

Laboratorio de Diseño Analógico

Método de evaluación

Integración de la calificación.

En cada práctica: **Experimento + Reporte: 100 %**

La asistencia y aprobación del laboratorio son **OBLIGATORIAS** para acreditar la Materia Teórica.

Formato de entrega de reportes

Los reportes deberán ser escritos con la puntuación y la ortografía correctas. Las anotaciones, gráficas, diagramas, comentarios, cálculos, etc. realizados durante el transcurso de la práctica deberán anotarse “en sucio” en el cuaderno de prácticas, es decir toda la información recabada durante el desarrollo de las prácticas deberá aparecer en el cuaderno de reportes. El reporte final de cada práctica deberá entregarse “en limpio” en la sesión siguiente y deberá estar basado en la información plasmada en el cuaderno.

Las gráficas deberán dibujarse a escala y deberán incluir las unidades y variables en cada eje, así como el título de la gráfica. Los trazos de diferentes comportamientos deberán ser claramente diferenciados, es decir se deberán incluir patrones de trazo diferente o trazos con colores diferentes perfectamente distinguibles.

Contenido del reporte

Objetivo Explicar el objetivo de la práctica en base a la teoría vista en clase (que se pretende comprobar)

Introducción Agregar teoría referente a los experimentos desarrollados (ampliar la teoría incluida en el instructivo).

Material y Equipo Enumerar de forma específica tanto el material como el equipo utilizado para desarrollar la práctica

Desarrollo Explicar los procedimientos que se siguieron al realizar la práctica.

Conclusiones Todo tipo de comentarios (positivos y negativos) acerca del desarrollo de la práctica formas de mejorarla y/o soluciones alternativas para cumplir con el objetivo de la misma.

Gráficas, figuras y tablas Se debe emplear la misma escala en todas las gráficas y en caso necesario se pueden agregar gráficas complementarias con acercamientos para explicar un fenómeno en particular.

Aclaraciones

- El plazo máximo de entrega de reportes es de una semana a partir de la fecha de realización de la práctica. Pasada la fecha de entrega NO se recibirá ningún reporte.
- No cumplir con el formato establecido irá en detrimento de la calificación del trabajo.
- La portada tendrá el formato que se indica en la siguiente página. No incluya ningún otro dato en la portada. Esto es con el fin de facilitar su revisión.

Universidad Autónoma de Baja California



Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño



Laboratorio de Diseño Analógico

Práctica No.

Carrera: Ingeniería Electrónica

Semestre:

Alumno:

Profesor: Miguel Enrique Martínez Rosas

Ensenada, Baja California a xxx de yyy de zzzz.

Práctica 1

Amplificador Diferencial

Objetivo

Familiarizarse con el funcionamiento de un amplificador diferencial.

Introducción

La figura 1.1 muestra un circuito atractivo para realizar conmutación de muy alta velocidad este circuito evita el tiempo de saturación del transistor y logra así tiempos de conmutación más rápidos, debido a tal característica se usa en circuitos integrados de alta velocidad.

El amplificador diferencial es un circuito versátil que sirve como etapa de entrada para la mayoría de los amplificadores operacionales y también encuentra su aplicación en circuitos integrados tan diversos como el comparador y la puerta lógica acoplada por emisor.

La importancia del amplificador diferencial estriba en el hecho de que las salidas son proporcionales a la diferencia entre las dos señales de entrada. Así pues, el circuito se puede utilizar para amplificar la diferencia entre las dos entradas o amplificar una sola entrada conectando simplemente a tierra la otra entrada.

Equipo y Material empleado

- 1 Fuente de alimentación dual
- 4 Cables para fuente de alimentación
- 1 Osciloscopio
- 2 Puntas para Osciloscopio
- 1 Generador de funciones

- 1 Punta para Generador de funciones
- 1 Voltímetro
- 2 Cables para Voltímetro
- 1 Amperímetro
- 2 Cables para Amperímetro
- 3 Transistores NPN 2N2222 (o equivalente)
- 1 Tablilla de pruebas (*protoboard*)
- Resistencias
- Capacitores

Procedimiento

1. Calcule los valores de los componentes con el procedimiento mostrado en clase
2. Arme el circuito mostrado en el diagrama de la Figura 1.1, haciendo $V_2 = 0$ (es decir sustituya la fuente V_2 por una conexión a tierra).
3. Inyecte una señal de $V_1 = 1$ Vpp a una frecuencia igual a 1kHz.
4. Registre los voltajes en V_{c1} y V_{c2} .
5. Explique ¿Por qué existe una señal diferente en lugar de la misma forma que la señal de entrada?
6. Remueva la señal senoidal de T_1 y aplíquela a T_2 .
7. Registrar ahora V_{c1} , V_{c2} y anote que sucede.
8. Arme el circuito mostrado en el diagrama de la Figura 1.1, haciendo $V_1 = 0$ (es decir sustituya la fuente V_1 por una conexión a tierra) e inyecte una señal de $V_2 = 1$ Vpp a una frecuencia igual a 1kHz.
9. Registre V_{c1} y V_{c2} .
10. ¿Qué sucede si se aplican señales desfasadas 180° (una con respecto a la otra) a cada entrada T_1 y T_2 .
11. Realice los cálculos y verifique los valores de las componentes.
12. Trace las rectas de carga de cd , ac , punto de operación. Calculado y experimental.
13. ¿Qué ventajas presenta este amplificador con respecto a los que ha visto en prácticas anteriores?

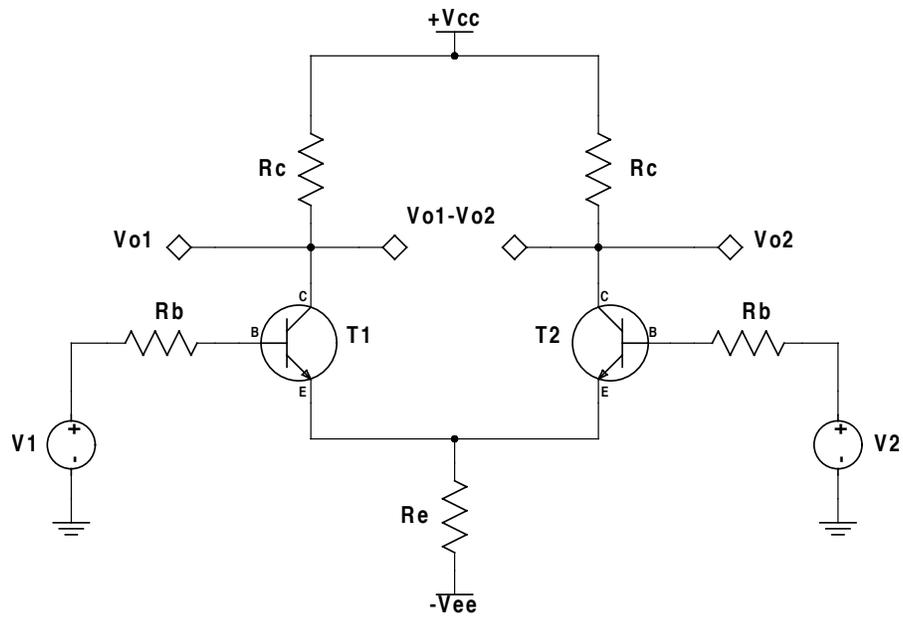


Figura 1.1: Amplificador diferencial básico.

Práctica 2

Fuentes de corriente constante

Objetivo

Familiarizarse con el funcionamiento de fuentes de corriente y circuitos de ganancia en cascada.

Introducción

Los transistores bipolares pueden conectarse de varias maneras en un circuito que actúa como una fuente de corriente constante. También se pueden utilizar resistencias y un transistor NPN para que opere como un circuito de corriente constante.

Un circuito de espejo de corriente proporciona una corriente constante y se utiliza principalmente en circuitos integrados. La corriente se obtiene a partir de una corriente de salida que es el reflejo o espejo de una corriente constante que se desarrolló en la otra rama del circuito.

Equipo y Material empleado

- 1 Fuente de alimentación dual
- 4 Cables para fuente de alimentación
- 3 Transistores 2N2222 (o equivalente)
- 1 Tablilla de pruebas (*proto-board*)
- 1 Voltímetro
- 2 Cables para Voltímetro

- 1 Amperímetro
- 4 Cables para Amperímetro
- Resistencias
- 6 Diodos Emisores de Luz (LEDs)
- 1 Diodos Zener con $V_Z = 1.7$ V (o el de menor valor pero con $V_Z \geq 1$ V disponible comercialmente)

Procedimiento

1. Calcule los valores de los elementos para que la fuente de corriente proporcione una corriente constante de 20 mA
2. Utilice las siguientes ecuaciones para realizar los cálculos:

$$P_Z = V_Z I_{Z_{max}}$$

$$I_{Z_{nom}} = 0.6 I_{Z_{max}}$$

$$R_{Z_{nom}} = \frac{V_{CC} - V_Z}{I_{Z_{nom}}}$$

$$V_Z = V_{BE} + I_L R_E$$

$$R_E = \frac{V_Z - V_{BE}}{I_L}$$

3. Calcular el valor máximo y mínimo de R_L , recuerde que la corriente de salida (I_L) debe ser constante.

$$V_{CC} = I_L R_L + V_{CE} + I_L R_E$$

$$R_L = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_L} - R_E$$

4. Arme el circuito mostrado en la Figura 2.1
5. Mida la corriente de salida empleando las resistencias de carga siguientes:
 - a) $R_L = \frac{R_{L_{max}}}{2}$
 - b) $R_L = \frac{R_{L_{max}}}{10}$
 - c) $R_L = R_{L_{max}}$
 - d) $R_L = 2R_{L_{max}}$
 - e) $R_L = 0$ (corto circuito)
6. Cambie la R_L por un LED y anote sus observaciones
7. Agregue un LED en serie y anote sus observaciones

8. Repita el paso anterior hasta que ya no encienda el arreglo de LEDs
9. Repita todo el procedimiento pero ahora empleando el circuito mostrado en la Figura 2.2

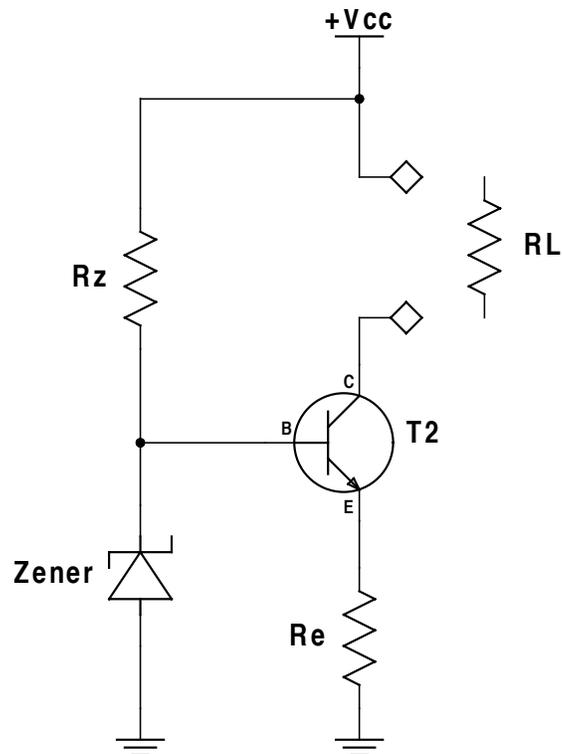


Figura 2.1: Configuración de fuente de corriente con diodo Zener.

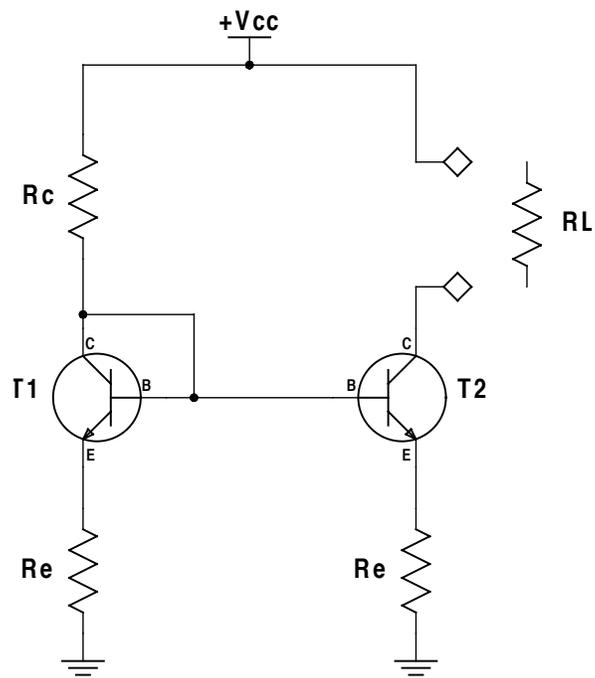


Figura 2.2: Configuración de fuente de corriente tipo *espejo de corriente*.

Práctica 3

Amplificador diferencial con fuente de corriente constante

Objetivo

Familiarizarse con el funcionamiento de un amplificador diferencial con fuente de corriente constante.

Introducción

En un amplificador diferencial ideal la tensión de salida es proporcional al voltaje en modo diferencial V_d y no depende de la tensión de modo común V_a . Según esto, en un amplificador diferencial ideal la ganancia en modo común es $A_a = 0$. Esta condición no se puede cumplir en la práctica ya que para tener una $A_a = 0$, el valor de la R_E tendría que ser infinita. Con el fin de medir la desviación con respecto al ideal, se utiliza una cantidad denominada razón de rechazo en modo común (RRMC), la cual se define como la relación entre la ganancia de modo diferencial y la ganancia de modo común.

$$RRMC = \frac{A_d}{A_a}$$

Para hallar el valor máximo de RRMC se considera que:

$$RRMC = \frac{R_E}{\frac{R_B}{\beta} + \frac{h_{ie}}{\beta}} = \frac{R_E}{\frac{R_B}{\beta} + \frac{V_T}{I_{EQ}}}$$

En donde $V_T = 25$ mV, pero si $\frac{R_B}{\beta}$ es muy pequeña, entonces:

$$RRMC \approx \frac{R_E I_{EQ}}{V_T}$$

Así pues, únicamente se puede aumentar la RRMC aumentando $R_E I_{EQ}$, que sería la caída de tensión en R_E . Este proceso entonces, resultaría limitado por la disipación de potencia en R_E , la tensión disponible de la fuente de alimentación, etc.

Los amplificadores diferenciales que se utilizan en práctica suelen tener una fuente de corriente constante en lugar de R_E

Equipo y Material empleado

- 1 Fuente de alimentación dual
- 4 Cables para fuente de alimentación
- 1 Osciloscopio
- 2 Puntas para Osciloscopio
- 1 Generador de funciones
- 1 Punta para Generador de funciones
- 1 Voltímetro
- 2 Cables para Voltímetro
- 1 Amperímetro
- 2 Cables para Amperímetro
- 3 Transistores NPN 2N2222 (o equivalente)
- 1 Tablilla de pruebas (*proto-board*)
- Resistencias
- Capacitores

Procedimiento

1. Calcule los valores de los componentes con el procedimiento mostrado en clase
2. Arme el circuito mostrado en el diagrama de la Figura 3.1, haciendo $V_2 = 0$ (es decir sustituya la fuente V_2 por una conexión a tierra).
3. Inyecte una señal de $V_1 = 1$ Vpp a una frecuencia igual a 1kHz.

PRÁCTICA 3. AMPLIFICADOR DIFERENCIAL CON FUENTE DE CORRIENTE CONSTANTE 11

4. Registre los voltajes en V_{c1} y V_{c2} .
5. Explique ¿Por qué existe una señal diferente en lugar de la misma forma que la señal de entrada?
6. Remueva la señal senoidal de T_1 y aplíquela a T_2 .
7. Registrar ahora V_{c1} , V_{c2} y anote que sucede.
8. Arme el circuito mostrado en el diagrama de la Figura 1.1, haciendo $V_1 = 0$ (es decir sustituya la fuente V_1 por una conexión a tierra) e inyecte una señal de $V_2 = 1$ Vpp a una frecuencia igual a 1kHz.
9. Registre V_{c1} y V_{c2} .
10. ¿Qué sucede si se aplican señales desfasadas 180° (una con respecto a la otra) a cada entrada T_1 y T_2 ?
11. Realice los cálculos y verifique los valores de las componentes.
12. Trace las rectas de carga de cd , ac , punto de operación. Calculado y experimental.
13. ¿Qué ventajas presenta este amplificador con respecto a los que ha visto en prácticas anteriores?

PRÁCTICA 3. AMPLIFICADOR DIFERENCIAL CON FUENTE DE CORRIENTE CONSTANTE¹²

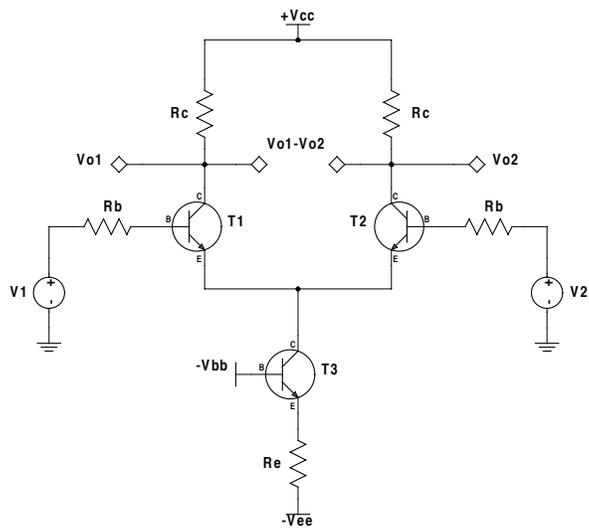


Figura 3.1: Amplificador diferencial con fuente de corriente.

Práctica 4

Estabilidad del Punto de Operación Q

Objetivo

Familiarizarse con la estabilidad de la polarización y funcionamiento de un amplificador emisor común (EC) en sus tres configuraciones básicas.

Introducción

El transistor es un dispositivo que puede elevar el nivel de una señal de ca de entrada sin la ayuda de una fuente de energía externa. En realidad, el nivel de potencia de salida de ca mejorado es resultado de una transferencia de energía proveniente de las fuentes de cd aplicadas. Es por esto que el análisis o diseño de cualquier amplificador electrónico se divide en dos partes, la porción de cd y la porción de ca .

Para los amplificadores a analizar, la corriente de cd y los voltajes resultantes establecen un punto de operación sobre las características que define la región que será empleada para la amplificación de la señal aplicada. Debido a que el punto de operación es un punto fijo sobre las curvas características, se le denomina también como punto de reposo (Q , “quiescent point”).

Una vez que se selecciona un transistor se debe tomar en cuenta el efecto de la temperatura. La temperatura causa que los parámetros del dispositivo como la ganancia de corriente del transistor y la corriente de la fuga del mismo se modifiquen. Mayores temperaturas provocan un incremento en las corrientes de fuga del dispositivo con lo que se modifica la condición de operación establecida por la red de polarización. La consecuencia de esto es que el diseño de la red deberá proporcionar también un grado de estabilidad en temperatura de manera que los cambios de temperatura provoquen las menores modificaciones en el punto de operación. La conservación del punto de operación puede especificarse

mediante un factor de estabilidad el cual indica el grado de cambio en el punto de operación debido a una variación de temperatura.

Equipo y Material empleado

- 1 Fuente de alimentación dual
- 4 Cables para fuente de alimentación
- 1 Transistor 2N2222 (o equivalente)
- 1 Tablilla de pruebas (*proto-board*)
- 1 Voltímetro
- 2 Cables para Voltímetro
- 1 Voltímetro con capacidad para medir temperatura con Termopar
- 1 Termopar (ver Figura 4.1)
- 1 Amperímetro
- 4 Cables para Amperímetro
- Resistencias
- 1 Cautín

Procedimiento

1. Calcule los valores de las resistencias para los amplificadores mostrados en la Figura 4.2 con el procedimiento visto en clase.
2. Arme los circuitos mostrados en la Figura 4.2 utilizando los valores de componentes previamente calculados.
3. Conecte el Amperímetro y el Voltímetro para medir la corriente I_C y el voltaje V_{CE} de cada uno de los circuitos.
4. Mida el punto Q (V_{CEQ}, I_{CQ}) para cada una de las configuraciones mostradas en la Figura 4.2 a por lo menos 4 temperaturas diferentes
5. Una el termopar al transistor enrollándolo a la carcasa externa con un alambre de cobre como se muestra en la Figura 4.3 y utilice un cautín para incrementar la Temperatura del transistor
6. Mida el valor de la temperatura del transistor con ayuda del termopar (ver Figura 4.4)
7. Trace las recta de carga para cada circuito y dibuje los puntos de operación respectivos a cada temperatura.

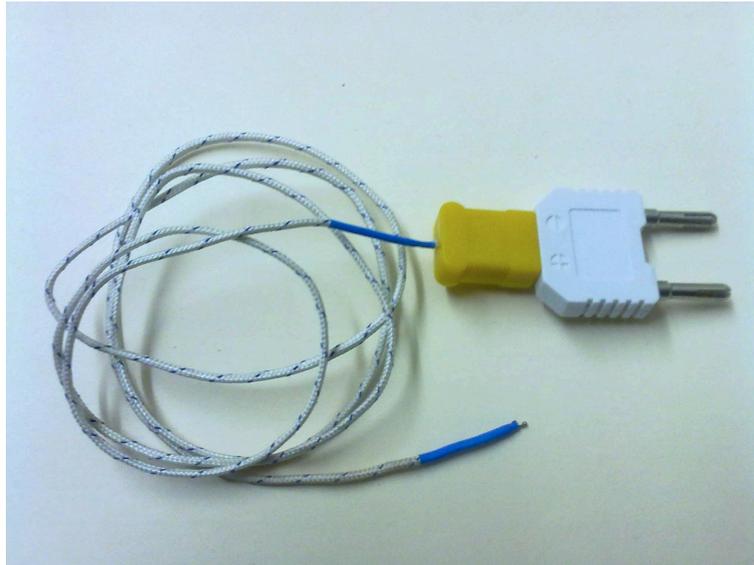


Figura 4.1: Termopar.

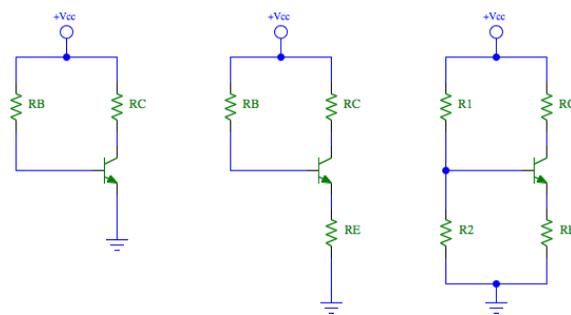


Figura 4.2: Amplificadores básicos en configuración Emisor-Común.

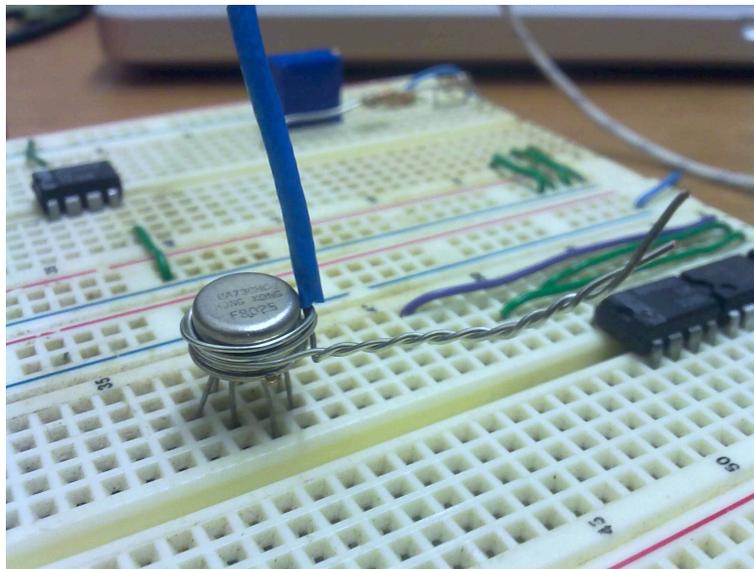


Figura 4.3: Detalle del alambre de cobre enrollado sobre el transistor con el termopar.

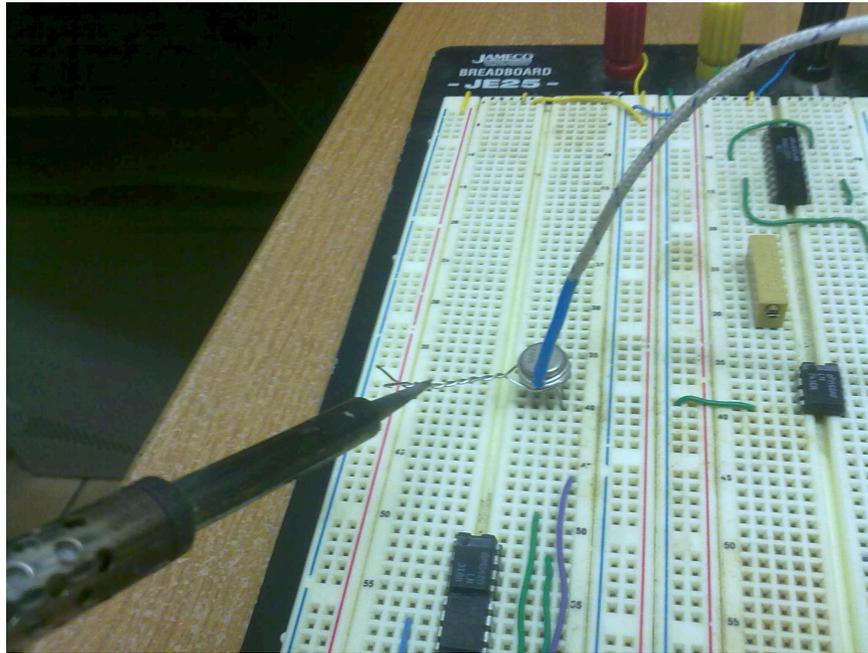


Figura 4.4: Forma de aumentar la temperatura en el transistor con ayuda del cautín, observe que no se toca al transistor directamente con la punta del cautín, sino que se transfiere el aumento de temperatura a través de un alambre de cobre enrollado.

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y DISEÑO

LABORATORIO DE DISEÑO ANALÓGICO PRACTICA # 5

“Características del Op Amp Parte 1”

OBJETIVO: Medir y calcular el voltaje de offset, corriente de vías y la impedancia de entrada de un amplificador operacional de propósito general LM741.

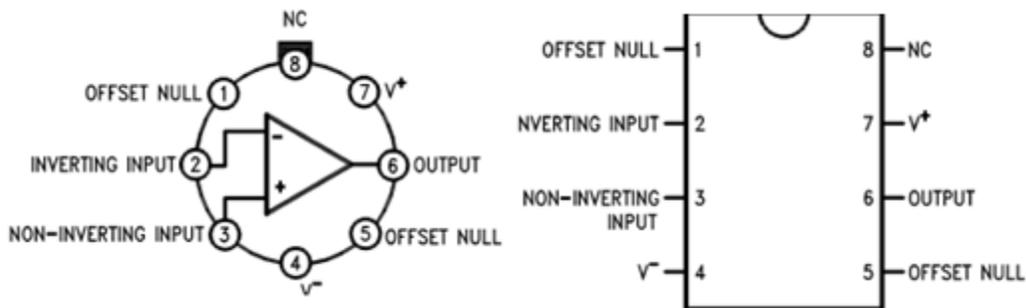


Figura 1.- Configuración del Amplificador Operacional LM 741.

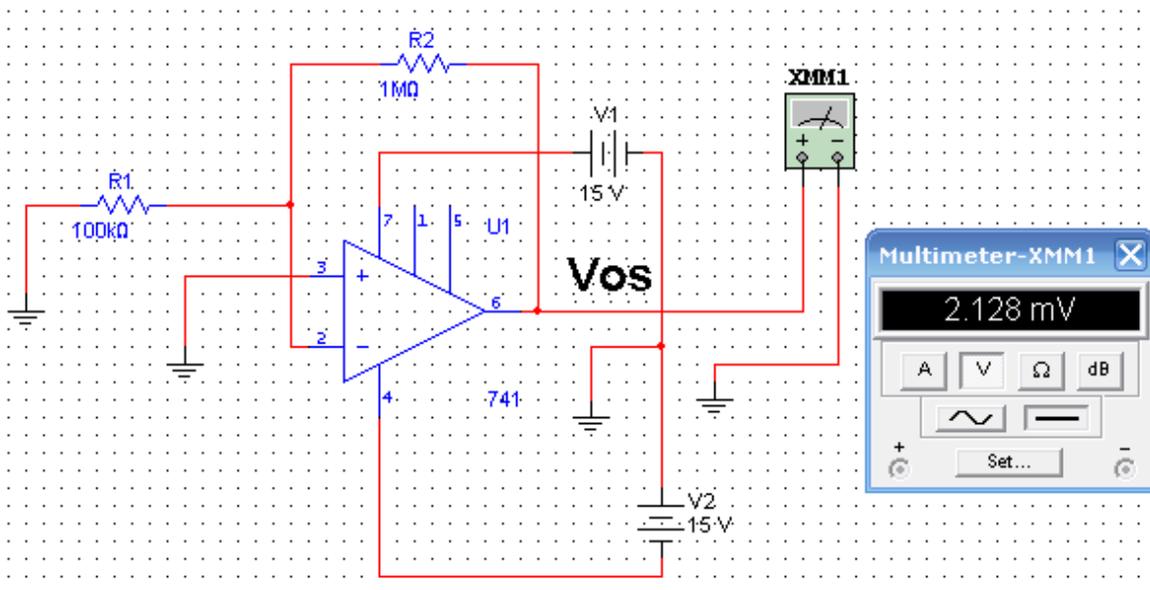


Figura 2.- Diagrama del circuito para medir el voltaje de offset a la salida.

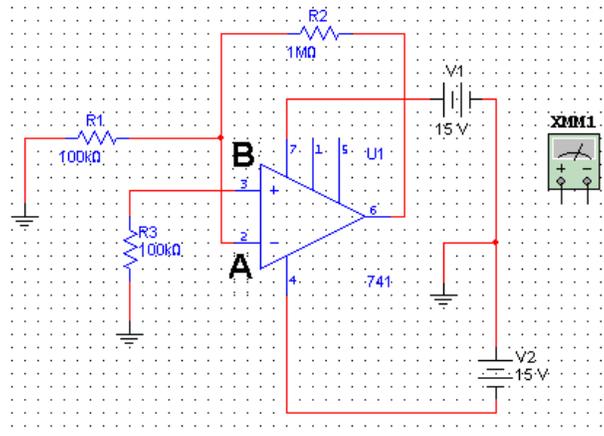


Figura 3.- Esquemático para medir las corrientes de vías del op-amp.

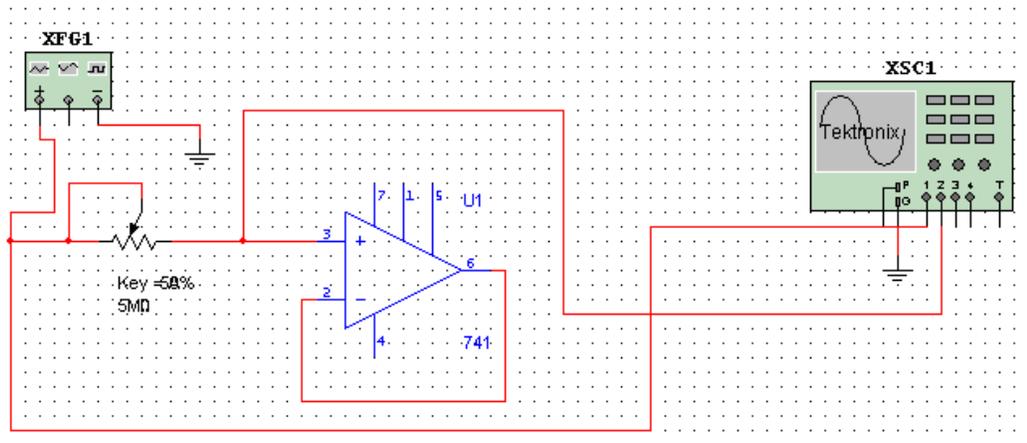


Figura 4.- Esquemático para medir la impedancia de entrada del Op –Amp.

Ecuaciones Básicas de Diseño

1. Ganancia de lazo cerrado: $A_{CL} = \frac{R_2}{R_1}$
2. Entrada Voltaje de Offset : $V_{oi} = \frac{V_{os}}{A_{CL}}$
3. Corriente de vías: $I_{B1} = \frac{V_A}{R_1}$
4. $I_{B2} = \frac{V_B}{R_3}$
5. $Z_i = R$, cuando $V_i' = \frac{1}{2} V_i$

DESARROLLO

1. Armar el diagrama mostrado en la figura 2.
2. Medir el voltaje de offset, puede utilizarse un multímetro digital o bien un Osciloscopio Analógico.

$$V_{os} = \text{_____} \text{ mV}$$

3. Utilice la fórmula 2 para calcular el voltaje de offset.

$$V_{oi} = \text{_____} \text{ mV}$$

4. Disminuya y mida el voltaje de offset lo más que sea posible, mediante la conexión de un potenciómetro de diez kilo ohms entre las terminales uno y cinco del Op – Amp.

5. Armar el diagrama mostrado en la figura 3.

6. Alimentar el circuito de la figura 3 y medir el voltaje A.

$$V_A = \text{_____} \text{ mV}$$

7. Alimentar el circuito de la figura 3 y medir el voltaje B.

$$V_B = \text{_____} \text{ mV}$$

8. Utilice las fórmulas 3 y 4 para calcular las corrientes de vías.

9. Armar el circuito de la figura 4 y mida indirectamente la impedancia de entrada (Z_i) del OP-AMP. $Z_i = \text{_____} \Omega$. Apóyese de la ec. 5 para obtenerla.

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y DISEÑO

LABORATORIO DE DISEÑO ANALÓGICO

PRACTICA # 6

Nombre: "Características del Op-Amp Parte 2"

Objetivo: Medir en forma indirecta el "Slew Rate " en un amplificador operacional LM741, LM 338, LM 339 y TL 082.

Introducción

El slew rate de un amplificador se define como el rango máximo de cambio de la tensión de salida para todas las señales de entrada posibles, por lo que limita la velocidad (respuesta) de funcionamiento, es decir la frecuencia máxima a la que puede funcionar el amplificador para un dado nivel de señal de salida.

$$SR = \left. \frac{dV_o}{dt} \right|_{max}$$

El Slew Rate se expresa típicamente en unidades de V/ μ s. Para un amplificador operacional 741 la máxima velocidad de respuesta es 0,5 V/ μ s.

Material a utilizar

- 1 Osciloscopio
- 1 Fuente de poder dual
- 1 Generador de funciones
- 1 Op-Amp LM 741
- 1 Op-Amp LM 318

PROCEDIMIENTO

- 1) Armar el siguiente circuito eléctrico:

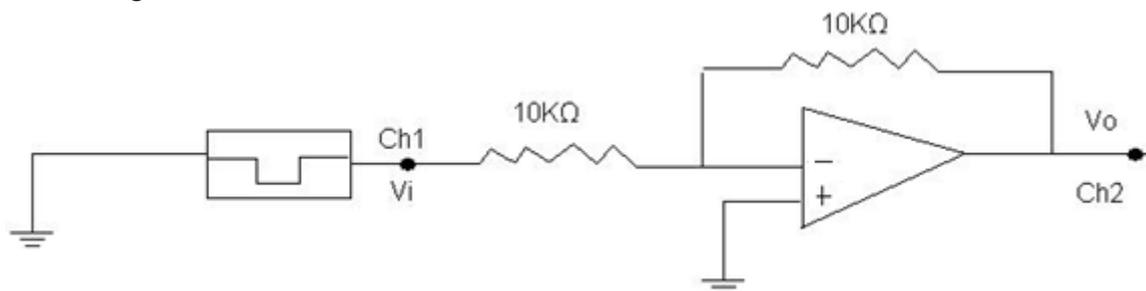


Figura 1. Diagrama eléctrico del experimento a realizar.

- a) Ajustar el osciloscopio, CH1: 5V/DIV, CH2: 1V/DIV, TIME BASE: 20 μ S/Div, acoplado en AC.

Elaboró: M.C. Everardo Inzunza González

b) Polarizar el circuito e inyectar una señal cuadrada de 10 KHZ y de 5 Vpp.

c) Medir el voltaje de salida Vo pico-pico, $V_{opp} = \text{_____}$ Volts, (es igual a ΔV).

d) Medir el Δt , es el tiempo que se tarda en cambiar de un valor mínimo a un máximo (tiempo de la pendiente de la señal de salida del op-amp visualizada en el osciloscopio). $\Delta t = \text{_____}$ μS

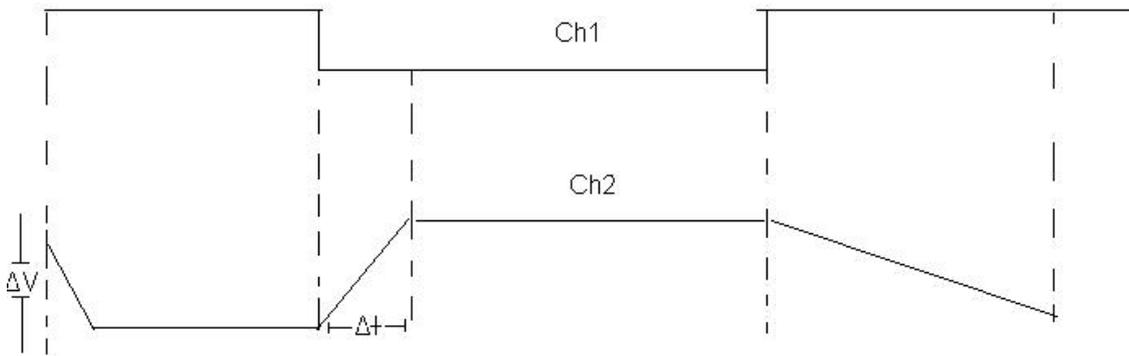


Figura 2. Ejemplo ilustrativo para la medición del parámetro Δt y ΔV .

e) Tomar una fotografía a las dos señales simultáneamente mostradas en el osciloscopio.

f) De las mediciones anteriores calcular el slew rate $SR = \Delta V / \Delta t = \text{_____}$ $V/\mu S$

g) Desconecta la alimentación del circuito, re-emplace el op-amp 741 por un LM 338, LM 339 y TL082 y repita los pasos anteriores para medir el slew rate los demás amplificadores operacionales. **Nota:** Verifique que los integrados tengan el mismo pin out o bien re-cablee el circuito.

$$SR = \Delta V / \Delta t = \text{_____} V/\mu S$$

Qué observó en la forma de onda a la salida? Agregar sus comentarios y fotografía de las señales.

h) Realizar los mismos experimentos anteriores en un simulador de circuitos (LM741, LM338, LM 339 y TL 082).

i) Agregar los resultados de estas simulaciones al reporte, deberá incluir los circuitos, carátula de los instrumentos, etc.

j) Consultar en la hoja de características del fabricante (datasheet) de los integrados anteriores, las principales características eléctricas. Escríbalas a continuación.

Principales Características eléctricas LM 741

Principales Características eléctricas LM 338

Principales Características eléctricas LM 339

Principales Características eléctricas TL 082

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y DISEÑO

LABORATORIO DE DISEÑO ANALÓGICO

PRACTICA # 7

Nombre: "Circuitos básicos con Amplificadores Operacionales"

Objetivo: Diseñar y construir los siguientes circuitos utilizando un OP-AMP 741

- a) Amplificador no inversor con ganancia de 100.
- b) Amplificador inversor con ganancia de 1000.
- c) Un seguidor de voltaje.

Material a utilizar

1 Osciloscopio

1 Fuente de poder dual

1 Generador de funciones

1 Op-Amp LM 741

PROCEDIMIENTO

1. Diseñar el amplificador no inversor con ganancia de 100, polarizarlo adecuadamente y aplicarle una señal senoidal de 100mV pico, con frecuencia de 8KHz. Comparar la señal de salida con la entrada en el osciloscopio. Tome una imagen a ambas señales. Anote sus observaciones.
2. Ahora aplicar una señal con 3Vp y con la misma frecuencia. Nuevamente compare las señales de entrada y salida. Anote sus observaciones. Explique lo que está sucediendo.
3. Diseñar el amplificador inversor con ganancia de 1000, polarizarlo adecuadamente y aplicarle una señal senoidal de 5mV pico, con frecuencia de 8KHz. Comparar la señal de salida con la entrada en el osciloscopio. Tome una imagen a ambas señales. Anote sus observaciones.
4. Ahora aplicar una señal con 3Vp y con la misma frecuencia. Nuevamente compare las señales de entrada y salida. Anote sus observaciones. Explique lo que está sucediendo.
5. Diseñar el seguidor de voltaje. Aplicarle las mismas señales anteriores. Comparar la entrada con la salida. Tome una imagen a ambas señales. Anote sus observaciones.
6. Al seguidor de voltaje aplicarle a la entrada un 1 Vcd, compararlo con la salida. Anote sus observaciones
7. Ahora, al seguidor de voltaje aplique un voltaje de entrada de 16 Vcd, observe y explique lo que sucede.
8. Simular todos los circuitos anteriores.

Investigar ¿cómo se puede polarizar un OP-AMP utilizando una sola fuente de poder (con tierra virtual)?.
Esto con la idea de evitar el uso de la fuente de voltaje negativo.

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y DISEÑO

LABORATORIO DE DISEÑO ANALÓGICO

PRACTICA # 8

Nombre: "Amplificador Sumador Inversor"

Objetivo: Analizar y Diseñar circuitos amplificadores que sumen las señales de entrada y las invierta.

Material a utilizar

- 1 Osciloscopio
- 1 Fuente de poder dual
- 1 Generador de funciones
- 1 Op-Amp LM 741

Teoría de operación

En la figura 1 se observa la configuración general de un amplificador sumador inversor.

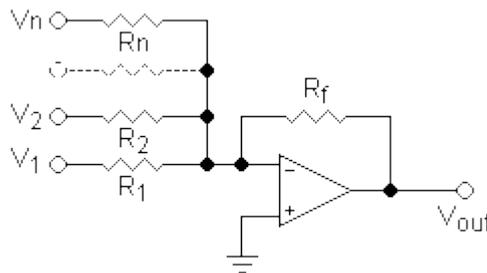


Figura 1) Circuito eléctrico de un amplificador sumador inversor.

El voltaje de salida de este circuito se puede obtener:

$$V_{out} = -R_f \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_n}{R_n} \right)$$

Procedimiento

- 1) Armar el circuito de la figura 2, polarizarlo adecuadamente y aplicarle una señal de entrada senoidal:
 - a. 1 Vpp 3.5 KHz
 - b. 3 Vpp 20 KHz
- 2) Medir simultáneamente en el osciloscopio la señal de entrada y salida. Anote sus observaciones. Escriba sus cálculos.

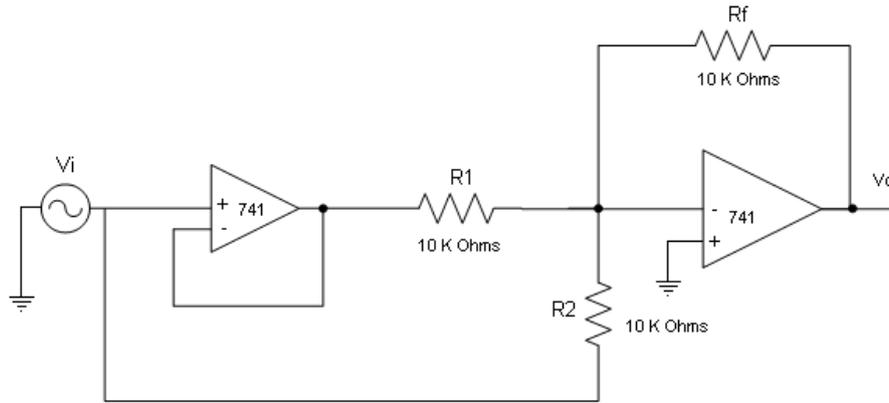


Figura 2) Amplificador sumador inversor con un seguidor de voltaje a la entrada.

- 3) Armar el circuito de la figura 3, polarizarlo y aplicar los voltajes de CD de entrada indicados en el esquema. Calcular y medir el voltaje de salida $V_{o_{med}} = \text{_____ Volts}$. $V_{o_{cal}} = \text{_____ Volts}$.

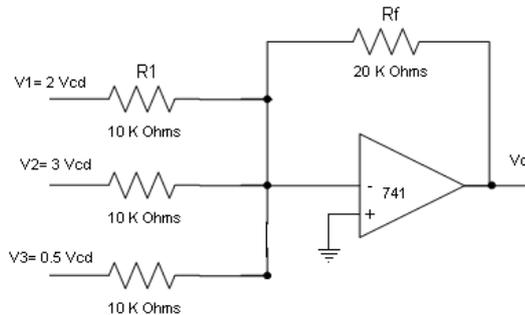


Figura 3. Sumador inversor.

- 4) Armar el circuito de la figura 4, polarizarlo, aplicar las siguientes señales senoidales a la entrada.
- $V1 = 2 \text{ Vpp @ } 500 \text{ Hz}$
 - $V2 = 1 \text{ Vpp @ } 1 \text{ KHz}$
 - $V3 = 500 \text{ mVpp @ } 4 \text{ KHz}$

Observe en el osciloscopio las señales de entrada (una entrada a la vez) y salida, Explique claramente lo que sucede con la señal de salida.

Calcule la señal de salida.

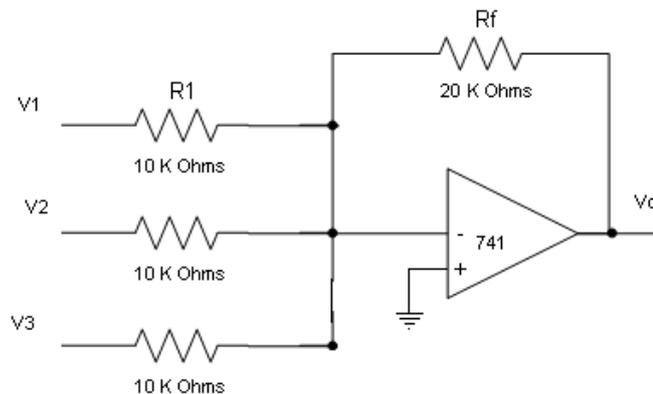


Figura 4. Sumador inversor con señales senoidales a la entrada.

- 5) Armar el circuito de la figura 5, calcule el valor adecuado de R_E . Mencione que efecto tiene agregar esta R_E al sumador inversor. Aplique los mismos voltajes de CD, del paso 3. Compare los resultados obtenidos entre el paso 3 y 5.

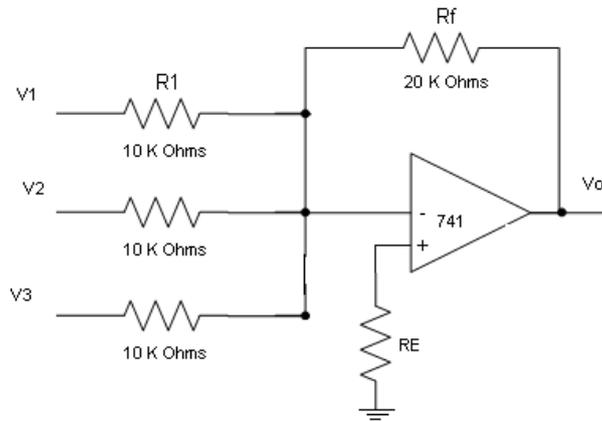


Figura 5. Sumador inversor con resistencia R_E a la entrada.

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y DISEÑO
LABORATORIO DE DISEÑO ANALÓGICO

PRACTICA # 9

Nombre: "Detectores de cruce por cero y de niveles de voltaje positivo y negativo"

Objetivo: Analizar y diseñar circuitos basados en op-amps que detecten cruces por cero, niveles de voltaje positivos y negativos de distintas señales.

Material a utilizar

- 1 Osciloscopio
- 1 Fuente de poder dual
- 1 Generador de funciones
- 1 Op-Amp LM 741
- 1 Micrófono
- Relay's, ó Triac's, u Optoacopladores
- 1 Foco 127 Vca @ 60 Watts.

Teoría de operación: Los circuitos detectores de cruce por cero y de niveles de voltaje, son circuitos comparadores de señales, que una vez realizada esta comparación de ambas señales emiten un resultado binario (nivel alto o bajo). El cual puede ser utilizado para realizar ciertas tareas de control básico para activar o desactivar algún dispositivo eléctrico de media o alta potencia.

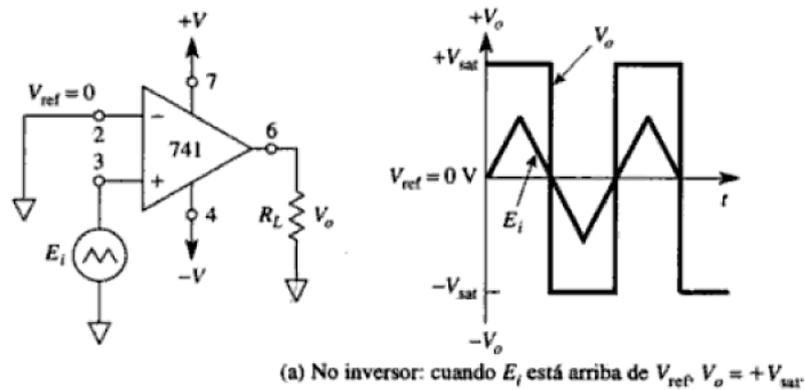


Figura 1. Detector de cruce por cero "no inversor".

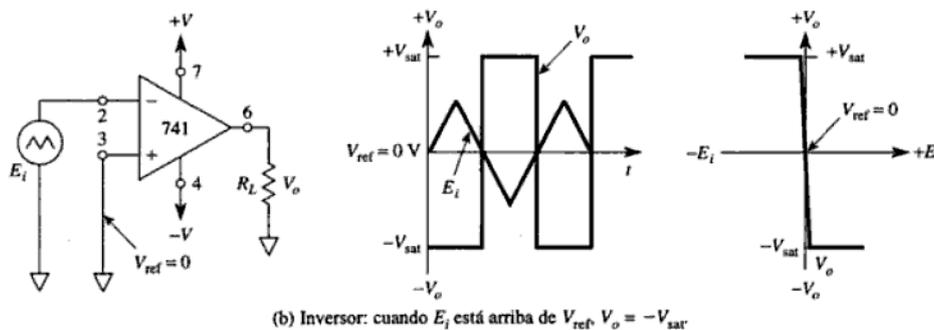


Figura 2. Detector de cruce por cero "inversor".

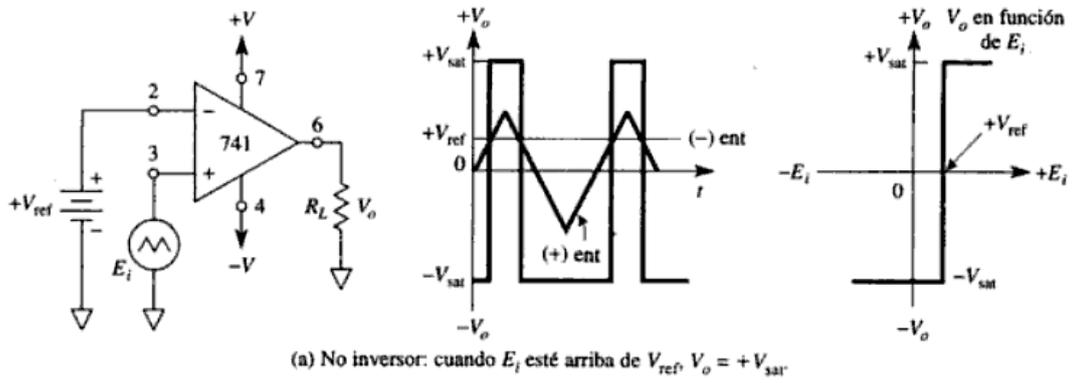


Figura 3. Detector de nivel de voltaje positivo "no inversor".

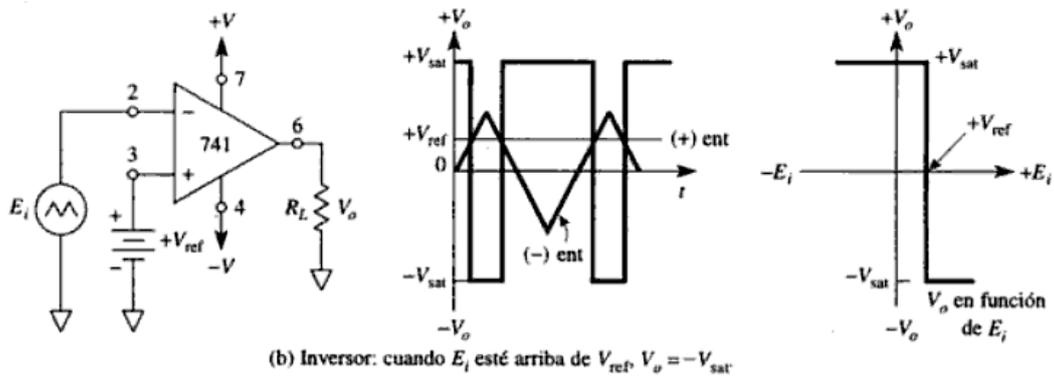


Figura 4. Detector de nivel de voltaje positivo "inversor".

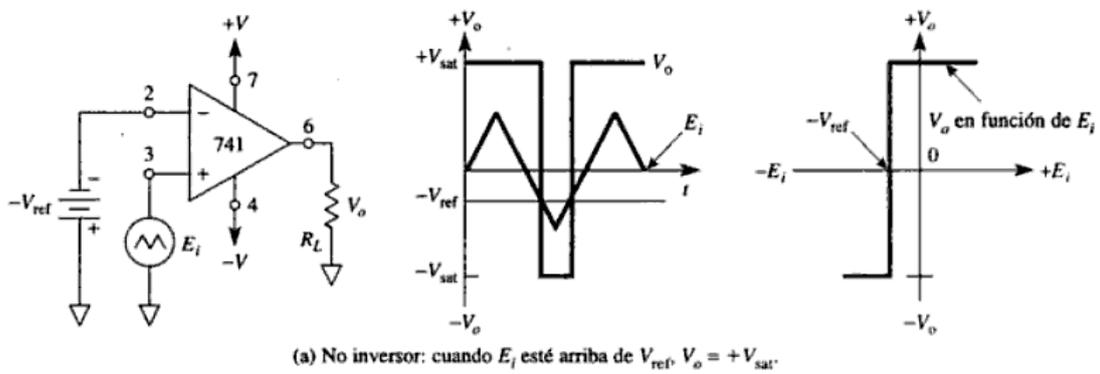


Figura 5. Detector de nivel de voltaje negativo "no inversor".

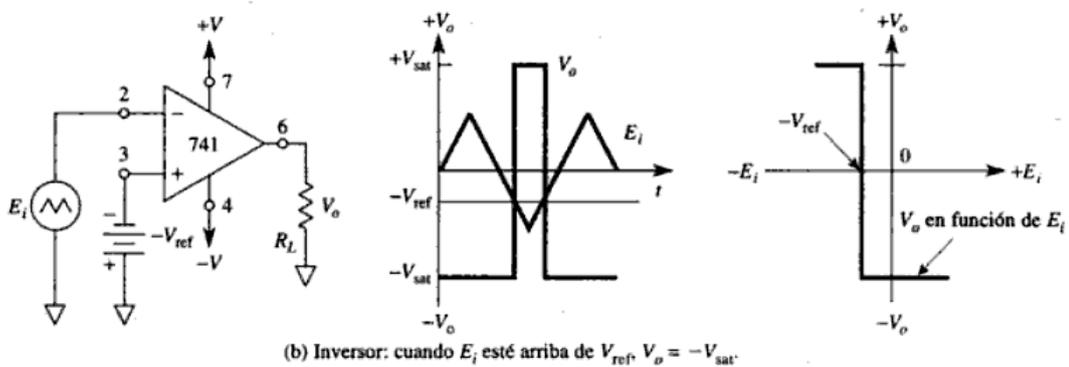


Figura 6. Detector de nivel de voltaje negativo "inversor".

PROCEDIMIENTO

- 1) Armar el circuito detector de cruce por cero “no inversor” mostrado en la figura 1, y aplicar las siguientes señales triangular y senoidal de entrada $E_i = 3V_p @ 1KHz$.
 - a. Visualizar la forma de onda de ambas señales (entrada y salida) en el osciloscopio en el dominio del tiempo y tomar fotografía a la carátula del osciloscopio.
 - b. Visualizar la forma de onda de ambas señales (entrada y salida) en el osciloscopio en el modo X-Y (función de transferencia), y tomar fotografía a la carátula del osciloscopio.
 - c. Escriba sus observaciones.
- 2) Armar el circuito detector de cruce por cero “inversor” mostrado en la figura 2, y aplicar las siguientes señales triangular y senoidal de entrada $E_i = 3V_p @ 1KHz$.
 - a. Visualizar la forma de onda de ambas señales (entrada y salida) en el osciloscopio en el dominio del tiempo y tomar fotografía a la carátula del osciloscopio.
 - b. Visualizar la forma de onda de ambas señales (entrada y salida) en el osciloscopio en el modo X-Y (función de transferencia), y tomar fotografía a la carátula del osciloscopio.
 - c. Escriba sus observaciones
- 3) Armar el circuito detector de nivel positivo “no inversor” mostrado en la figura 3, y aplicar la siguientes señales triangular y senoidal de entrada $E_i = 3V_p @ 1KHz$, utilizar un $V_{ref}=1$ y después $V_{ref}=2V$.
 - a. Visualizar la forma de onda de ambas señales (entrada y salida) en el osciloscopio en el dominio del tiempo y tomar fotografía a la carátula del osciloscopio.
 - b. Visualizar la forma de onda de ambas señales (entrada y salida) en el osciloscopio en el modo X-Y (función de transferencia), y tomar fotografía a la carátula del osciloscopio.
 - c. Escriba sus observaciones
- 4) Armar el circuito detector de nivel positivo “inversor” mostrado en la figura 4, y aplicar la siguientes señales triangular y senoidal de entrada $E_i = 3V_p @ 1KHz$, utilizar un $V_{ref}=1$ y después $V_{ref}=2V$.
 - a. Visualizar la forma de onda de ambas señales (entrada y salida) en el osciloscopio en el dominio del tiempo y tomar fotografía a la carátula del osciloscopio.
 - b. Visualizar la forma de onda de ambas señales (entrada y salida) en el osciloscopio en el modo X-Y (función de transferencia), y tomar fotografía a la carátula del osciloscopio.
 - c. Escriba sus observaciones
- 5) Armar el circuito detector de nivel negativo “no inversor” mostrado en la figura 5, y aplicar la siguientes señales triangular y senoidal de entrada $E_i = 3V_p @ 1KHz$, utilizar un $V_{ref}=-1V$ y después $V_{ref}=-2V$.
 - a. Visualizar la forma de onda de ambas señales (entrada y salida) en el osciloscopio en el dominio del tiempo y tomar fotografía a la carátula del osciloscopio.
 - b. Visualizar la forma de onda de ambas señales (entrada y salida) en el osciloscopio en el modo X-Y (función de transferencia), y tomar fotografía a la carátula del osciloscopio.
 - c. Escriba sus observaciones
- 6) Armar el circuito detector de nivel negativo “inversor” mostrado en la figura 6, y aplicar la siguientes señales triangular y senoidal de entrada $E_i = 3V_p @ 1KHz$, utilizar un $V_{ref}=-1V$ y después $V_{ref}=-2V$.
 - a. Visualizar la forma de onda de ambas señales (entrada y salida) en el osciloscopio en el dominio del tiempo y tomar fotografía a la carátula del osciloscopio.
 - b. Visualizar la forma de onda de ambas señales (entrada y salida) en el osciloscopio en el modo X-Y (función de transferencia), y tomar fotografía a la carátula del osciloscopio.
 - c. Escriba sus observaciones

7) Diseño de una aplicación con los detectores de niveles de voltaje

Diseñe un interruptor electrónico activado por sonido para controlar el encendido y apagado de una lámpara o foco de 127 Vca. El nivel de referencia deberá ser ajustable con pasos de precisiones pequeñas y lineales (utilizar potenciómetros de precisión para la referencia). La figura 7 muestra una parte del diseño a realizar [Coughlin, et. al., 1999]. Se puede utilizar una etapa de potencia distinta, pudiendo ser a base de relay's, triac's u opto-acopladores, etc. Observe que el esquema de la figura 7 solamente enciende la lámpara por medio del sonido y se apaga con un interruptor mecánico.

El diseño realizado por ustedes deberá permitir que la lámpara se encienda con el sonido y posteriormente se pueda apagar con el mismo sonido o similar.

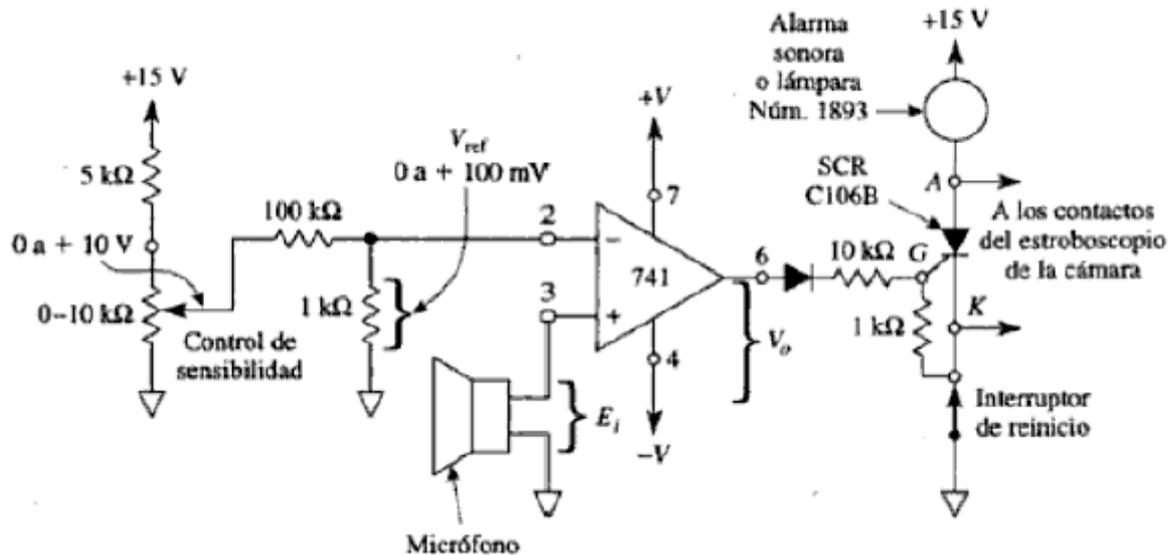


Figura 6. Esquema parcial del prototipo para Encender y Apagar por sonido una Lámpara eléctrica [Coughlin, et. al., 1999].

REFERENCIAS

Robert F. Coughlin, Frederick F. Driscoll , (1999), Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales, Pearson-Prentice Hall, 5ta edición.

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y DISEÑO
LABORATORIO DE DISEÑO ANALÓGICO
PRACTICA # 10

Nombre: "Diseño de un voltímetro luminoso basado en op-amps."

Objetivo: Diseñar y construir un voltímetro luminoso basado en amplificadores operacionales, este deberá tener un rango de medición de voltajes de entrada de 0-20 Vcd.

Material a utilizar

- 1 Osciloscopio
- 1 Fuente de poder dual
- 1 Generador de funciones
- 20 Op-Amp LM 741 o 5 LM 324
- 20 Led's
- 1 Case (Carcaza) para el voltímetro

Teoría de operación del Voltímetro de columna luminosa [Coughlin, et. al., 1999].

El voltímetro de columna luminosa muestra una columna de luz cuya altura es proporcional al voltaje. Los fabricantes de equipo para audio, de aplicaciones médicas y de automóviles, pueden reemplazar los tableros de medidores analógicos por voltímetros gráficos luminosos debido a que es más fácil leer estos a distancia [Coughlin, et. al., 1999].

En base al circuito de la figura 1, se puede construir un voltímetro gráfico luminoso, R_{cal} se ajusta de modo que fluya 1 mA por medio del circuito serie divisor de voltajes, estas resistencias (R_1 a R_{10}) deben de ser iguales (1K Ω). En este ejemplo se definen diez voltajes de referencia separados a intervalos de 1V cada uno, empezando por 1V y terminando en 10V. **Para el caso de la práctica adecuar el circuito para que termine en 20V.**

Cuando $E_i = 0$ V o menor que 1 V, la salida de todos los amplificadores operacionales se encuentra en $-V_{sat}$, por lo tanto los diodos de silicio que se encuentran conectados a la salida de estos op-amps protegen a los LED's contra un voltaje excesivo de polarización inversa. Al aumentar E_i , hasta que alcance un valor entre 1 y 2 V, sólo la salida del amplificador 1 se vuelve positiva y enciende al LED1. Observe que la corriente de salida del amplificador queda automáticamente limitada a su valor de corto circuito, la cual es de unos 20 mA. Las resistencia de salida de 220 Ω disipan parte del calor del op-amp. Conforme va aumentando E_i , los LED's se iluminan por orden numérico. Para reducir la circuitería se pueden utilizar circuitos integrados con 4 o más amplificadores operacionales en su parte interna, como puede ser por ejemplo el LM 324. Algunos fabricantes ya diseñan paquetes de circuitos integrados para este tipo de aplicación [Coughlin, et. al., 1999].

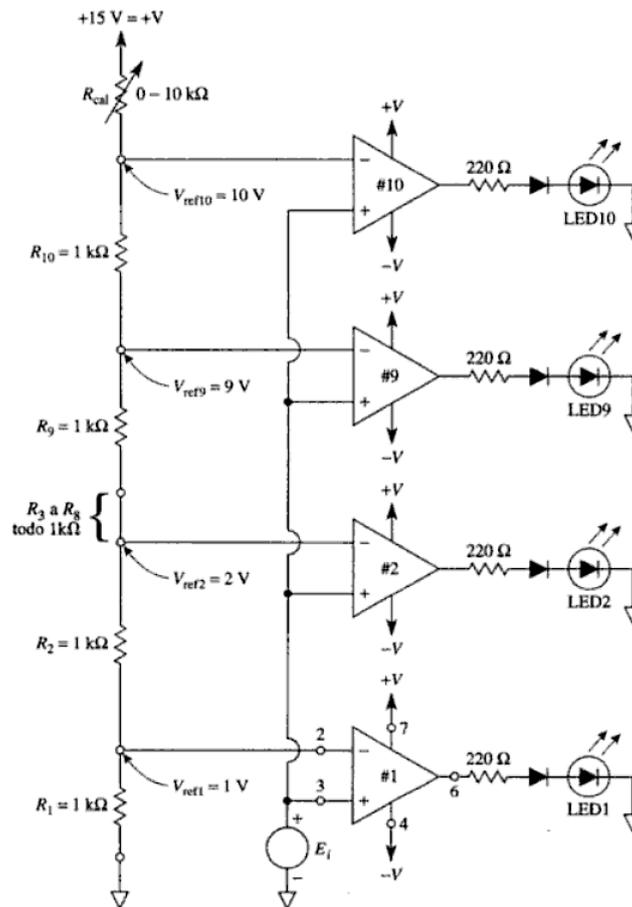


Figura 1. Esquema electrico para un voltímetro de columna luminosa de 0 a 10V. Los volatjes de referencia de cada op-amp se encuentran a 1 V de diferencia. Se recomienda utilizar R's con tolerancia de 1%, así como circuitos integrados con multiples op-amps [Coughlin, et. al., 1999].

PROCEDIMIENTO

- En base al circuito de la figura 1, **diseñe un voltímetro luminoso** con capacidad de medir voltajes de cd dentro del rango de 0 a 20V.
- Se recomienda utilizar led's en barra que contenga diez o más leds, así como comparadores de precisión.
- Adaptarle conectores para puntas de prueba que utilicen los voltímetros reales.
- Montar el circuito dentro de una carcasa (case) para que tenga una apariencia muy similar a un producto final.

Nota: Este tipo de aplicación se puede implementar para medir niveles de agua en estanques, nivel de gasolina en el tanque de un carro, niveles de audio (luces rítmicas), aparatos de medición industriales, algunos equipos médicos y en donde el ingeniero diseñador de sistemas electrónicos los considere conveniente o donde los usuarios lo requieran.

REFERENCIAS

Robert F. Coughlin, Frederick F. Driscoll , (1999), Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales, Pearson-Prentice Hall, 5ta edición.

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y DISEÑO
LABORATORIO DE DISEÑO ANALÓGICO
PRACTICA # 11

Nombre: "Respuesta en frecuencia del amplificador operacional"

Objetivo: Diseñar y construir un amplificador inversor con ganancia de 0 dB, 15 dB y 45 dB, verificar experimentalmente su respuesta en frecuencia utilizando distintos op-amps comerciales.

Material a utilizar

- 1 Osciloscopio
- 1 Fuente de poder dual
- 1 Generador de funciones
- 1 Op-Amp LM 741, TL 082, TL 083

Introducción

El amplificador operacional es un dispositivo lineal de propósito general el cual tiene capacidad de manejo de señal desde $f=0$ Hz hasta una frecuencia definida por el fabricante; tiene además límites de señal que van desde el orden de los nV , hasta unas docenas de Voltios. Los amplificadores operacionales se caracterizan por su entrada diferencial y una ganancia muy alta, generalmente mayor que 10^5 equivalentes a 100 dB. El op-amp es un amplificador de alta ganancia directamente acoplado, que en general se alimenta con fuentes positivas y negativas, lo cual permite que tenga excursiones tanto por arriba como por debajo de tierra (o el punto de referencia que se considere) [Coughlin, 1999]. El nombre de Amplificador Operacional proviene de una de las utilidades básicas de este, como lo son realizar operaciones matemáticas en computadores analógicos (características operativas). El Amplificador Operacional ideal se caracteriza por:

1. Resistencia de entrada, (R_{en}), tiende a infinito.
2. Resistencia de salida, (R_o), tiende a cero.
3. Ganancia de tensión de lazo abierto, (A), tiende a infinito
4. Ancho de banda (BW) tiende a infinito.
5. $v_o = 0$ cuando $v_+ = v_-$.

PROCEDIMIENTO

Experimento #1

- a) Diseñe un amplificador inversor con ganancia de 0 dB, calcule su ancho de banda (BW) y calcule la frecuencia máxima (F_H) a la cual la salida del amplificador se empezará a distorsionar.

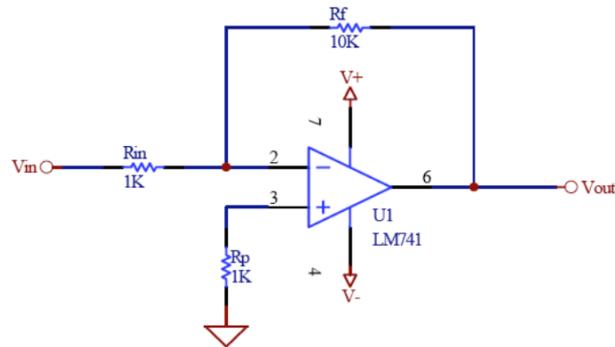


Figura 1. Configuración del amplificador inversor.

b) Obtenga teóricamente y experimentalmente el diagrama de Bode (respuesta en frecuencia) del amplificador inversor, esto mediante la aplicación de un barrido en frecuencia desde 1 Hz hasta 1 MHz. La señal deberá tener una amplitud de 1Vp.

1. Nota: Para obtener este diagrama de bode, se aplicarán las señales de 1 Hz, 10 Hz, 100 Hz, 1KHZ, 10 KHZ, 100 KHZ y 1 MHZ, siempre con la amplitud de 1Vp. Medir experimentalmente el Vi y Vo utilizando un osciloscopio y calcular la ganancia del amplificador en dB utilizando la siguiente ecuación.

$$G_{dB} = 10 \text{Log}_{10} \left(\frac{V_o}{V_i} \right)$$

- c) Genera la gráfica en Matlab de G_{dB} Vs Frec, para visualizar el dirgrama de Bode.
 1. Realice una gráfica con el eje de frecuencia en escala lineal.
 2. Realice una gráfica con el eje de frecuencia en escala logarítmica.
- c) De acuerdo a estas gráficas compruebe el ancho da banda real del amplificador, verifique cuando la ganancia se atenúa 3 dB, compare los valores teóricos con los experimentales.

Experimento #2

- a) Diseñe un amplificador inversor con ganancia de 15 dB y repita los pasos del experimento #1.

Experimento #3

- b) Diseñe un amplificador inversor con ganancia de 45 dB y repita los pasos del experimento #1.

Experimento #4. Repita los experimentos 1 al 3 utilizando un op-amp diferente.

Nota: Compare todas las gráficas de Bode, escriba todas sus observaciones. Realice todas las simulaciones.

REFERENCIAS

Robert F. Coughlin, Frederick F. Driscoll , 1999, *Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales*, Pearson-Prentice Hall, 5ta edición.

C. J. Savant, Jr., Martin S. Roden, Gordon L. Carpenter, 1992. *Diseño electrónico, circuitos y sistemas*. Addison-Wesley Iberoamericana, 2da edición. ISBN 0-201-62925-9.

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y DISEÑO
LABORATORIO DE DISEÑO ANALÓGICO
PRACTICA # 12

Nombre: "Amplificadores diferenciales y de instrumentación "

Objetivo general: Diseñar y construir un amplificador diferencial y de instrumentación, así como probarlo experimentalmente utilizando un sensor analógico.

Objetivos específicos

- Diseñar el circuito de un amplificador diferencial básico y explicar porqué este circuito es superior al de una sólo entrada.
- Definir el voltaje en modo común y el voltaje de entrada diferencial.
- Diseñar el circuito de un amplificador de instrumentación y calcular el volateje de salida para diferentes entradas.
- Diseñar una etapa de acondicionamiento de señal mediante el uso de un amplificadores de instrumentación o diferencial y utilizando un sensor analógico.

Material a utilizar

1 Osciloscopio
1 Fuente de poder dual
1 Generador de funciones
1 Op-Amp de bajo ruido, de instrumentación
Resistencias
Capacitores

Introducción

El amplificador de más utilidad en la medición, instrumentación y control es el amplificador de instrumentación. Se construye por medio de varios amplificadores operacionales y resistencias de precisión; gracias a esto, el circuito resulta muy estable y útil en aplicaciones donde es muy importante la precisión. Actualmente existen varios circuitos integrados que se venden en un solo encapsulado. Desafortunadamente, estos resultan más caros que un solo amplificador operacional, pero si lo que necesita es un buen desempeño y precisión, el uso de un amplificador de instrumentación justifica su precio, ya que su desempeño no puede lograrse con un amplificador convencional.

Un circuito similar al amplificador de instrumentación y de bajo costo es el amplificador diferencial básico, haciendo unas pequeñas modificaciones al amplificador diferencial se puede construir el amplificador de instrumentación. En la figura 1 se ilustra el esquema eléctrico del amplificador diferencial básico.

La configuración del amplificador en modo común se encuentra en la figura 2.

Por otra parte, en la figura 3 se muestra el diagrama eléctrico del amplificador de instrumentación.

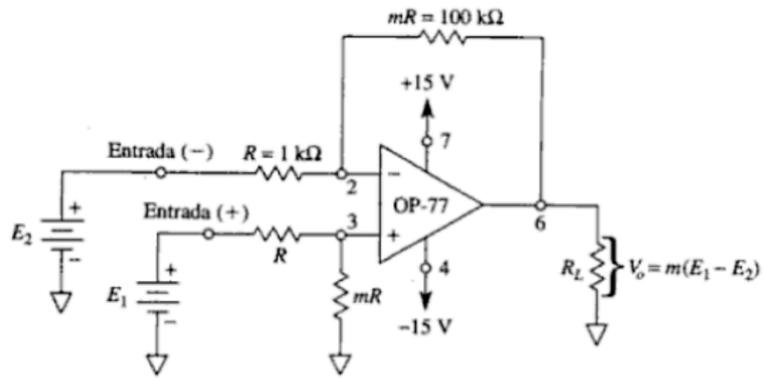


Figura 1. Circuito eléctrico de un amplificador diferencial básico.

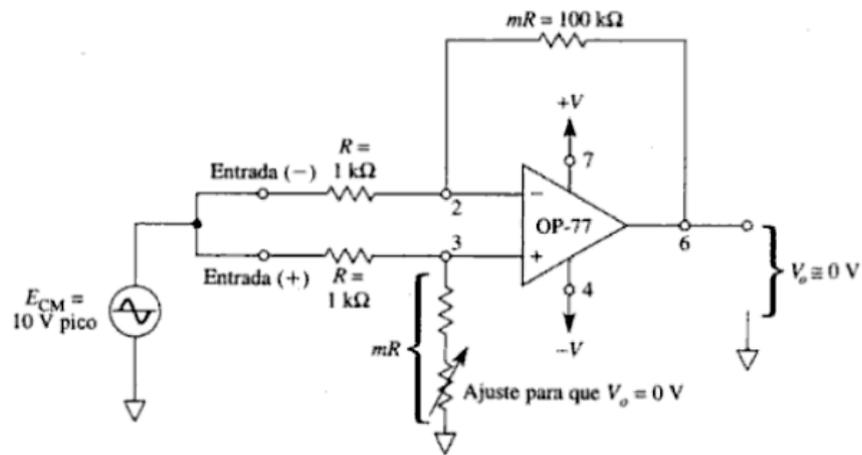


Figura 2. Circuito eléctrico de un amplificador diferencial en modo común.

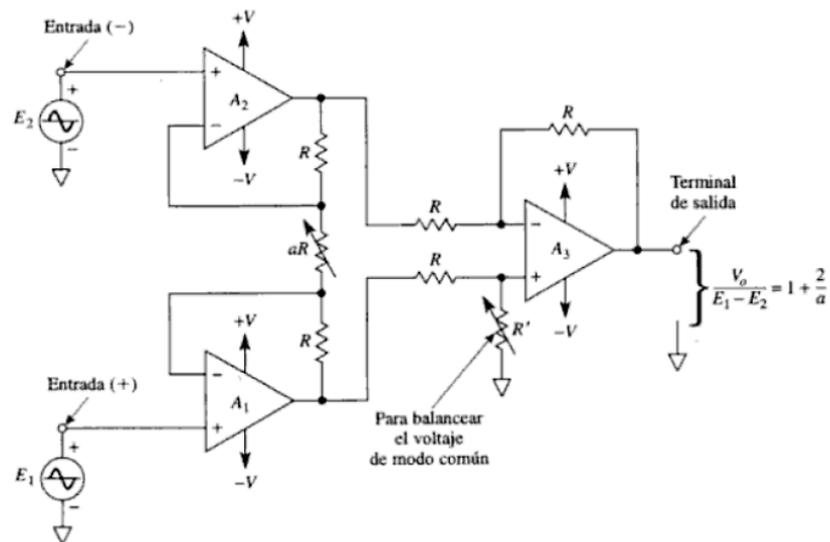


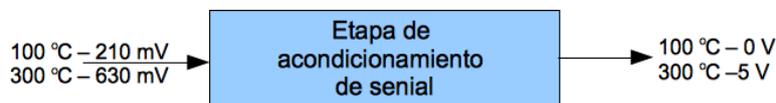
Figura 3. Circuito eléctrico de un amplificador de instrumentación.

PROCEDIMIENTO

- 1) Diseñar un amplificador diferencial básico con ganancia de 225.
- 2) Aplicar las siguientes señales de entrada, calcular y medir el voltaje de salida.
 - a. $E_1 = 1 \text{ Vcd}$ y $E_2 = 0.25 \text{ Vcd}$
 - b. $E_1 = 3 \text{ Vcd}$ y $E_2 = 4.75 \text{ Vcd}$
 - c. E_1 onda senoidal $2 \text{ Vp @ } 400 \text{ Hz}$, y $E_2 = 3 \text{ Vp @ } 2 \text{ KHz}$
- 3) Armar el amplificador en modo común, aplicar un señal de entrada de $10 \text{ Vp @ } 500 \text{ Hz}$ tipo senoidal. Realizar el ajuste para que la salida sea 0 Volts . Mencione la aplicación de este tipo de amplificadores, cuales son sus ventajas.
- 4) Seleccione un sensor (activo o pasivo) que entregue respuesta analógica, por ejemplo galga extensiométrica, RTD, termopar, acelerómetro, etc.
- 5) Desarrolle una etapa de instrumentación para el sensor seleccionado, por ejemplo:



6. Analice el rango que desea que opere el sensor. Dicho rango debe ser seleccionado apartir del proceso que desee medir, por ejemplo si desea medir la temperatura para uan máquina de soldadura de ola, la cual debe estar alrededor de 220oC , por ejemplo el rango a elegir será alrededor de esa temperatura de interés.
7. Aplique una etapa de acondicionamiento de señal para que el limite inferior sea 0 V y el límite superior sea 5V , por ejemplo:



- a) Realizar los cálculos necesarios, tomar fotos del sistema funcionando.
- b) Explicar detalladamente el funcionamiento del circuito diseñado, mediante la división del mismo en bloques de procesamiento (descripción detallada de cada etapa del circuito resultante)

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

Robert F. Coughlin, Frederick F. Driscoll , 1999, *Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales*, Pearson-Prentice Hall, 5ta edición.

C. J. Savant, Jr., Martin S. Roden, Gordon L. Carpenter, 1992. *Diseño electrónico, circuitos y sistemas*. Addison-Wesley Iberoamericana, 2da edición. ISBN 0-201-62925-9.

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y DISEÑO
LABORATORIO DE DISEÑO ANALÓGICO
PRACTICA # 13

Nombre: "Diseño de osciladores basados en op-amps"

Objetivo general: Diseñar y construir circuitos generadores de señales oscilatorias basados en amplificadores operacionales.

Objetivos específicos

- Diseñar y construir un circuito generador de señal para cada una de las siguientes formas de onda:
 - a) *Onda triangular*
 - b) *Onda Diente de sierra*
 - c) *Onda cuadrada (multivibrador astable).*
- Cada circuito oscilador debe tener la capacidad de cambiar su rango de frecuencias es decir:

Generar Hz (1-999 Hz)
Generar kHz (1KHz -1MHz aprox)

Material a utilizar

1 Osciloscopio
2 Fuente de poder dual
1 Generador de funciones
5 Op-Amp's con capacidad de trabajar con señales del orden de 1MHz
Resistencias
Transistores
Capacitores

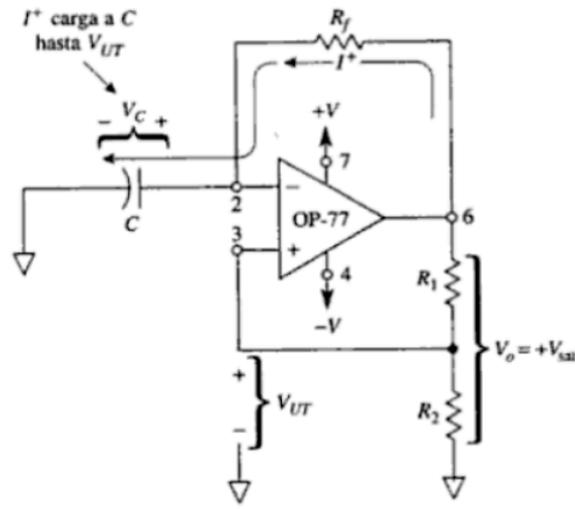
Introducción

Las fuentes de excitación senoidal son piezas fundamentales de muchos sistemas. Se utilizan de manera extensa en sistemas de comunicaciones, así como en casi toda aplicación electrónica lineal y son los circuitos osciladores los que cumplen con la función de generarlas. Asimismo en ciertos procesos de señal analógica se requiere el empleo de circuitos tales que excitados con dos entradas analógicas el mismo produzca una salida

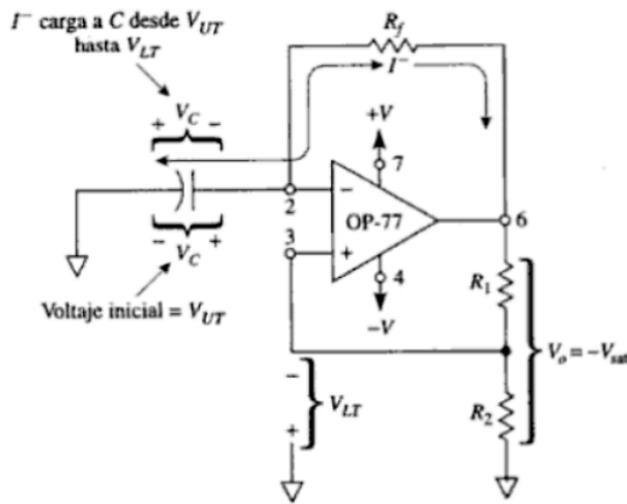
proporcional a su producto, son los llamadas circuitos multiplicadores analógicos.

En la figura 6-1 se muestra el esquema eléctrico del multivibrador astable.

GENERADOR DE ONDA CUADRADA



(a) Cuando $V_o = +V_{sat}$, V_C se carga al valor V_{UT}



(b) Cuando $V_o = -V_{sat}$, V_C se carga hasta V_{LT}

FIGURA 6-1 Multivibrador astable ($R_1 = 100 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 86 \text{ k}\Omega$). Las formas de onda del voltaje de salida se muestran en la figura 6-2.

A continuación se presentan las ecuaciones de diseño para el multivibrador astable [Coughlin, 1999].

$$V_{UT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (+V_{sat})$$

$$V_{LT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (-V_{sat})$$

$$\Delta = 5V^1C^1 \quad \text{cuando } V^2 = 0^180V^1$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2R_f C}$$

En la figura 6-2) se muestran las formas de onda generadas por el multivibrador astable.

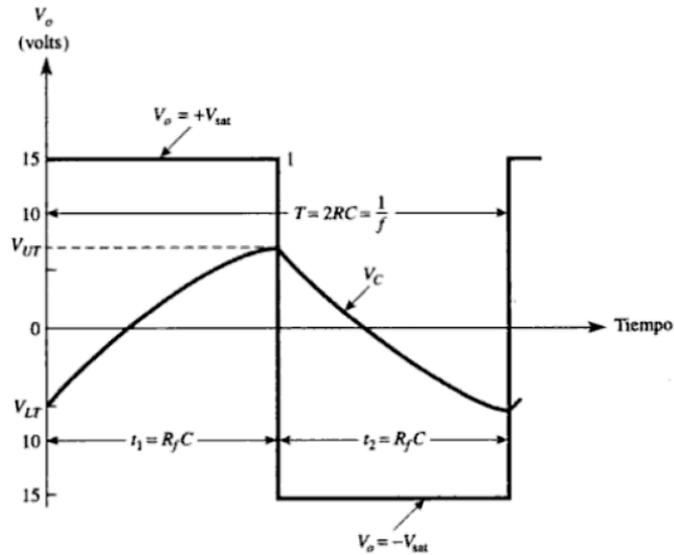
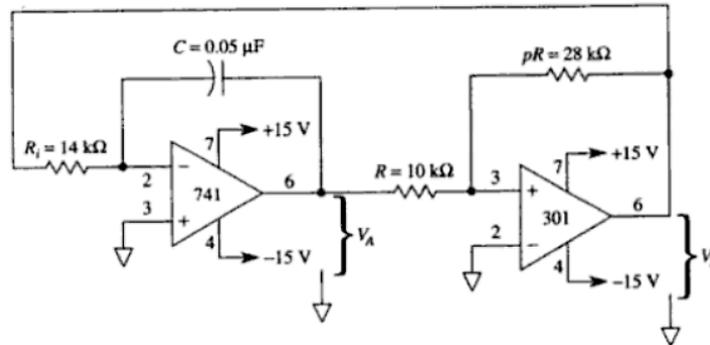


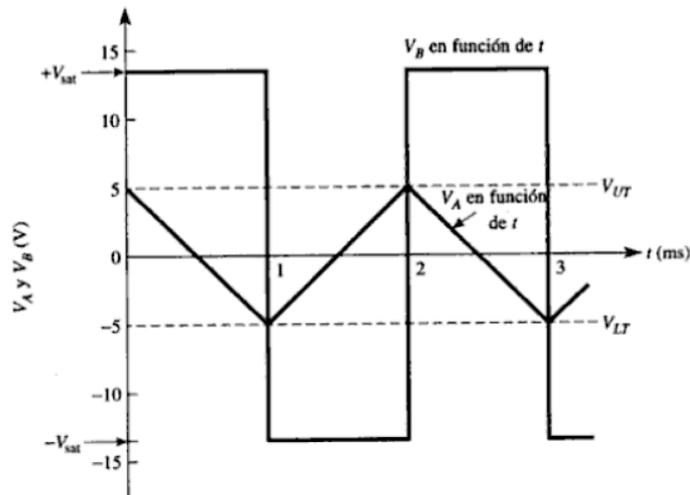
Figura 6-2. Formas de onda generadas por el multivibrador astable.

GENERADOR DE ONDA TRIANGULAR

En la figura 6-6 se muestra el circuito eléctrico y la forma de onda de un generador de onda triangular bipolar.



(a) El circuito integrador 741 y el circuito comparador 301 se conectan para construir un generador de onda triangular.



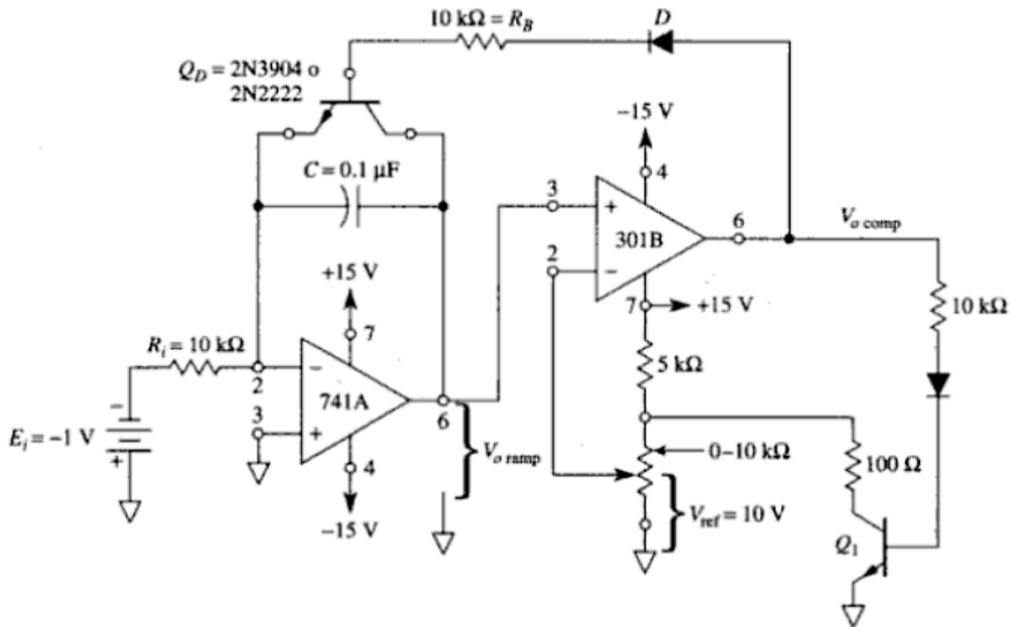
(b) Formas de onda.

FIGURA 6-6 El circuito generador de onda triangular bipolar en (a) produce las señales de un oscilador de ondas cuadrada y triangular que se muestran en (b). (a) La frecuencia básica del oscilador generador de la onda triangular a 1,000 Hz; (b) formas de onda del voltaje de salida.

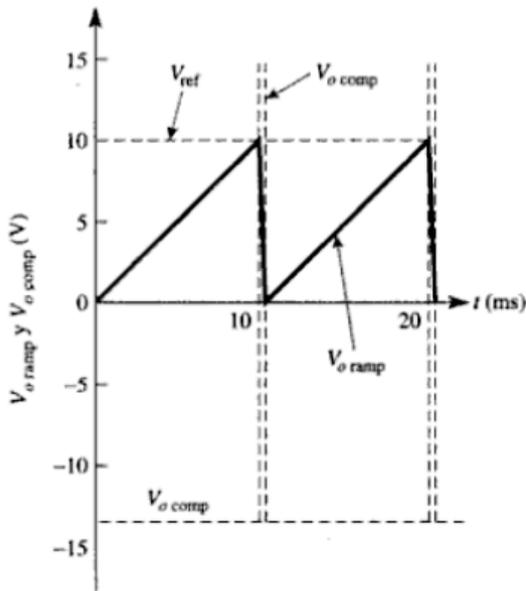
Ecuaciones de diseño para calcular la frecuencia de operación del generador de onda triangular:

$$V_{UT} = -\frac{-V_{sat}}{p} \quad V_{LT} = -\frac{+V_{sat}}{p} \quad p = \frac{pR}{R} \quad f = \frac{p}{4R_1C}$$

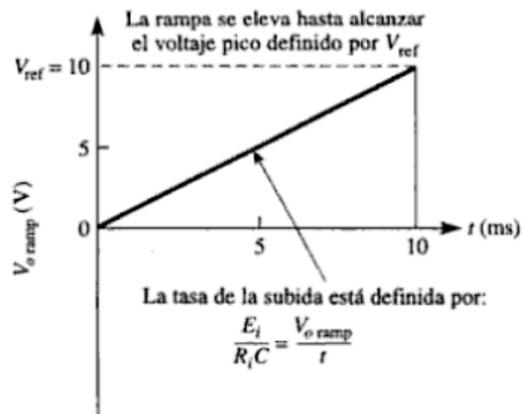
GENERADOR DE ONDA DIENTE DE SIERRA



(a) Circuito generador de onda diente de sierra.



(b) Salida de onda diente de sierra $V_{o\ ramp}$ y salida del comparador.



(c) Detalles para el diseño o análisis de la onda diente de sierra.

FIGURA 6-8 El circuito generador de onda diente de sierra de (a) tiene las formas de onda mostradas en (b) y (c). La frecuencia de oscilación es de 100 Hz, o $f = (1/R_1C)(E_i/V_{ref})$.

Ecuaciones de diseño para calcular la frecuencia de operación del generador de onda diente de sierra:

$$\text{Tiempo (de subida)} = \frac{\text{Distancia (de subida)}}{\text{Velocidad (de subida)}}$$

$$\text{Periodo } T = \frac{V_{ref}}{E_i/R_iC}$$

$$f = \left(\frac{1}{R_iC} \right) \frac{E_i}{V_{ref}}$$

PROCEDIMIENTO

- 1) Diseñar y construir un generador de onda **cuadrada** con capacidad de generar señales desde 1Hz hasta 1 MHz aproximadamente.
- 2) Diseñar y construir un generador de onda **triangular bipolar** con capacidad de generar señales desde 1Hz hasta 1 MHz aproximadamente.
- 3) Diseñar y construir un generador de onda **diente de sierra** con capacidad de generar señales desde 1Hz hasta 1 MHz aproximadamente.

Nota: Considere el uso de switches selectores para cambiar entre rangos de frecuencia (Hz → KhZ)

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

Robert F. Coughlin, Frederick F. Driscoll , 1999, *Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales*, Pearson-Prentice Hall, 5ta edición.

C. J. Savant, Jr., Martin S. Roden, Gordon L. Carpenter, 1992. *Diseño electrónico, circuitos y sistemas*. Addison-Wesley Iberoamericana, 2da edición. ISBN 0-201-62925-9.