

# 1 Comportamiento de Amplificador Operacional Inversor

A lo largo de esta seccion se procedera a analizar el comportamiento ideal y real del amplificador operacional *LM324* conectado como se muestra en la figura 1. Considerando los valores de los componentes como se puede ver en la tabla 1.

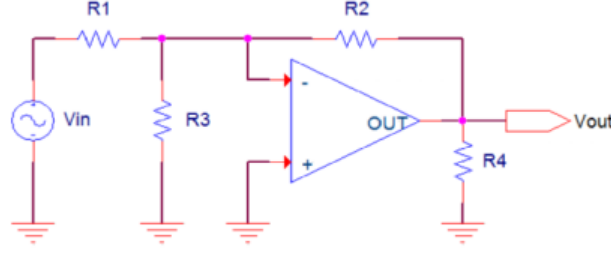


Figure 1: Circuito a analizar

Caso	$R_1 = R_3$	$R_2$	$R_4$
1	$10 (k\Omega)$	$100 (k\Omega)$	$40 (k\Omega)$
2	$10 (k\Omega)$	$10 (k\Omega)$	$40 (k\Omega)$
3	$100 (k\Omega)$	$10 (k\Omega)$	$400 (k\Omega)$

Table 1: Valores de los componentes

## 1.1 Transferencia

Comenzando por el analisis ideal, se pidió calcular y graficar la relación  $\frac{V_{out}}{V_{in}}$ , esto quiere decir, considerando  $a_0$  finito y  $A(\omega)$  con polo dominante. Considerando las siguientes ecuaciones descriptas a continuacion y operando correctamente, se llega a que la relacion  $\frac{V_{out}}{V_{in}}$  esta dada por la ecuación (1).

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{out} = -A(\omega)v^- \\ I = i_3 + i_1 \\ i_1 = -i_2 \\ v^- = i_3 R_3 \\ V_{in} - IR_1 = v^- \end{array} \right.$$

$$H(s) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{\frac{a_0 R_3 R_2}{R_1 R_2 + 2R_3 R_1 - R_3 R_2}}{1 + \frac{s}{\omega_p \left( \frac{R_1 R_2 + 2R_3 R_1 - R_3 R_2}{R_1 R_2 + R_3 R_1 - R_3 R_2} \right)}} \quad (1)$$

Como podemos ver, tenemos un polo en nuestra transferencia por lo cual, el circuito se deberia comportar a grandes rasgos como un pasabajos. Es importante notar, que el valor de  $R_4$  no afecta a la transferencia del circuito. Si graficamos la transferencia de el circuito para los distintos casos, podemos ver que, en efecto, se comporta como un pasabajos, con diferente frecuencia de corte  $f_0$ , esto se puede ver en la figura 2.

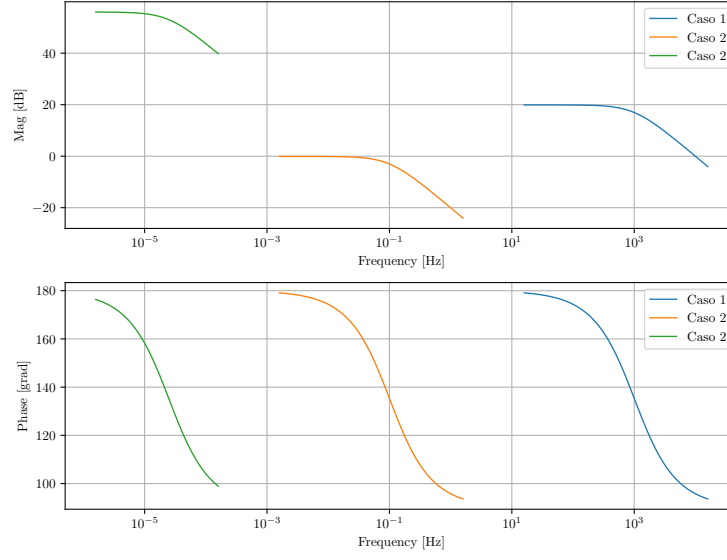


Figure 2: Comportamiento del circuito para los diferentes valores de impedancias  
CHEQUEARR SI STO ESTA BIENN

## 1.2 Impedancia de entrada

Consecuentemente, se nos instó a calcular la impedancia de entrada vista por el generador hacia nuestro circuito. Nuevamente, utilizando las ecuaciones descritas en la previa subseccion, y operando adecuadamente, llegamos a que la impedancia de entrada es la descrita en la ecuación (2).

$$K = \frac{R_2 a_0 \omega_p (R_3 + R_1) - \omega_p (a_0 - 1) (R_2 R_3 + R_1 R_2 + R_1 R_3)}{R_2 a_0 \omega_p - (R_2 + R_3) \omega_p (a_0 - 1)}$$

$$C = \frac{\omega_p (a_0 - 1) (R_2 R_3 + R_1 R_2 + R_1 R_3) - R_2 a_0 \omega_p (R_3 + R_1)}{(R_2 R_3 + R_1 R_2 + R_1 R_3)}$$

$$L = \frac{(R_2 + R_3) \omega_p (a_0 - 1) - R_2 a_0 \omega_p}{R_2 + R_3}$$

$$\Rightarrow Z_{in} = K \frac{1 + \frac{s}{C}}{1 + \frac{s}{L}} \quad (2)$$

Por lo tanto, para cada caso tendremos una impedancia de entrada como se muestra en las siguientes formulas:

$$Z_{in} = \frac{131946.78if + 999790000}{6.911498if + 99989} \text{ Caso 1}$$

$$Z_{in} = \frac{9424.77if + 499985000}{0.628318if + 49999} \text{ Caso 2}$$

$$Z_{in} = \frac{753981.6if + 99998800000}{6.911498if + 999989} \text{ Caso 3}$$

Graficando la impedancia de entrada con respecto a la frecuencia de entrada, se puede ver en la figura 3, como va variando dependiendo de la frecuencia, es decir, no permanece constante. Nuevamente, podemos observar como esta impedancia no es afectada por  $R_4$ .

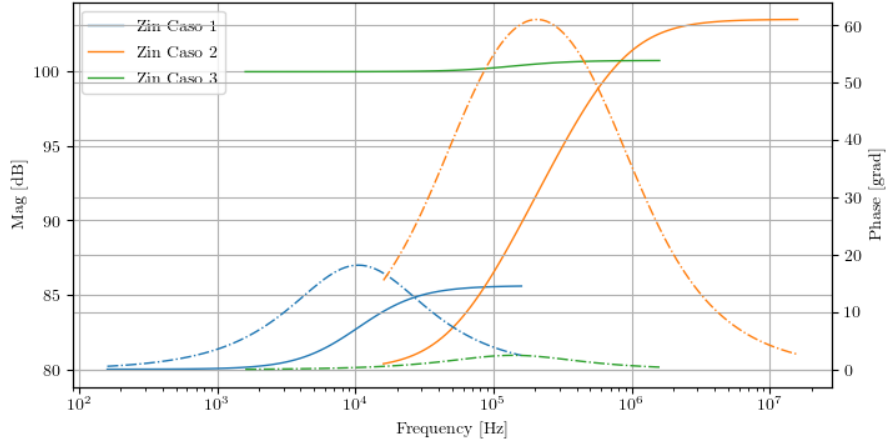


Figure 3: Impedancia de entrada

### 1.3 Consideraciones para utilizar un modelo lineal del OpAmp

A continuación, se decidió aclarar cuales son las consideraciones para caracterizar a nuestro circuito de manera lineal. Para esto poseemos varias consideraciones que son descriptas a continuación.

#### 1.3.1 Saturación y polo dominante

Si tenemos en cuenta un OpAmp ideal, nuestro primer contacto con un circuito a lineal se da cuando se entra en saturación, es decir,  $|V_{out}| > |V_{cc}|$ . Si consideramos una tension de entrada de la forma  $V_{in} = \sin(2\pi ft)$ , es decir, con amplitud  $1(V)$ , solo nos basta con analizar el valor del modulo de la transferencia vista en la ecuación (1).

$$|H(f)| = \frac{|R_2| |R_3| |a_0| |\omega_p| |R_1 R_2 + R_1 R_3 - R_2 R_3|}{\sqrt{4\pi^2 f^2 (R_1 R_2 + 2R_1 R_3 - R_2 R_3)^2 + \omega_p^2 (R_1 R_2 + R_1 R_3 - R_2 R_3)^2 |R_1 R_2 + 2R_1 R_3 - R_2 R_3|}} \leq V_{cc}$$

$$K = R_1 R_2 + 2R_1 R_3 - R_2 R_3$$

$$L = R_1 R_2 + R_1 R_3 - R_2 R_3$$

$$f \geq \frac{\sqrt{-(V_{cc}\omega_p L |K| - |R_2| |R_3| |a_0| |w| |L|) (V_{cc}\omega_p (L) |K| + |R_2| |R_3| |a_0| |w| |L|)}}{2\pi (K) |V_{cc}| |K|}$$

$$\therefore f \geq 26.5(kHz) \text{ Caso 1}$$

$$f \geq 2.6(kHz) \text{ Caso 2}$$

$$f \geq 265(Hz) \text{ Caso 3}$$

#### 1.3.2 Slew Rate

Otro problema con el cual nos topamos a la hora de poner limites a nuestro circuito será el Slew Rate (SR), que indica el valor máximo que puede tener  $\frac{\partial V_{out}}{\partial t}$ . Esto significa que a una entrada  $x(t)$  sinusoidal de la forma  $x(t) = V_p \sin(2\pi ft)$  le corresponde una salida  $v_{out}(t) = |A(\omega)| V_p \sin(2\pi ft + \phi(\omega))$  siendo  $A(\omega) = |A(\omega)| e^{i\phi(\omega)}$ . Por lo tanto, derivando la salida nos queda la ecuación (3).

$$\frac{\partial v_{out}}{\partial t} = |A(\omega)| V_p 2\pi f \cos(2\pi ft + \phi(\omega)) \quad (3)$$

A su vez, sabemos que, siempre y cuando  $\phi(\omega) = 0$  esa expresión será máxima cuando  $t=0$ . Por lo tanto;

$$\frac{\partial v_{out}}{\partial t} \big|_{t=0} = |A(\omega)| V_p 2\pi f \leq SR$$

Por ende aproximando que  $|A(\omega)| = a_0$  obtenemos que la frecuencia de trabajo de nuestro circuito debe cumplir la ecuación (4).

$$f \leq \frac{SR}{a_0 2\pi V_p} \quad (4)$$

Para el caso donde la tensión de entrada tenga un valor pico de 1(V),  $a_0 = 100000$  y  $SR = \dots$  nos queda que para cada caso se deben cumplir las siguientes ecuaciones.

$$f \leq \dots \text{Caso 1}$$

$$f \leq \dots \text{Caso 2}$$

$$f \leq \dots \text{Caso 3}$$

### 1.3.3 Corriente de BIAS

Falta escribir y desarrollar...

### 1.3.4 OFFSET

Falta escribir y desarrollar...

### 1.3.5 Disipación de Potencia

Falta escribir y desarrollar...

### 1.3.6 Generalizando

Falta escribir y desarrollar...

## 1.4 Aplicaciones y características