

# 1 OpAmp

## 1.1 Introducción

Se analizaron dos circuitos con Amplificadores operacionales. El primero es un circuito inversor, cuya salida es opuesta a la entrada y la amplifica o atenúa, de acuerdo a como se configure. El segundo es no inversor, igual que el primero, atenúa o amplifica la señal de entrada, pero no la invierte. El objetivo es evaluar las características lineales y no lineales de los amplificadores operacionales. También la respuesta en frecuencia y la respuesta a distintos valores de tensiones de entrada.

## 1.2 Circuito inversor

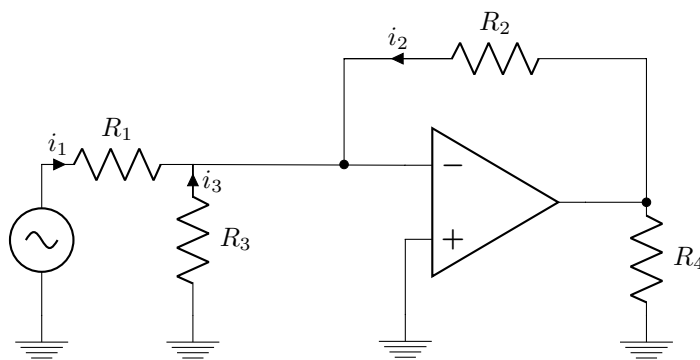


Figura 1: Esquemático del circuito Inversor

Los valores de las resistencias utilizados fueron los indicados en la Tabla 1.

Caso	$R_1 = R_3$	$R_2$	$R_4$
1	$5K\Omega$	$50K\Omega$	$20K\Omega$
2	$5K\Omega$	$5K\Omega$	$20K\Omega$
3	$50K\Omega$	$5K\Omega$	$100K\Omega$

Table 1: Valores de resistencias.

algo desir  
alog

### 1.2.1 Caso $A_{vol}$ infinito

Como  $A_{vol}$  lo consideramos infinito,  $V_i = 0$  ( tierra virtual ). Por ende  $i_3 = 0$  e  $i_2 = -i_1$ , Ademas no circula corriente por la entrada del amplificador operacional.

$$V_{out} = -\frac{i_1}{R_2} \quad (1)$$

$$i_1 = \frac{V_{in}}{R_1} \quad (2)$$

Reemplazando 2 en 1 y operando algebraicamente se obtiene:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_2}{R_1} \quad (3)$$

### 1.2.2 Caso $A_{vol}$ finito

Como  $A_{vol}$  lo consideramos finito,  $V^+ \neq V^-$ . Se considera que no circula corriente por los terminales de entrada del amplificador operacional, debido a la alta impedancia que hay entre ellos.

$$V_{out} = -V_i \cdot A_{vol} \quad (4)$$

$$i_1 = \frac{V_{in} - V_i}{R_1} \quad (5)$$

$$i_2 = \frac{V_{out} - V_i}{R_2} \quad (6)$$

$$i_3 = \frac{-V_i}{R_3} \quad (7)$$

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0 \quad (8)$$

Reemplazando 4,5,6,7 en 8, se obtiene:

$$\frac{V_{in}}{R_1} + \frac{V_{out}}{R_2} + \frac{V_{out}}{A_{vol}} \cdot \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) = 0$$

Operando algebraicamente, se obtiene:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{A_{vol} \cdot R_2 \cdot R_3}{A_{vol} \cdot R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2} \quad (9)$$

Observacion

$$\lim_{A_{vol} \rightarrow \infty} (9) = -\frac{R_2}{R_1}$$

La expresion se redujo a la ganancia del circuito, con el amplificador operacional ideal (3).

### 1.2.3 Caso $A_{vol}$ con polo dominante

$$A_{vol} = \frac{A_0}{1 + \frac{s}{W_p}} \quad (10)$$

Reemplazando (10) en (9) se obtiene:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = - \frac{\frac{A_0}{1 + \frac{s}{W_p}} \cdot R_2 \cdot R_3}{\frac{A_0}{1 + \frac{s}{W_p}} \cdot R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2} \quad (11)$$

Llamando  $K = R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = - \frac{A_0 \cdot R_2 \cdot R_3}{A_0 \cdot R_1 \cdot R_3 + K} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\frac{s}{W_p} \cdot \left( \frac{A_0 \cdot R_1 \cdot R_3 + K}{K} \right)}{1}} \quad (12)$$

Despejando se obtiene la frecuencia de corte del circuito:

$$f_P = \left( \frac{A_0 \cdot R_1 \cdot R_3 + K}{K} \right) \cdot \frac{W_P}{2 \cdot \pi} \quad (13)$$

*Observacion:* la ecuacion (12) posee la misma forma que la funcion transferencia de un pasabajos.

El amplificador operacional utilizado fue el LM324 de ON Semiconductor, de la hoja de datos se obtuvieron las siguientes características del integrado:

$A_0$	$f_P$
$10 \cdot 10^4$	$12Hz$

Table 2: Características del LM324

Donde  $A_0$  es la ganancia del amplificador operacional a lazo abierto y  $f_P$  es la frecuencia de corte a lazo abierto. A partir de las tablas 1 y 2 y de ecuación 12, se calcularon las características de las tres configuraciones del circuito analizadas.

Caso	Ganancia ideal	Ganancia $A_{vol}$ finito	Frecuencia de corte
1	-10	-9,997	$54,7KHz$
2	-1	-0,999	$386KHz$
3	-0,1	-0,099	$960KHz$

Table 3: Ganancia y frecuencia de corte del circuito. La ganancias es en veces.

A continuación se graficarán los tres casos del circuito inversor, comparando la respuesta en frecuencia con  $A_{vol}$  infinito y  $A_{vol}$  con polo dominante.

El error relativo de considerar  $A_{vol}$  como infinito, se calculo  $Error(w) = \frac{Ganancia_{A_{vol}(w)} - Ganancia_{A_{vol} \rightarrow \infty}}{Ganancia_{A_{vol}(w)}}$  de esta manera se obtuvieron los siguientes graficos:

graficos de las 3 respuestas en frecuencias

Como se observa en los tres graficos ... el error una decada antes del polo dominante es menor que el xx % , por ende utilizando el Amplificador Operacional a una frecuencia menor que una decada antes de la frecuencia de corte, se lo puede considerar como ideal, con un error del xx%.

graficos de las 3 error relativo

#### 1.2.4 Alinealidades del Amplificador Operacional

En esta seccion se analizaran las alinealidades del Amplificador operacional

- Saturacion, los amplificadores operacionales poseen alimentacion (  $+ - V_{cc}$  ) externa para asi poder aplicar. Por ende la salida del amplificador no puede superar a la alimentacion. Si la señal de entrada fuera tal que aplicada superara la alimentacion, el amplificador operacional entrega a la salida  $+o - V_{cc}$ . No todos los amplificadores operacionales saturan en  $+ - V_{cc}$ , generalmente lo hacen por debajo de dichas tensiones y no necesariamente saturan a la misma tension, por ejemplo un Amplificador operacional es alimentado con  $\pm 10$  v, y la saturacion se da a los -8 v y a los 9v.
- Slew Rate, es la tasa de cambio de la tension en funcion del tiempo. Los amplificadores Operacionales poseen un slew rate maximo, a partir del cual no pueden seguir la señal de entrada y la salida se distorciona. Para señales senoidales, la relacion entre la frecuencia de entrada, la ganancia y el slew rate es  $SlewRate_{max} = G \cdot A \cdot 2 \cdot \pi \cdot f$ , donde  $G$  es la ganancia del circuito,  $A$  es la amplitud de la señal de entrada y  $f$  es la frecuencia de la señal.
- Crossover Distortion, los amplificadores operacionales clase b y AB (ejemplo el LM324), poseen la caracteristica que la salida se encuentra en 0 v, cuando la tension de entrada del operacional se encuentra entre -0,7 v y 0,7v.

### 1.3 Circuito no inversor