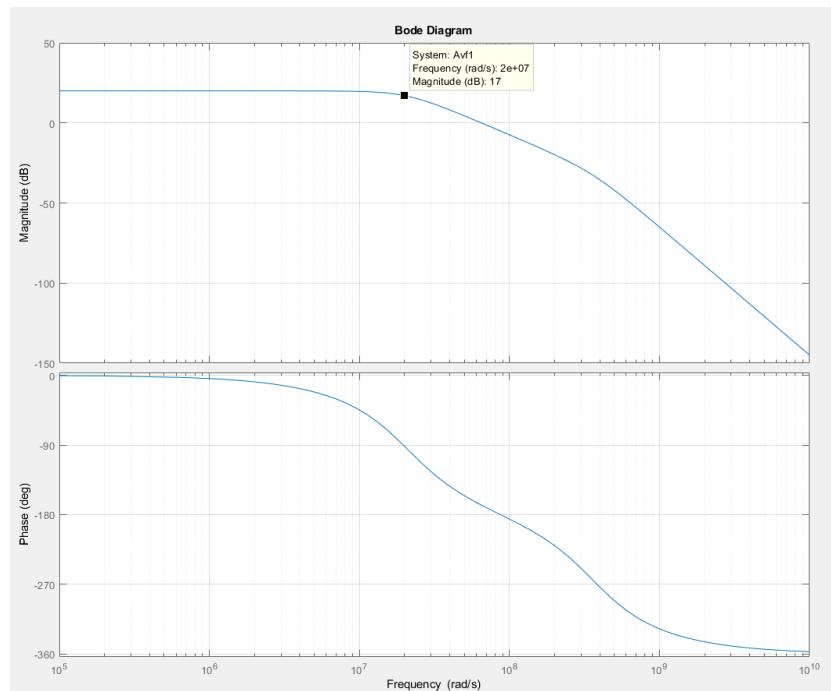
Nuevamente definimos la ganancia con el par Rf-Ri y ajustamos el margen de fase con el par R1-R2 a través de matlab. Dejamos fija R2=820Ω (Recomendada por el fabricante) y modificamos R1 para cumplir con las especificaciones.

→ Análisis de lazo abierto

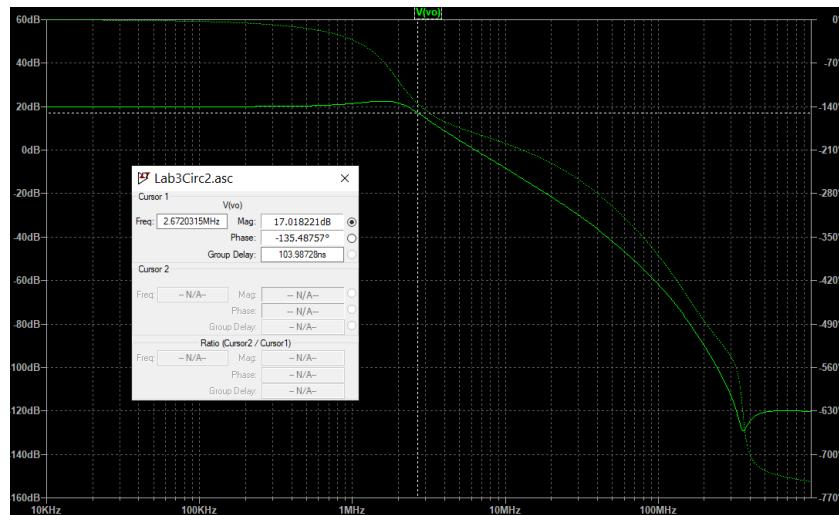
Resultando $R1=40\Omega$, se observa $\omega_G = 12,5 M \frac{rad}{s} = 2MHz$.



→ Análisis de lazo cerrado



- *Simulación*
- Diagrama de Bode

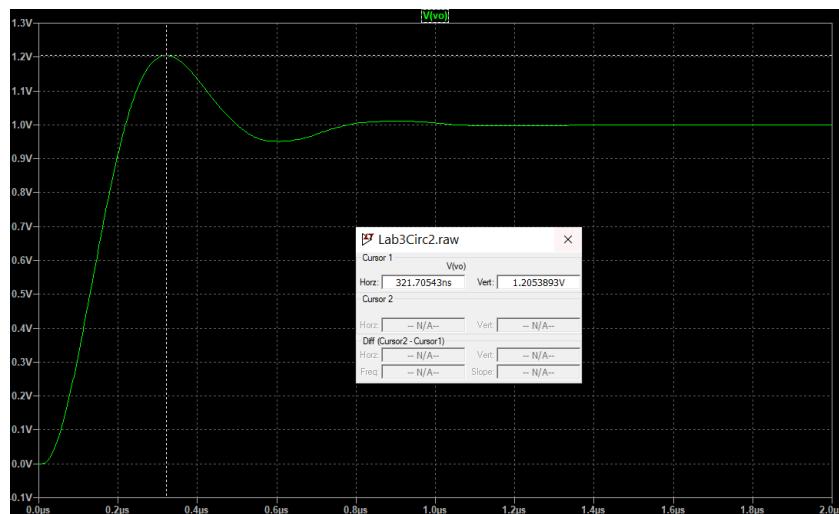


$$BW(\text{matlab}) = 3,18 \text{ MHz}$$

$$BW(\text{LTspice}) = 2,67 \text{ MHz}$$

Se observa que no hay máxima planicidad de módulo.

- Respuesta al Escalón



$$M_p = \frac{1V - 1,309V}{1V} = 0,205$$

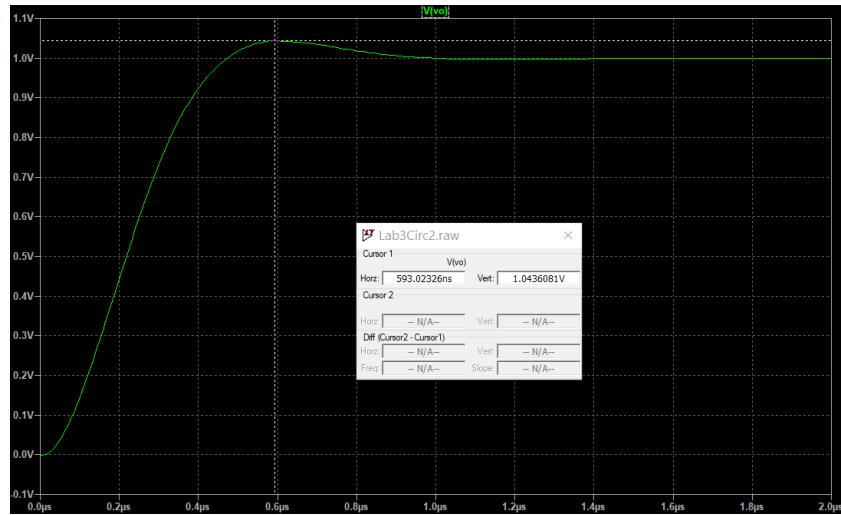
$$\xi = \sqrt{\frac{\ln(M_p)^2}{\pi^2 + \ln(M_p)^2}} = 0,45$$

$$Q_p = \frac{1}{2\xi} = 1,11$$

$$M\varphi = \arctg \left(\frac{2\xi}{\sqrt{-2\xi^2 + \sqrt{1+4\xi^4}}} \right) = 47,6^\circ$$

El excesivo sobrepasamiento demuestra que no nos encontramos con máxima planicidad de módulo.

Por lo tanto, a partir de la respuesta temporal buscamos R_1 para obtener el margen de fase deseado.



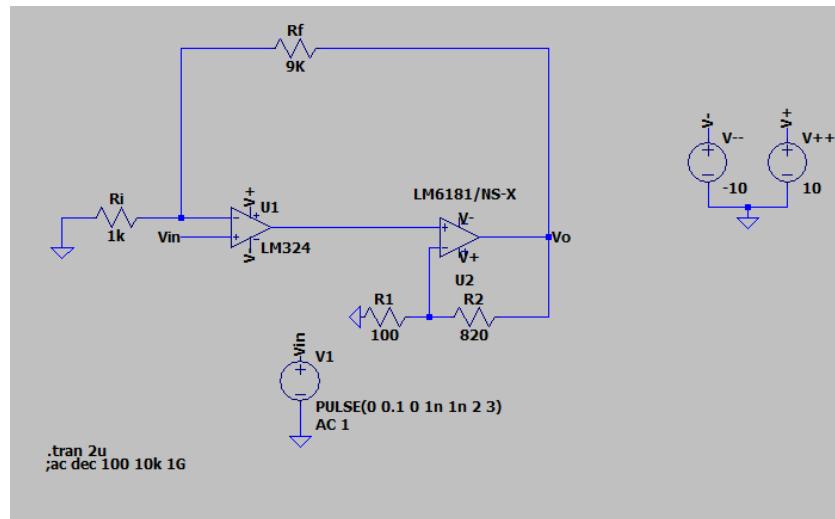
$$R_1 = 100\Omega$$

$$M_p = \frac{1V - 1,309V}{1V} = 0,0436$$

$$\xi = \sqrt{\frac{\ln(M_p)^2}{\pi^2 + \ln(M_p)^2}} = 0,706$$

$$Q_p = \frac{1}{2\xi} = 1,11$$

$$M\varphi = \arctg\left(\frac{2\xi}{\sqrt{-2\xi^2 + \sqrt{1+4\xi^4}}}\right) = 65,47^\circ$$



$$BW(LTspice) = 1,33 \text{ MHz} \text{ (colocando } R_1 = 100\Omega)$$

Círculo 3: Amplificador Compuesto VFA-CFA Con Compensador Cero-Polo

- *Especificaciones*

LM324

$$A_{d_0} = 100 \text{ dB}$$

$$F_T = 1 \text{ MHz}$$

$$F_1 = 10 \text{ Hz}$$

$$F_2 = 5,06 \text{ MHz}$$

LM6181

$$R_T = 2,37 \text{ M}\Omega$$

$$C_T = 4,8 \text{ pF}$$

$$F_1 = 14 \text{ KHz}$$

$$F_2 = 82,3 \text{ MHz}$$

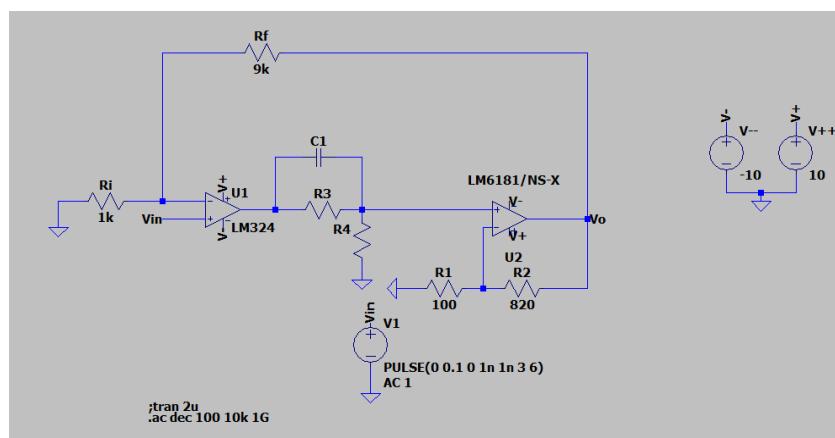
$$Z_T(s) = \frac{R_T}{(sR_T C_T + 1)(\frac{s}{f_2} + 1)} = \frac{2,37 \times 10^6}{(\frac{s}{2\pi \times 14K} + 1)(\frac{s}{2\pi \times 82,3M} + 1)}$$

Amplificador Compuesto

$$Avf = 20 \text{ dB} = 10 \text{ V/V}$$

Margen de Fase = 65° (Máxima Planicidad de módulo)

- *Diagrama Esquemático*



- *Análisis Teórico*

Para mejorar el margen de fase, la red de compensación añade un cero cuyo objetivo es cancelar el segundo polo del amplificador VFA.

Además se incorpora un nuevo polo pero una octava por encima del cero.

$$Comp(s) = Comp(0) \frac{\left(\frac{s}{\omega_z} + 1\right)}{\left(\frac{s}{\omega_p} + 1\right)}$$

$$Comp(0) = \frac{R_4}{R_3 + R_4} = 0,5$$

$$\omega_z = \frac{1}{C_1 R_3} = 2\pi f_2 = 5,06 \text{ MHz} ; \quad \omega_p = \frac{1}{C_1 (R_3 // R_4)}$$

$$C_1 = 0.1 \text{ nF}$$

$$R_3 = \frac{1}{C_1 \omega_z} = 314,46 \Omega ; \quad R_4 = R_3$$

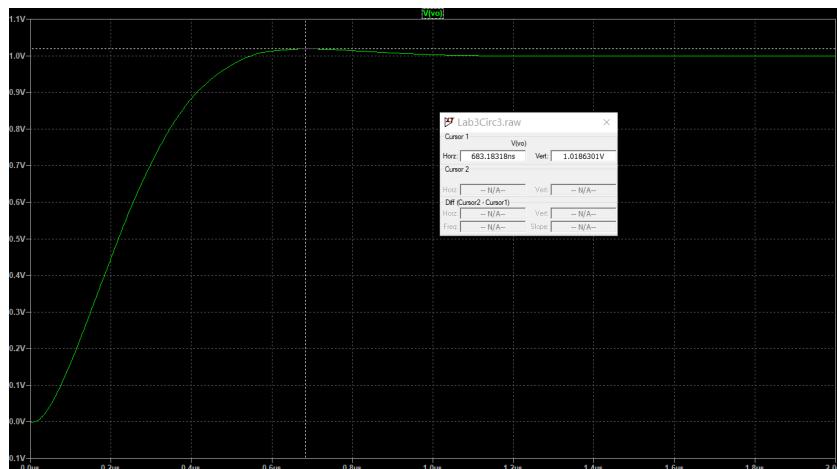
Como podemos ver, la red de compensación presenta atenuación en continua, por lo tanto debemos aumentar la ganancia del CFA al doble.

$$\text{Siendo anteriormente } A_{vfi2} = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 9,2$$

$$R_1 = \frac{R_2}{2 \times A_{vfi2} - 1} = 47,12 \Omega$$

- *Simulación*

→ Respuesta al Escalón



$$M_p = \frac{1V - 1,309V}{1V} = 0,0186$$

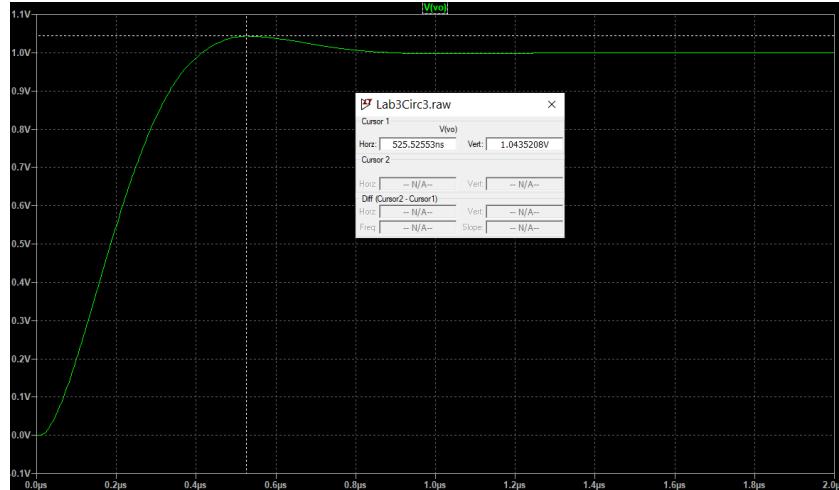
$$\xi = \sqrt{\frac{\ln(M_p)^2}{\pi^2 + \ln(M_p)^2}} = 0,785$$

$$Q_p = \frac{1}{2\xi} = 0,6367$$

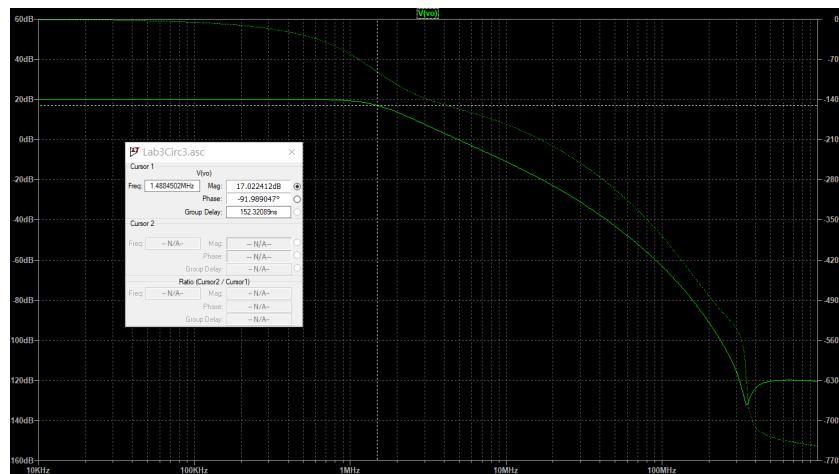
$$M\varphi = \arctg \left(\frac{2\xi}{\sqrt{-2\xi^2 + \sqrt{1+4\xi^4}}} \right) = 69,23^\circ$$

Ajustando R1 para encontrar margen de fase de 65° :

$R1=37\Omega$



→ Diagrama de Bode



Podemos ver que con esta compensación lo que logramos es directamente mejorar el margen de fase al alejar el polo, y para un mismo margen de fase, tenemos un mayor BW respecto al amplificador sin compensar.

$$BW(\text{compensado}, M\varphi = 65^\circ) = 1.48 \text{ MHz}.$$