# Universidad Tecnológica Nacional

*Facultad Regional Haedo*

*Departamento Ing. Electrónica*

# Electrónica Aplicada II

TRABAJO PRÁCTICO Nº2:

LABORATORIO DE INSTRUMENTAL Y SIMULACIÓN

MEDICIÓN DE LOS ERRORES ESTÁTICOS

Y DE LA GANANCIA REALIMENTADA DEL AO 741.

 OBJETO DEL TP.:

Que el alumno infiera el método correcto de compensar los errores estáticos de un amplificador operacional y verifique la ganancia y ancho de banda realimentados de un AO.

 ***1) MEDICIÓN DE LOS ERRORES ESTÁTICOS.***

 *CIRCUITO UTILIZADO.*

 ***Cálculos preliminares.***

Para el circuito anterior calcular la tensión de salida residual para las cuatro combinaciones posibles de La y Lb.

A continuación obtenemos las ecuaciones de cálculo de la tensión de salida residual debido a la tensión de offset de entrada y a la i de bias o i residual de entrada.

***Influencia de la tensión de offset de entrada (Vio)***



 ***V’or =******Tensión de salida residual f= (Vio)***

***Influencia de la corriente de polarización (IB = I de bias)***

***a) Sin R3***

**

 ***Tensión de salida residual f= (I de bias=IB)***

***b) Con R3***

 *Analicemos el caso que:* →

 ***Tensión de salida residual f= (i residual de entrada=Iio)***

***Tensión de salida residual total***

***a) Sin R3:*** Sumando efectos:

***b) Con R3:***Sumando efectos:

Calcular la tensión de salida residual total con los valores típicos y máximos de Vio, IB e Iio, sin y con R3 y volcarlos en los valores calculados del cuadro de valores 1.

***a) Sin R3:***

***b) Con R3:***

 ***Compensación de la tensión de offset de salida*.**

El amplificador operacional posee terminales de offset null, con los cuales se puede compensar y anular la tensión de salida residual total, si la tensión de entrada residual total < +/- 15 mV.



 ***Cálculo de la tensión de entrada residual total.***

La tensión de entrada residual total es igual a: *Virt = Vrot / Avf ⃓ Avf⃓ = R2/R1*

 ***a) Sin R3******:*** *Virt = Vio.(1+R2/R1) / (R2/R1) + IB.R2 / (R2/R1)*

***Virt = Vio.(1+R1/R2) + IB.R1***

 ***b) Con R3:*** *Virt = Vio.(1+R2/R1) / (R2/R1) + Iio.R2 / (R2/R1)*

***Virt = Vio.(1+R1/R2) + Iio.R1***

Calcular la tensión de entrada residual total con valores típicos y máximos de Vio, IB e Iio.

Si la misma es < 15 mV, la tensión de salida residual total podrá compensarse y llevarse a 0V.

 ***a) Sin R3:*** *Virt(típ)= Virt(máx)=*

***b) Con R3:*** *Virt(típ)= Virt(máx)=*

 ***Realización práctica:***

***a) Simulación del circuito.***

Realizar la simulación del circuito. Medir la tensión residual de salida para las cuatro combinaciones posibles y completar el cuadro de valores 1 con los valores simulados.

Presentar para los 4 casos la captura de pantalla del circuito utilizado en el simulador, junto con los valores obtenidos deVort.

***b) Mediciones prácticas de laboratorio.***

Armar el circuito en el protoboard. Medir la tensión residual de salida para las cuatro combinaciones posibles y completar el cuadro de valores 1 con los valores medidos.

 ***CUADRO DE VALORES 1***

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |   | **VALORES CALCULADOS** | **VALORES** **SIMULADOS** | **VALORES****MEDIDOS** |
| **Típicos** | **Máximos** |
| La | Lb | *Vort(típ)**(mV)* | *Vort(máx)**(mV)* | *Vort (mV)* | *Vort (mV)* |
| Cerrada | Abierta |  |  |  |  |
| Abierta | Abierta |  |  |  |  |
| Abierta | Cerrada |  |  |  |  |
| Cerrada | Cerrada |  |  |  |  |

Comparar los valores calculados, simulados y medidos y justificar posibles diferencias.

***Cuestionario y concusiones.***

1) En base a lo medido y lo calculado indique bajo qué circunstancias justifica:

a) Compensar sólo con R.

b) Compensar sólo con el potenciómetro.

c) Compensar con R y el potenciómetro.

2) Calcule la Vrot para La abierta y Lb cerrada suponiendo un ΔT = 50ºC.

3) Explique qué sucedería con Vrot si una vez compensado se cambia el AO.

4) ¿Influye la variación de Vcc y Vee en Vrot? Justifique.

***2) REALIMENTACIÓN.***



En esta segunda parte del TP se determinará analíticamente, a través de la simulación y con mediciones en el laboratorio, la respuesta en frecuencia de un AO realimentado en la configuración inversora y no inversora, obteniendo su respuesta en frecuencia, el cambio de fase en función de la frecuencia, la frecuencia de corte superior y el defasaje a dicha frecuencia de corte superior.

 ***Circuito inversor.***

 ***Cálculos preliminares.***

Para el circuito de la figura las ganancias teóricas para R2 = 10K y R2 = 100K son:

 R2 = 10K R2 = 100K

 ***Avft = - R2/R1 = -10 Avft = -R2/R1 = -100***

Para las frecuencias indicadas en el cuadro de valores 2, con las ecuaciones (1) y (2) de la página 7, calcular el módulo de Avf y la fase en función de la frecuencia.

Completar dicho cuadro de valores con los valores calculados.

Para los cálculos analíticos, procederemos a hacer una breve explicación teoría.

Para ello, vamos a modelizar un sistema para alta frecuencia que tenga un solo polo.



*Donde: AVOL y fc = ganancia y frec. de corte del AO a lazo abierto*

 Si ahora trabajamos con este modelo realimentado tenemos:

Podemos definir:

 Para nuestro caso sabemos que:

 El D se define como:

 El es aproximadamente:

 Calculamos el valor de:

 Calculamos la frecuencia de corte:

 ***Realización práctica.***

***a) Simulación del circuito.***

Se alimenta al AO con una fuente partida de 12V.

Inyectar una señal senoidal de 70mV eficaces=100mVp para R2=10K y de 7mV eficaces= 10mVp para R2=100K.

Para las frecuencias indicadas en el cuadro de valores 2, medir la tensión de entrada y salida y calcular la ganancia realimentada en base a las mismas.

Utilizar al ORC en modo DUAL para visualizar simultáneamente las señales de entrada y salida, verificar que la amplitud de la tensión de entrada se mantiene cte. con el aumento de la frecuencia y medir el desfasaje entre ambas señales a medida que se modifica la frecuencia.

Como en el osciloscopio visualizamos y medimos la amplitud de la señal en función del tiempo y no en función del ángulo, utilizamos los cursores verticales del mismo para medir el ΔT = T1 que existe entre los picos o valores máximos de la señal de entrada y salida, calculando en función de dicho ΔT = T1 el defasaje en grados que existe entre ambas, como se indica a continuación:



 Para la configuración no inversora: Para la configuración inversora:

Presentar para R2=10KΩ y R2=100KΩ y para las frecuencias de 1kHz, 10kHz y 100kHz:

a) La captura de pantalla del circuito utilizado en el simulador, junto con los valores suministrados de:

1) La tensión de entrada (vi) y de salida (vo) del AO.

2) La Avf en función de vi y vo.

3) El ΔT a partir del cual se calcula el defasaje entre la señal de entrada y salida del AO.

b) La captura de pantalla de los gráficos obtenidos de las señales vi y vo para las frecuencias de 1kHz, 10kHz y 100kHz, utilizando escalas adecuadas para una buena visualización de sus amplitudes y defasaje entre ambas.

Volcar los valores obtenidos en el cuadro de valores 2 en la parte de valores simulados.

Como los valores simulados y medidos de las frecuencias de corte y el desfasaje producido a esa frecuencia generalmente no coinciden con los valores calculados, buscar la frecuencia a la cual la ganancia cae 3db y volcar en la última fila de los cuadros de valores indicados con *fcf* la ganancia, frecuencia de corte y el desfasaje obtenidos con los valores simulados y medidos.

***b) Mediciones prácticas de laboratorio.***

Armar el circuito en el protoboard y ***seguir los mismos pasos indicados para la simulación del circuito.***

Volcar los valores obtenidos en el cuadro de valores 2 en la parte de valores medidos.

***CUADROS DE VALORES 2 – AO INVERSOR***

|  |  |
| --- | --- |
|  | **VALORES CALCULADOS** |
| Frec. | R2 = 10kΩ  | R2 = 100kΩ  |
|  Avf | φ(grados) |  Avf | φ (grados) |
| 500 Hz |  |  |  |  |
| 1 kHz |  |  |  |  |
| 5 kHz |  |  |  |  |
| 10 kHz |  |  |  |  |
| 20 kHz |  |  |  |  |
| 50 kHz |  |  |  |  |
| 100 kHz |  |  |  |  |
| 1 MHz |  |  |  |  |
|  |  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  | **VALORES SIMULADOS** |
|  R2 = 10kΩ Vi=70mVRMS | R2 = 100kΩ Vi=7mVRMS |
| Frec. |  Vo(Vef) | Avf  | ΔT(μs) | φ(grados) | Vo(Vef) | Avf | ΔT(μs) | φ(grados) |
| 500 Hz |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 kHz |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5 kHz |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 10 kHz |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 20 kHz |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 50 kHz |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 100 kHz |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 MHz |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  | **VALORES MEDIDOS** |
| R2 = 10kΩ Vi=70mVRMS | R2 = 100kΩ Vi=7mVRMS |
| Frec. |  Vo(Vef) | Avf  | ΔT(μs) | φ(grados) | Vo(Vef) | Avf | ΔT(μs) | φ(grados) |
| 500 Hz |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 kHz |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5 kHz |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 10 kHz |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 20 kHz |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 50 kHz |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 100 kHz |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 MHz |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |

******  ***Circuito no inversor***

 ***Cálculos preliminares.***

Para el circuito de la figura las ganancias teóricas para R2 = 10K y R2 = 100K son:

 R2 = 10K R2 = 100K

 ***Avft*** ***= 1+ R2/R1 = 11*  *Avft = 1+ R2/R1 = 101***

Con las siguientes ecuaciones calcular el módulo de Avf y la fase en función de la frecuencia, para las frecuencias indicadas en el cuadro de valores 3.

Completar dicho cuadro de valores con los valores calculados.

  ***Realización práctica.***

***a) Simulación del circuito.***

Se alimenta al AO con una fuente partida de 12V.

Inyectar una señal senoidal de 70mV eficaces=100mVp para R2=10K y de 7mV eficaces = 10mVp para R2=100K.

Para las frecuencias indicadas en el cuadro de valores 3, medir la tensión de entrada y salida y calcular la ganancia realimentada en base a las mediciones.

Utilizar al ORC en modo DUAL para visualizar simultáneamente las señales de entrada y salida, verificar que la amplitud de la tensión de entrada se mantiene cte. con el aumento de la frecuencia y medir el desfasaje entre ambas señales a medida que se modifica la frecuencia.

Volcar los valores obtenidos en el cuadro de valores 3, en la parte de valores simulados.

Presentar para R2=10KΩ y R2=100KΩ y para las frecuencias de 1kHz, 10kHz y 100kHz:

a) La captura de pantalla del circuito utilizado en el simulador, junto con los valores suministrados de:

1) La tensión de entrada (vi) y de salida (vo) del AO.

2) La Avf en función de vi y vo.

3) El ΔT a partir del cual se calcula el defasaje entre la señal de entrada y salida del AO.

b) La captura de pantalla de los gráficos obtenidos de las señales vi y vo para las frecuencias de 1kHz, 10kHz y 100kHz, utilizando escalas adecuadas para una buena visualización de sus amplitudes y defasaje entre ambas.

Como los valores simulados y medidos de las frecuencias de corte y el desfasaje producido a esa frecuencia generalmente no coinciden con los valores calculados, buscar la frecuencia a la cual la ganancia cae 3db y volcar en la última fila de los cuadros de valores indicados con *fcf* la ganancia, frecuencia de corte y el desfasaje obtenidos con los valores simulados y medidos.

***b) Mediciones prácticas de laboratorio.***

Armar el circuito en el protoboard y ***seguir los mismos pasos indicados para la simulación del circuito.***

Volcar los valores obtenidos en el cuadro de valores 3, en la parte de valores medidos.

***CUADROS DE VALORES 3 – AO NO INVERSOR***

|  |  |
| --- | --- |
|  | **VALORES CALCULADOS** |
| Frec. | R2 = 10kΩ  | R2 = 100kΩ  |
|  Avf | φ(grados) |  Avf | φ (grados) |
| 500 Hz |  |  |  |  |
| 1 kHz |  |  |  |  |
| 5 kHz |  |  |  |  |
| 10 kHz |  |  |  |  |
| 20 kHz |  |  |  |  |
| 50 kHz |  |  |  |  |
| 100 kHz |  |  |  |  |
| 1 MHz |  |  |  |  |
|  |  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  | **VALORES SIMULADOS** |
|  R2 = 10kΩ Vi=70mVRMS | R2 = 100kΩ Vi=7mVRMS |
| Frec. |  Vo(Vef) | Avf  | ΔT(μs) | φ(grados) | Vo(Vef) | Avf | ΔT(μs) | φ(grados) |
| 500 Hz |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 kHz |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5 kHz |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 10 kHz |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 20 kHz |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 50 kHz |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 100 kHz |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 MHz |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  | **VALORES MEDIDOS** |
|  R2 = 10kΩ Vi=70mVRMS | R2 = 100kΩ Vi=7mVRMS |
| Frec. |  Vo(Vef) | Avf  | ΔT(μs) | φ(grados) | Vo(Vef) | Avf | ΔT(μs) | φ(grados) |
| 500 Hz |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 kHz |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5 kHz |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 10 kHz |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 20 kHz |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 50 kHz |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 100 kHz |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 MHz |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |

El alumno debe presentar para las 2 configuraciones analizadas y para ambas ganancias, la respuesta en frecuencia y fase como se indica a continuación:



 Simulado con Multisim y LM741CH

 Cuestionario y conclusiones.

a) En base a lo calculado, simulado y medido, justifique las posibles diferencias.

b) Conociendo para ambos circuitos la Avft (ganancia de tensión realimentada teórica), indique el porqué de la variación de la Avf con la frecuencia y justifique a que frecuencia la ganancia cae 3dB (0,707Avf).

c) ¿Qué sucedería con la Avft si se cambia el AO y por qué?