

# ELECTRÓNICA FUNDAMENTAL

## Práctica de Laboratorio 1.

### *AMPLIFICADORES OPERACIONALES*

El objetivo general de esta práctica de laboratorio es estudiar el amplificador operacional, observando y analizando en la práctica lo visto en forma teórica. Para ello se utilizará un amplificador operacional TLC271IP en su modo “high bias” (para ello se deberá conectar el pin 8 del operacional a la fuente negativa (pin 4)).

Se trabajará con algunas de sus aplicaciones más típicas, observando su funcionamiento y analizando el impacto de sus no-idealidades.

La práctica también busca introducir al estudiante en las técnicas de diseño y análisis de circuitos sencillos.

Para cada sección se deberán realizar los cálculos, simulaciones y medidas correspondientes. Al final de la letra se detalla el contenido requerido para el informe. En general, uno de los objetivos de las prácticas de laboratorio es contrastar la teoría y modelos con la realidad. En este sentido es más importante que el alcanzar en las medidas los requerimientos pedidos con gran precisión, el entender el posible origen de las diferencias entre lo esperado, simulado y medido. En particular cuando estas diferencias se espera que sean debido a no idealidades del amplificador operacional, dicha explicación debe mostrarse que es consistente con la magnitud de dichas no idealidades que se indican en la hoja de datos.

Para el día de la defensa, los estudiantes deben traer las configuraciones (“Workspace”, archivos .dwf3work) necesarias para medir cada uno de los circuitos con el software WaveForms y los tres circuitos diseñados en esta práctica listos para ser probados (a menos eventualmente de pequeños cambios o ajustes de conexión, tal como por ej. la posición del circuito TLC271IP). El docente podrá solicitar a un estudiante particular repetir alguna medida, esperando que sea capaz de realizar dicha tarea en forma fluida y sin errores. También deben traer los netlist o esquemáticos utilizados para simular el circuito en LTspice, el cual podría ser solicitado por el docente si lo considera necesario.

**Aprobar el laboratorio no implica solo saber reproducir las medidas y simulaciones antes mencionadas sino además mostrar que se entiende claramente el porqué de lo que se está haciendo. Se podrá solicitar a un estudiante particular (cualquiera de los integrantes del grupo) responder a alguna de las preguntas de la práctica, incluyendo el fundamento teórico de la respuesta, o a preguntas sobre el sustento teórico de lo realizado en la práctica.**

## I) Astable

Objetivo: Diseñar un multivibrador Astable de acuerdo al circuito mostrado en la Figura 1.

Requerimientos:

- Período de oscilación igual a 2 ms (aproximarse a este valor con componentes de valor estándar).
- Ciclo de trabajo que pueda variar entre un 20% y un 80% del período total.
- $V_{DD} = 5\text{ V}$ ,  $V_{SS} = -5\text{ V}$ .
- Realizar la selección del valor del capacitor de forma que se pueda implementar con un capacitor no electrolítico (típicamente menor a 1  $\mu\text{F}$ ).
- Diodos sugeridos: 1N4148 (si bien varios otros diodos estándar serán adecuados).

A los efectos del diseño se podrá asumir que la salida del operacional oscila entre  $V_{SS}$  y  $V_{DD}$ , sin considerar la excursión de salida real del operacional.

Armado y medidas:

Para medir  $V_{out}$  en el osciloscopio (se incluye aquí una etapa de familiarización con el instrumento):

1. ¿Qué escalas (horizontal y vertical, segundos/división, volts/división) utilizará? ¿por qué?
  2. ¿Qué modo y valor de trigger seleccionará?
- Mida la amplitud máxima y mínima de la señal de salida  $V_{out}$ .
  - Mida el período de la señal de salida  $V_{out}$  y verifique si puede variar su ciclo de trabajo entre un 20% y un 80% del período total.
  - Observe en el osciloscopio las dos entradas del operacional U1, utilizando los dos canales del osciloscopio. Para esto, utilice la misma escala y posición vertical. ¿Logra ver que la entrada no inversora conmuta cuando iguala la tensión de la entrada inversora?
  - Utilizando los dos canales del osciloscopio mida la caída de tensión en los diodos.
  - Mida los tiempos de subida y bajada de la señal de salida. Se tomará como definición de tiempo de subida (bajada), respectivamente, el tiempo necesario para que la señal varíe entre el 10% (90%) y el 90% (10%) del rango de variación de su amplitud. ¿Qué determina estos tiempos?
  - Para medir estos tiempos, ¿qué escala horizontal (segundos/división) utilizará? Utilice los cursores del osciloscopio para ayudarse en la medida.
  - Sustituya el capacitor C de manera que el período de oscilación sea 0.02 ms y observe las variaciones que ocurren a la salida.

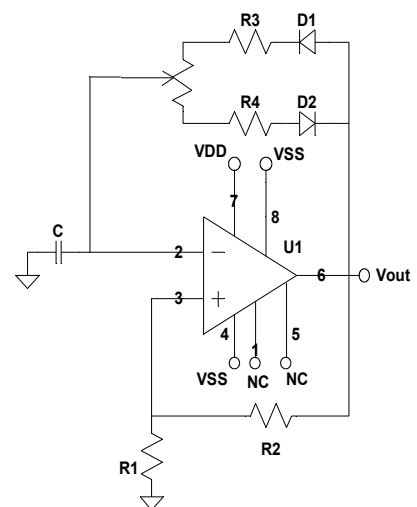


Figura 1

## II) Integrador.

Objetivo: Diseñar un integrador basado en el circuito de la Figura 2.

Requerimientos:

- Rango de Integración que incluya la banda entre 10 Hz-10 kHz. Se entiende el rango de integración como el rango de frecuencia en que el circuito tiene una característica de variación del módulo de la ganancia en función de frecuencia a razón de -20 dB/dec. ¿Qué condición impondría al polo de baja frecuencia de la transferencia para que se cumpla esto? Considerando el modelo de primer orden de la ganancia del amplificador operacional en función de la frecuencia, ¿quién determina el límite superior del rango de integración?
- La amplitud de señal a la salida a  $f = 10$  kHz deberá ser mayor a 20 mVp para una entrada de 2 Vp. Dado el polo de baja frecuencia seleccionado en base al requerimiento anterior, ¿qué condición debe cumplir la ganancia en baja frecuencia para satisfacer este requerimiento?
- $V_{DD} = 5$  V,  $V_{SS} = -5$  V.
- Seleccione para C un capacitor tal que se pueda implementar con un capacitor no electrolítico (típicamente menor a 1 $\mu$ F).

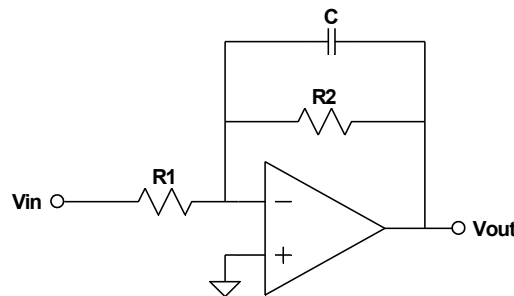


Figura 2

Simulación:

Simule la respuesta en frecuencia del circuito diseñado. Explique la diferencia con lo esperado. Sugerencia: considere el efecto de resistencia de salida no nula del operacional. Para quitar el efecto de la resistencia de salida del operacional y ver cuál es el cambio, se sugiere poner en la simulación a la salida del operacional una fuente de tensión controlada por tensión con ganancia unitaria.

Armado y medidas:

- En una primera instancia se construirá el circuito sin R2 observando para este caso el funcionamiento del mismo y midiendo la tensión DC a la salida.
- Luego se agregará R2 y se volverá a medir la tensión DC a la salida. ¿Qué determina esta tensión DC a la salida y a qué se debe la diferencia con el caso sin R2?

Para el circuito con R2:

- Relevar la respuesta en frecuencia (solo en magnitud) del circuito en un rango de frecuencias desde 10 Hz a 100 kHz. Para ello, utilice escala logarítmica y releve al menos 2 puntos por década en las zonas de interés (10 Hz, 30 Hz, 100 Hz, 300 Hz y así hasta 100 kHz).

### III) Relación de rechazo al modo común.

Objetivo: Estimar el CMRR de un amplificador operacional ( $CMRR_{U1}$ ) a partir del circuito de la Figura 3.

Demostrar en el informe que si  $R3/R1 = R4/R2$ , el CMRR del amplificador operacional ( $CMRR_{U1}$ ) resulta igual al del amplificador diferencial completo ( $CMRR_T$ ).

El circuito de la Figura 4 muestra las resistencias  $R1$ ,  $R2$ ,  $R3$  y  $R4$ , siendo  $R1=R2=150\Omega$ ,  $R3=150\text{ k}\Omega$  y  $R4$  la resistencia variable formada por  $120\text{ k}\Omega$  en serie con la resistencia variable (“preset”) de  $47\text{ k}\Omega$ . Las mismas están conectadas en la configuración conocida como puente de Wheatstone. Demostrar que cuando el puente está “equilibrado”, es decir que el voltímetro indicado como  $V$  en la Figura 4 mide  $0V$ , las resistencias cumplen la condición antes hallada.

Aplicando el resultado anterior referente a  $CMRR_{U1}$  es posible entonces utilizar el circuito de la Figura 3 para medir indirectamente el  $CMRR_{U1}$ . Es decir que  $CMRR_{U1} = CMRR_T = A_{dt}/A_{ct} = (R3/R1)/A_{ct}$ , siendo  $A_{ct} = V_{out}/V_{in}$  la ganancia en modo común total del circuito de la Figura 3.

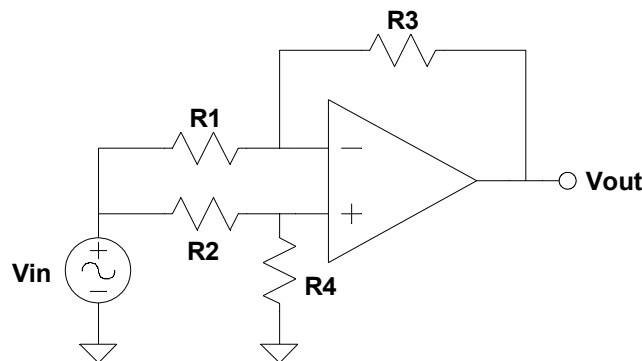


Figura 3

¿Para qué rango de frecuencia es válido asumir que la ganancia diferencial del circuito es  $R3/R1$ , si  $R3$  y  $R1$  valen respectivamente  $150\text{ k}\Omega$  y  $150\Omega$  como se indica en la Figura 4?

#### Armado y medidas:

- Se equilibrará el puente de la Figura 4. Para ello utilizar un multímetro digital (con el menor fondo de escala disponible) y no la función multímetro del Analog Discovery 2, ya que la precisión de éste ( $\pm 5\text{ mV}$ ) no es suficiente para equilibrar el puente al nivel necesario para poder estimar correctamente el alto CMRR del operacional.
- Se colocará en su lugar y conectará el amplificador operacional para tener el circuito definitivo (Figura 3).
- $VDD = 5\text{ V}$ ,  $VSS = -5\text{ V}$ .
- Mida la ganancia en modo común y la ganancia diferencial del circuito total para estimar el CMRR del amplificador operacional a  $100\text{ Hz}$  y a  $10\text{ kHz}$ . Nota: para aquellas frecuencias en que es válido asumir que la ganancia diferencial es igual a  $R3/R1$  considerar este valor en lugar de realizar la medida de la ganancia diferencial.

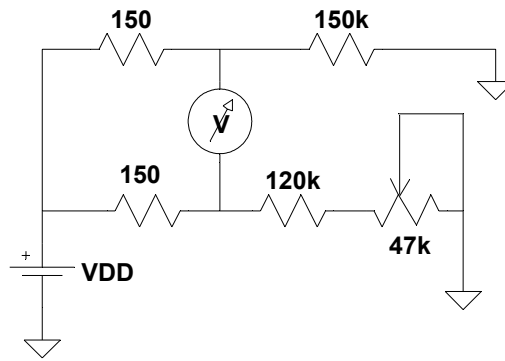


Figura 4

## Para el informe

En el informe se deberán utilizar los mismos nombres para los componentes que los presentados en las figuras de la práctica. El informe deberá contener las siguientes secciones donde se debe explicar de forma clara y concisa lo solicitado en el orden aquí establecido. **Anexe al informe todos los cálculos realizadas para obtener todos los diseños, y todos los cálculos que haya realizado para responder las preguntas del informe.** Al final del informe, y en otro anexo, los estudiantes pueden agregar medidas o discusiones adicionales en caso que deseen incluirlas.

## Astable

1. Diseño:  
Indique los valores de los componentes utilizados: R1, R2, R3, R4, Potenciómetro y C (para el período de 2 ms y para el de 0.02 ms)  
Incluya un diagrama del circuito donde se detalle cómo realizó las conexiones. Este diagrama debe indicar claramente qué terminales del integrado TLC271 conectó y a dónde (se puede utilizar el diagrama de la Figura 1).
2. Preguntas:  
Incluir la respuesta a todas las preguntas y explicaciones solicitadas en la letra de la práctica.
3. Medidas:  
Para el primer caso (período=2 ms):
  - i. Indique en una tabla los valores medidos, simulados y calculados teóricamente para la amplitud de las oscilaciones, el período de oscilación, el intervalo de variación del ciclo de trabajo.
  - ii. Justifique en no más de 100 palabras las razones de las diferencias entre el período calculado y el medido.
  - iii. Presente en una tabla los valores medidos simulados y calculados de la entrada no inversora tanto para la salida positiva como negativa.
  - iv. Indique cual fue la caída de tensión  $V_\gamma$  en los diodos.
  - v. Presente las medidas los tiempos de subida y bajada. Justifique si son o no despreciables dichos tiempos para este caso (2 ms).
  - vi. Repita i, ii y v para el segundo caso (0.02 ms).
4. Conclusión:  
Resuma en no más de 200 palabras las principales conclusiones de esta experiencia.

## Integrador

1. Diseño:  
Indique los valores de los componentes utilizados.  
Incluya un diagrama del circuito donde se detalle cómo realizó las conexiones. Este diagrama debe indicar claramente qué terminales del integrado TLC271 conectó y a dónde.
2. Preguntas:  
Incluir la respuesta a todas las preguntas y explicaciones solicitadas en la letra de la práctica.
3. Medidas:
  - i. Indique en una tabla los valores medidos, simulados y calculados teóricamente para la tensión DC a la salida en cada caso (sin R2 y con R2).  
¿Qué función cumple R2 en el circuito?
  - ii. Para el circuito con R2, presentar en una gráfica la respuesta en frecuencia relevada comparada con la respuesta teórica esperada y con la simulada.  
Comente en no más de 100 palabras las diferencias y sus posibles causas.
4. Conclusión:  
Resuma en no más de 200 palabras las principales conclusiones de esta experiencia.

## Relación de rechazo al modo común.

1. Diseño  
Incluya un diagrama del circuito donde se detalle cómo realizó las conexiones. Este diagrama debe indicar claramente qué terminales del integrado TLC271 conectó y a dónde.
2. Preguntas:  
Incluir la respuesta a todas las preguntas y explicaciones solicitadas en la letra de la práctica.
3. Medidas  
Indique en una tabla los valores medidos para los distintos valores de frecuencia y el CMRR calculado a partir de los mismos.  
Compare con el valor de la hoja de datos.
4. Conclusión  
Resuma en no más de 200 palabras las principales conclusiones de esta experiencia.