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.

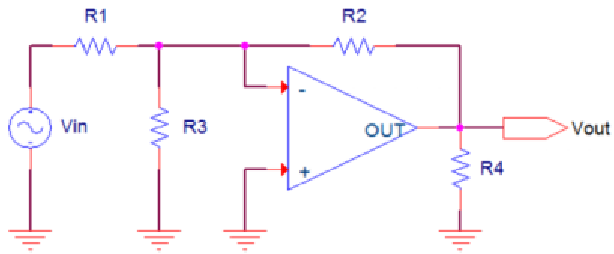

Figure 1: Circuito a analizar

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).

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

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

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.

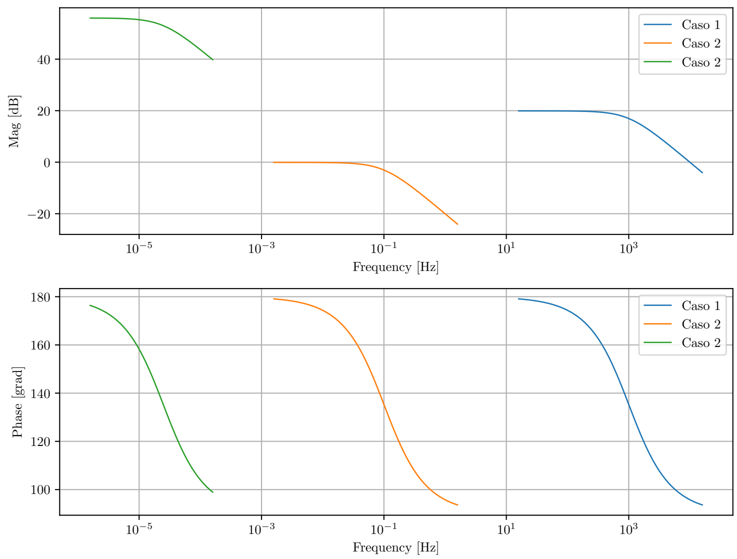

Figure 2: Comportamiento del circuito para los diferentes valores de impedancias
CHEQUEARR SI STO ESTA BIENN

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 descriptas en la previa subseccion, y operando adecuadamente, llegamos a que la impedancia de entrada es la descripta en la ecuación (2).

$$K = \frac{R_2 a_0 \omega_p (R_3 + R_1) - \omega_p (a_0 - 1)(R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3)}{R_2 a_0 \omega_p - (R_2 + R_3)\,\omega_p\,(a_0 - 1)}$$

$$C = \frac{\omega_p (a_0 - 1)(R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3) - R_2 a_0 \omega_p\,(R_3 + R_1)}{(R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3)}$$

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

$$\Rightarrow Z_{in} = K\,\frac{1 + \frac{s}{C}}{1 + \frac{s}{L}} \tag{2}$$

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

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

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

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

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.

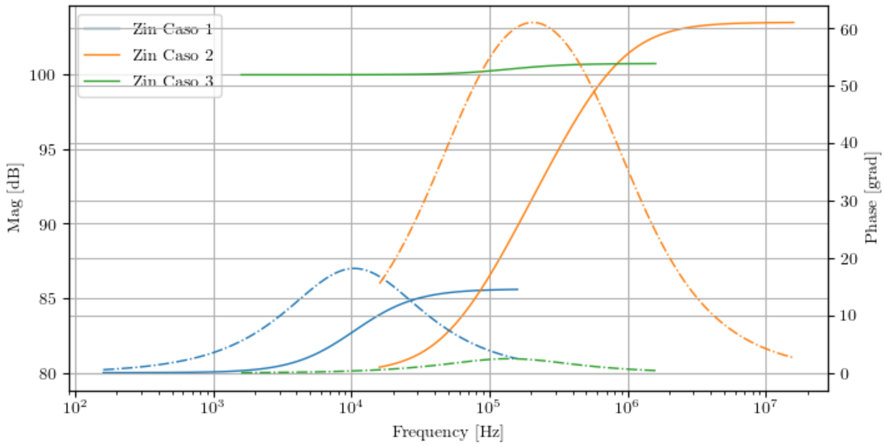

Figure 3: Impedancia de entrada

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 alineal se da cuando se entra en saturación, es decir, $|V_{out}| > |V_{cc}|$. Si consideramos una tension de entrada de la forma $V_{in} = sin(2\pi f t)$, es decir, con amplitud *1(V)* , solo nos basta con analizar el valor del modulo de la transferencia vista en la ecuación (1).

$$|H(f)| = \frac{|R_2|\,|R_3|\,|a_0|\,|\omega_p|\,|R_1R_2 + R_1R_3 - R_2R_3|}{\sqrt{4\pi^2 f^2\left(R_1R_2 + 2R_1R_3 - R_2R_3\right)^2 + \omega_p^2\left(R_1R_2 + R_1R_3 - R_2R_3\right)^2}\,|R_1R_2 + 2R_1R_3 - R_2R_3|} \leq V_{cc}$$

$$K = R_1R_2 + 2R_1R_3 - R_2R_3$$

$$L = R_1R_2 + R_1R_3 - R_2R_3$$

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

$$\therefore\; f \geq 26.5(kHz)\,Caso\,1$$

$$f \geq 2.6(kHz)\,Caso\,2$$

$$f \geq 265(Hz)\,Caso\,3$$

1.3.2 Slew Rate

Otro problema con el cual nos topamos a la hora te 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 $x(t) = V_p sin(2\pi f t)$ le corresponde una salida $v_{out}(t) = |A(\omega)|\,V_p sin(2\pi f t + \phi(\omega))$ siendo $A(\omega) = |A(\omega)|\,e^{i\phi(\omega)}$. Por lo tanto, derivando la salida nos queda la ecuación (3).

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

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

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

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

$$f \leq \frac{SR}{a_0 2\pi V_p} \tag{4}$$

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

$$f \leq ... \, Caso \, 1$$

$$f \leq ... \, Caso \, 2$$

$$f \leq ... \, Caso \, 3$$

1.4 Aplicaciones y caracerísticas

Como pudimos observar anteriormente, nuestro circuito es un pasabajos inversor con un rango de frecuencias determinadas para cada caso, durante esta sección nos centraremos en explicar algunas características de nuestro circuito.

1.4.1 Efecto de la resistencia R4 en el circuito inversor

Como pudimos ver en las las subsecciones 1.1 y 1.2, la transferencia y la impedancia de entrada no dependen del valor de R_4, lo cual nos hace pregutarnos cual es el propósito de esta resistencia. En principio, la resistencia tiene el objetivo de cargar nuestro circuito para que funcione adecuadamente, esto querría decir que la resistencia R_4 podría tomar cualquier valor entre $0 \, e \, \infty$, sin embargo, nuestro circuito presenta una corriente de salida máxima y si hacemos tender $R_4 \longrightarrow 0$, la corriente necesaria tendería a infinito, lo cual no es posible. El otro caso posible es que $R_4 \longrightarrow \infty$, esto significaria que la corriente de salida del OpAmp sea la mínima, y es necesario verificar que esa corriente no sea menor a la corriente minima de salida del OpAmp. Sin embargo, como el segundo caso no suele traer problemas, nos enfocaremos en procurar que la corriente de salida no supere la corriente máxima nominal del amplificador operacional. Para esto, y aproximando $i_2 \approx 0$, podemos decir que $R_4 > \frac{V_{out}}{i_{max}}$.

1.4.2 Efecto de la resistencia R3

Por otro lado, podemos ver como, en la figura 1, la resistencia R_3nos determina la tensión v^-. Sabiendo que $v^+ = 0(V)$, significa que en cierta medida, la ganancia de nuestro circuito va a estar dada por el valor de R_3 y en particular , si $R_3 \longrightarrow 0$, entonces $v^- = 0(v)$, por lo tanto $V_{out} = A(\omega) \, (v^+ - v^-) = 0(v)$, con lo cual nuestra ganancia sería nula. De la misma manera, podemos ver que si $R_3 \longrightarrow \infty$, entonces la ganancia es máxima.