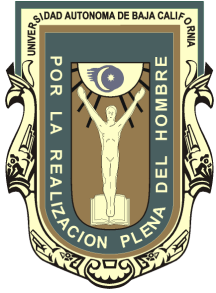


Universidad Autónoma de Baja California

Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño



Laboratorio de Diseño Analógico

Prácticas

Carrera: Ingeniería Electrónica

5o. Semestre

Miguel Enrique Martínez Rosas
Manuel Moisés Miranda Velasco

Ensenada, Baja California, Agosto de 2016.

Laboratorio de Diseño Analógico

Método de evaluación

Integración de la calificación.

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

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

Formato de entrega de reportes

Los reportes deberán ser escritos a mano en un cuaderno de uso exclusivo para el Laboratorio de Diseño Analógico, con la puntuación y la ortografía correctas. En el cuaderno se marcará la asistencia y calificación de cada práctica, es responsabilidad del alumno conservar y presentar al final del semestre el cuaderno para justificar su asistencia al Laboratorio. 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.

El proyecto consistirá en el diseño e implementación de un prototipo electrónico, basado en cálculos teóricos como los desarrollados en la clase, además de mediciones de cada etapa (similares a las realizadas en las prácticas), en donde se aplique la mayoría de los conceptos adquiridos en el curso. El circuito final deberá entregarse en una placa impresa y en un contenedor (caja) con acabado profesional, además de ser completamente funcional. También se entregará un reporte del prototipo, en donde se incluirá: el objetivo del prototipo, el material y equipo requerido para su implementación, una introducción donde se describan los principios teóricos del prototipo, la metodología de desarrollo, la memoria de cálculo, las instrucciones de operación del prototipo, las mediciones realizadas, las conclusiones del trabajo y la bibliografía consultada.

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.

Práctica 1

Manejo del Osciloscopio

Objetivo

Familiarizarse con las funciones de un Osciloscopio para realizar mediciones correctas de señales electrónicas.

Introducción

Un Osciloscopio es un instrumento electrónico de prueba que despliega señales eléctricas de forma gráfica, generalmente realiza mediciones de señales de voltaje (eje vertical o Y) contra el tiempo (eje horizontal o X), tal como se muestra en la Figura ??.

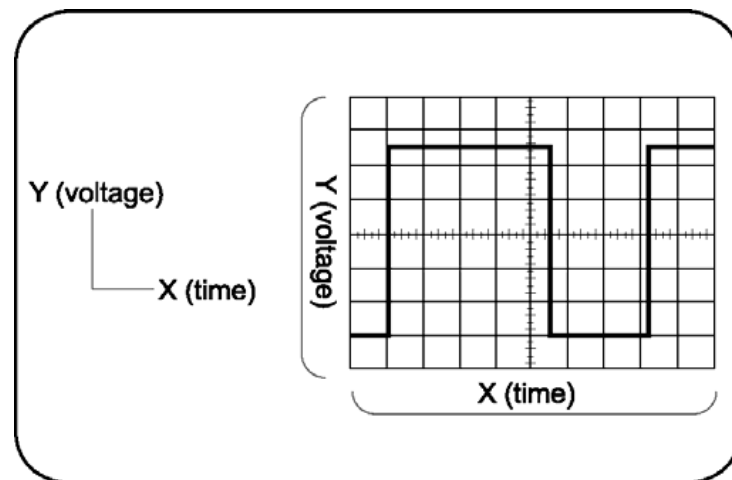


Figura 1.1: Despliegue típico de señales en un osciloscopio.

La intensidad de la brillantez de una forma de onda algunas veces se considera como el eje Z. Existen algunas aplicaciones en donde se pueden aplicar otras señales para los ejes verticales, por ejemplo la corriente y otras señales para los ejes horizontales, tales como la frecuencia u otras señales de voltaje. Los osciloscopios también se utilizan para medir señales eléctricas en respuesta a estímulos físicos, tales como el sonido, estrés mecánico, presión, luz o calor. Por ejemplo, un técnico de televisores puede utilizar un osciloscopio para medir señales de la tarjeta principal del circuito de una televisión, mientras que un investigador médico puede utilizar un osciloscopio para medir ondas cerebrales [?] [?] [?].

Equipo y Material empleado

- 1 Generador de Funciones
- 1 Cable para Generador de Funciones
- 1 Osciloscopio
- 2 Puntas de prueba para Osciloscopio
- 1 Tablilla de pruebas (*protoboard*)
- 1 Capacitor de $1\ \mu\text{F}$
- 1 Resistencia de $1\ \text{k}\Omega$

Procedimiento

1. Encienda el Osciloscopio y el Generador de Funciones para permitir que los instrumentos se estabilicen térmicamente.
2. Conecte las puntas de prueba del osciloscopio a las canales CH1 y CH2.
3. Coloque las perillas de acoplamiento para cada canal en la opción GND.
4. Pruebe la opción de *activación* y *desactivación* de los trazos, en general simplemente se presiona dos veces el botón de selección de trazo.
5. Active el trazo correspondiente al CH1 y desactive el trazo correspondiente al CH2.
6. Ajuste las escalas a los valores siguientes:
 - a) Escala vertical $1\text{V}/\text{Div}$
 - b) Escala horizontal $1\text{ms}/\text{Div}$

- c) Multiplicador de las sondas de prueba $\times 1$
 - d) Modo de ajuste de ganancia gruesa (coarse)
 - e) Limitación de Ancho de Banda (Bandwidth) NO
 - f) Barrido en corrida libre (RUN)
7. Inyecte una señal senoidal cuya amplitud se encuentre entre 1 y 5 V. Elija de manera aleatoria la frecuencia de la señal y posteriormente:
 8. Ajuste los parámetros del osciloscopio para observar de ser posible un solo ciclo en toda la pantalla del osciloscopio.
 9. Mida de la manera más precisa posible la amplitud y frecuencia de la señal. Dibuje la señal en ejes cartesianos indicando los valores y unidades en cada eje.
 10. Cambie la posición de inicio de barrido con ayuda del nivel de disparo ("Trigger Level"). Dibuje los trazos superpuestos de la señal con por lo menos tres niveles diferentes de disparo.
 11. Calcule la frecuencia de señal a partir de la medición del periodo T (duración de un ciclo) ¿Corresponde con el valor indicado en la pantalla del generador de funciones?
 12. Agregue un nivel de corriente directa ("off-set") a la señal senoidal, haga mediciones de la señal utilizando los acoplamientos:
 - DC
 - GND
 - AC
 13. Solicite el manual de operación del osciloscopio y haga un breve resumen de las funciones del instrumento que utilizó.

Práctica 2

Punto de Operación Q

Objetivo

Familiarizarse con 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 (*protoboard*)
- 1 Voltímetro
- 2 Cables para Voltímetro
- 1 Amperímetro
- 4 Cables para Amperímetro
- Resistencias

Procedimiento

1. Calcule los valores de las resistencias para los amplificadores mostrados en la Figura ?? con el procedimiento visto en clase.
2. Arme los circuitos mostrados en la Figura ?? 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. Trace la recta de carga para cada circuito y dibuje su punto de operación respectivo.

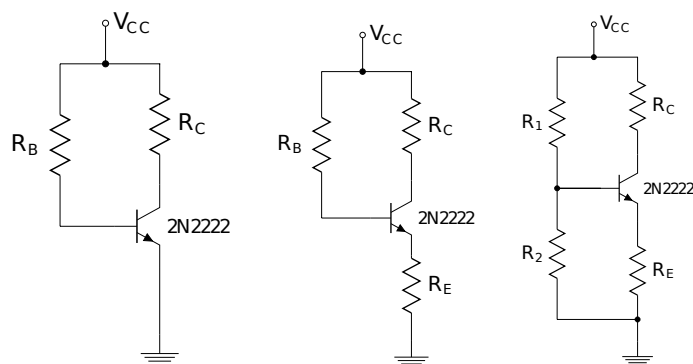


Figura 2.1: Amplificadores básicos en configuración Emisor-Común.

Práctica 3

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 (*protoboard*)
- 1 Voltímetro
- 2 Cables para Voltímetro
- 1 Voltímetro con capacidad para medir temperatura con Termopar
- 1 Termopar (ver Figura ??)
- 1 Amperímetro
- 4 Cables para Amperímetro
- Resistencias
- 1 Cautín

Procedimiento

1. Calcule los valores de las resistencias para los amplificadores mostrados en la Figura ?? con el procedimiento visto en clase.
2. Arme los circuitos mostrados en la Figura ?? 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 ?? 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 ?? 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 ??)
7. Trace las recta de carga para cada circuito y dibuje los puntos de operación respectivos a cada temperatura.

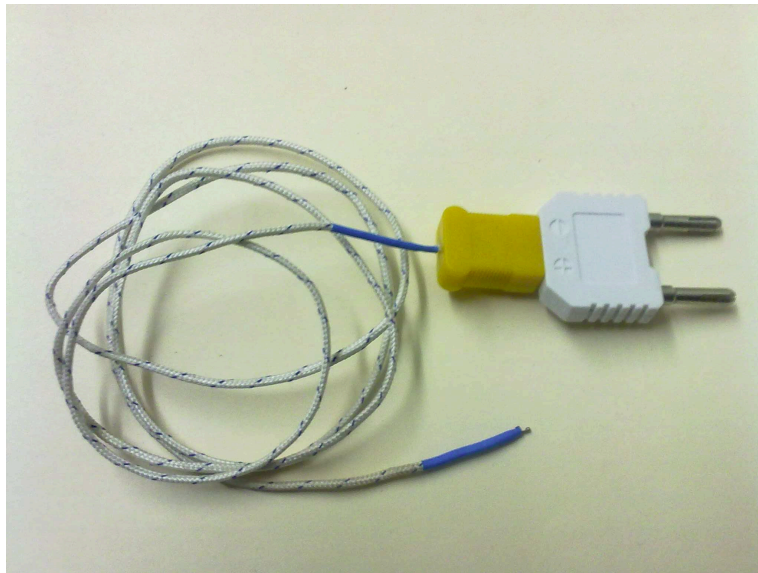


Figura 3.1: Termopar.

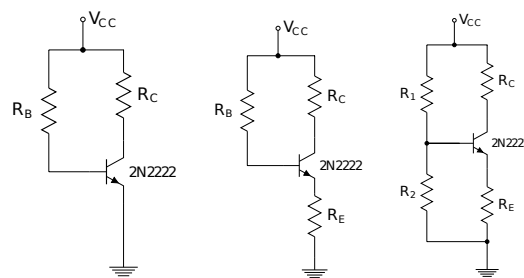


Figura 3.2: Amplificadores básicos en configuración Emisor-Común.

Cálculos y Simulaciones

Resultados

Conclusiones

Bibliografía

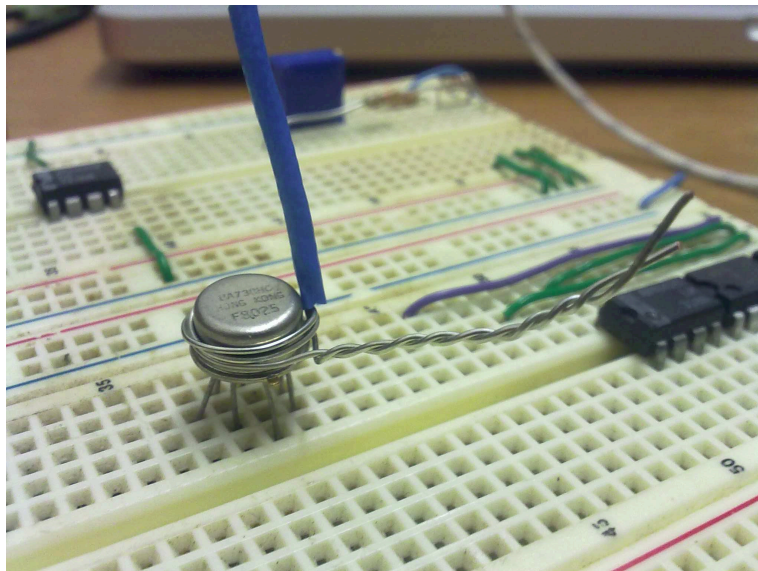


Figura 3.3: Detalle del alambre de cobre enrollado sobre el transistor con el termopar.

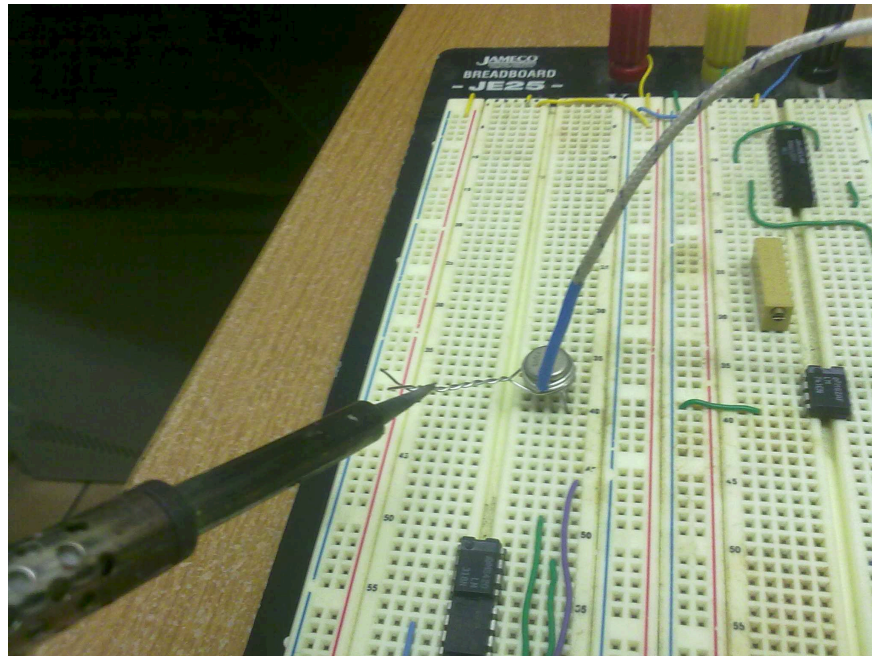


Figura 3.4: Forma de aumentar la temperatura en el transistor con ayuda del cautín, observe que no se toca al transistor directamente con la punta del cautín, sino que se transfiere el aumento de temperatura a través de un alambre de cobre enrollado.

Práctica 4

Amplificación de señales de corriente alterna

Objetivo

Familiarizarse con el funcionamiento de un amplificador emisor común (EC) en sus tres configuraciones básicas cuando se le inyectan señales de corriente alterna.

Introducción

El diseño de un amplificador siempre debe tener en cuenta la tensión de entrada disponible y la impedancia de entrada, así como la tensión de salida deseada y la resistencia de carga. Cuando las excursiones de corriente y tensión colector-emisor son muy pequeñas, el transistor puede considerarse lineal y reemplazarse, a efecto de análisis, por circuitos equivalentes para pequeña señal.

El cálculo de amplificadores de tensión o corriente para pequeña señal se divide en dos partes:

Análisis en corriente continua (c.c.).- Consiste en establecer la paralización de corriente continua, o sea, hallar el punto de reposo adecuado. Para esto se usa el método grafico.

Análisis en corriente alterna (c.a.).- Esta parte incluye los cálculos de amplificación e impedancia a la frecuencia de la señal, es aquí donde se utiliza el circuito equivalente para pequeña señal.

Los elementos del circuito equivalente pueden deducirse de la composición interna del dispositivo o de las propiedades en sus terminales. En la mayor parte de las aplicaciones los parámetros híbridos son los mas útiles porque pueden medirse fácilmente. El significado físico de estos parámetros puede obtenerse a partir de las curvas de entrada y salida del circuito y son:

h_f : (A_i en corto circuito)

h_i : ($Z_{entrada}$ en corto circuito)

h_r : (A_v^{-1} en circuito abierto)

h_o : (Y_{salida} en circuito abierto)

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
- 1 Transistor 2N2222 (o equivalente)
- 1 Tablilla de pruebas (*protoboard*)
- Resistencias
- Capacitores

Procedimiento

1. Diseñe un amplificador en configuración E-C para excursión simétrica máxima como el mostrado en el diagrama de la Figura ?? (utilizar el valor de β obtenido en la práctica 1).
2. Haga el análisis de pequeña señal y calcule el parámetro h_{ie} . Calcule la ganancia en corriente y voltaje.

3. Conecte su amplificador y mida las condiciones de reposo, trace la recta de carga y compare con los valores calculados.
4. Inyecte una señal de c.a. que no sature la salida.
5. Mida las señales de entrada y salida en el osciloscopio y dibuje los resultados tomando en cuenta las escalas de medición.
6. Reduzca la frecuencia de la señal de entrada, observe la señal de salida y explique el comportamiento.
7. Aumente la frecuencia de la señal, explique el cambio en la señal de salida.

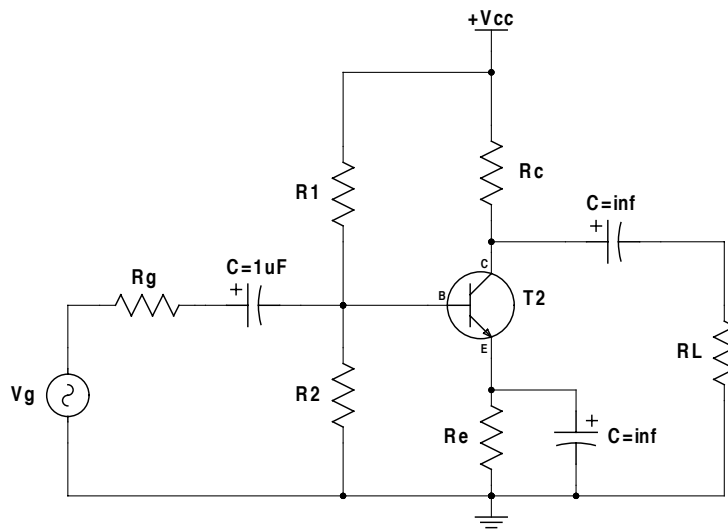


Figura 4.1: Amplificador básico en configuración Emisor-Común con capacitores ideales.

Cálculos y Simulaciones

Resultados

Conclusiones

Bibliografía

Práctica 5

Modificación de Ganancia debida a C_1 , C_2 y C_E

Objetivo

Encontrar la frecuencia de corte y observar el comportamiento del circuito para valores inferiores y superiores a dicha frecuencia, midiendo su magnitud y fase correspondiente.

Introducción

La respuesta a baja frecuencia del amplificador en configuración en emisor común esta determinada por el capacitor de desacopio de emisor C_E y los capacitores de acoplamiento C_1 y C_2 . Usualmente, en los circuitos amplificadores a transistor, el capacitor de acoplamiento C_1 limita la respuesta en baja frecuencia.

Estos capacitores de acoplamiento, son externos al transistor y producen el descenso de la respuesta en baja frecuencia del amplificador debido a su impedancia equivalente, que llega a ser grande en frecuencias bajas.

Para cada circuito, existe una banda de frecuencias en la que la magnitud de la ganancia es igual o relativamente cercana al valor de la banda media ($|A| = |A_m|$). Para fijar las fronteras de frecuencia a una ganancia relativamente alta se selecciona 0.7071 como la ganancia para los niveles de corte, dicha frecuencia (ω_c) también es conocida como frecuencia de media potencia, ya que el nivel de potencia de salida a la frecuencia ω_c corresponde a la mitad de la potencia de salida obtenida en la banda media.

Los amplificadores en configuración *Emisor-Común* introducen un desplazamiento de fase de 180° entre la señal de entrada y la señal de salida. Este caso solo ocurre para la región de banda media. Para bajas frecuencias, existe un desplazamiento de fase tal que desfasa a V_i por un ángulo mayor. Para altas frecuencias, el desplazamiento de fase cae por debajo de 180° .

La ganancia del amplificador, considerando los valores reales de C_1 está dada por:

$$A_I = \left(\frac{1}{1 - j \frac{\omega_{C1}}{\omega}} \right) \cdot A_{Im}$$

$$\omega_{C1} = \frac{1}{C_1 \cdot (R_g + R_b || h_{ie})}$$

Recuerde también que:

$$|H(j\omega)| = \frac{|NUM(j\omega)|}{|DEN(j\omega)|} = \frac{\sqrt{Re[NUM]^2 + Im[NUM]^2}}{\sqrt{Re[DEN]^2 + Im[DEN]^2}}$$

$$|H(j\omega)|_{dB} = 20 \log_{10} |H(j\omega)|$$

$$\theta(j\omega) = \arctan \left(\frac{Im[NUM]}{Re[NUM]} \right) - \arctan \left(\frac{Im[DEN]}{Re[DEN]} \right)$$

Para facilitar la organización de sus datos medidos llene una gráfica como la mostrada a continuación:

ω	$ H(j\omega) $	$ H(j\omega) _{dB}$	$\theta(j\omega)$	$\rightarrow$
$1000\omega_c$				
$100\omega_c$				
$10\omega_c$				
ω_c				
$\frac{\omega_c}{10}$				
$\frac{\omega_c}{100}$				
$\frac{\omega_c}{1000}$				

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
- 1 Transistor 2N2222 (o equivalente)
- 1 Tablilla de pruebas (*protoboard*)
- Resistencias
- Capacitores

Procedimiento

1. Arme el circuito mostrado en la figura ?? empleando los valores de componentes calculados en la práctica 3.
2. Utilice valores de $C_2 = C_E \geq 400 \mu\text{F}$ y $C_1 = 0.1 \mu\text{F}$.
3. Conecte el canal uno del osciloscopio en la entrada y el canal dos en la salida del circuito.
4. Dibuje las formas de onda obtenidas incluyendo las escalas y condiciones empleadas en el osciloscopio.
5. Haga una tabla con los valores de Magnitud (lineal y en dB) y Fase para las siguientes frecuencias:
 - a) $\omega = 100\omega_{c1}$
 - b) $\omega = 10\omega_{c1}$
 - c) $\omega = \omega_{c1}$
 - d) $\omega = \frac{\omega_{c1}}{10}$
 - e) $\omega = \frac{\omega_{c1}}{100}$
6. Trace las gráficas de Bode de Magnitud y Fase.

Cálculos y Simulaciones

Resultados

Conclusiones

Bibliografía

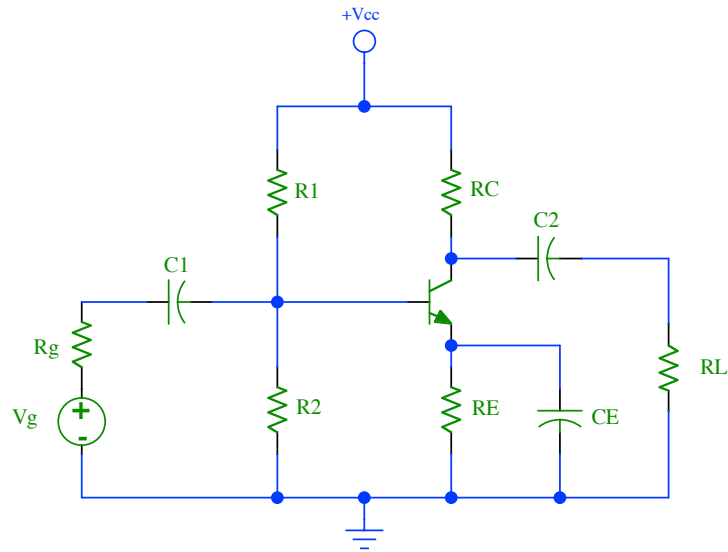


Figura 5.1: Amplificador en configuración *Emisor-Común* con capacitor C_1 para compensación de ganancia ($C_2 = C_E = \infty$).

Modificación de Ganancia debida a C_2

Objetivo

Encontrar la frecuencia de corte y observar el comportamiento del circuito para valores inferiores y superiores a dicha frecuencia, midiendo su magnitud y fase correspondiente.

Introducción

La respuesta a baja frecuencia del amplificador en configuración en emisor común esta determinada por el capacitor de desacopio de emisor C_E y los capacitores de acoplamiento C_1 y C_2 . Usualmente, en los circuitos amplificadores a transistor, el capacitor de acoplamiento C_2 limita la respuesta en baja frecuencia.

Estos capacitores de acoplamiento, son externos al transistor y producen el descenso de la respuesta en baja frecuencia del amplificador debido a su impedancia equivalente, que llega a ser grande en frecuencias bajas.

Para cada circuito, existe una banda de frecuencias en la que la magnitud de la ganancia es igual o relativamente cercana al valor de la banda media ($|A| = |A_m|$). Para fijar las fronteras de frecuencia a una ganancia relativamente alta se selecciona 0.7071 como la ganancia para los niveles de corte, dicha frecuencia (ω_c) también es conocida como frecuencia de media potencia, ya que el nivel de potencia de salida a la frecuencia ω_c corresponde a la mitad de la potencia de salida obtenida en la banda media.

Los amplificadores en configuración *Emisor-Común* introducen un desplazamiento de fase de 180° entre la señal de entrada y la señal de salida. Este caso solo ocurre para la región de banda media. Para bajas frecuencias, existe un desplazamiento de fase tal que desfasa a V_i por un ángulo mayor. Para altas frecuencias, el desplazamiento de fase cae por debajo de 180° .

La ganancia del amplificador, considerando los valores reales de C_2 está dada por:

$$A_I = \left(\frac{1}{1 - j \frac{\omega C_2}{\omega}} \right) \cdot A_{Im}$$

$$\omega_{C2} = \frac{1}{C_2(R_C + R_L)}$$

Recuerde también que:

$$|H(j\omega)| = \frac{|NUM(j\omega)|}{|DEN(j\omega)|} = \frac{\sqrt{Re[NUM]^2 + Im[NUM]^2}}{\sqrt{Re[DEN]^2 + Im[DEN]^2}}$$

$$|H(j\omega)|_{dB} = 20\log_{10}|H(j\omega)|$$

$$\theta(j\omega) = \arctan\left(\frac{Im[NUM]}{Re[NUM]}\right) - \arctan\left(\frac{Im[DEN]}{Re[DEN]}\right)$$

Para facilitar la organización de sus datos medidos llene una gráfica como la mostrada a continuación:

ω	$ H(j\omega) $	$ H(j\omega) _{dB}$	$\theta(j\omega)$	$\rightarrow$
$1000\omega_c$				
$100\omega_c$				
$10\omega_c$				
ω_c				
$\frac{\omega_c}{10}$				
$\frac{\omega_c}{100}$				
$\frac{\omega_c}{1000}$				

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
- 1 Transistor 2N2222 (o equivalente)
- 1 Tablilla de pruebas (*protoboard*)
- Resistencias
- Capacitores

Procedimiento

1. Arme el circuito mostrado en la figura ?? empleando los valores de componentes calculados en la práctica 3.
2. Utilice valores de $C_1 = C_E \geq 400 \mu\text{F}$ y $C_2 = 0.1 \mu\text{F}$.
3. Conecte el canal uno del osciloscopio en la entrada y el canal dos en la salida del circuito.
4. Dibuje las formas de onda obtenidas incluyendo las escalas y condiciones empleadas en el osciloscopio.
5. Haga una tabla con los valores de Magnitud (lineal y en dB) y Fase para las siguientes frecuencias:
 - a) $\omega = 100\omega_{c2}$
 - b) $\omega = 10\omega_{c2}$
 - c) $\omega = \omega_{c2}$
 - d) $\omega = \frac{\omega_{c2}}{10}$
 - e) $\omega = \frac{\omega_{c2}}{100}$
6. Trace las gráficas de Bode de Magnitud y Fase.

Cálculos y Simulaciones

Resultados

Conclusiones

Bibliografía

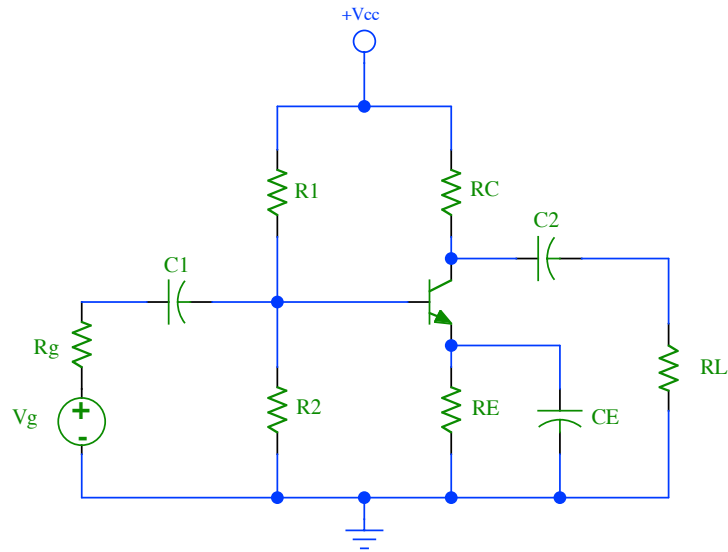


Figura 5.2: Amplificador en configuración *Emisor-Común* con capacitor C_2 para compensación de ganancia ($C_1 = C_E = \infty$).

Modificación de Ganancia debida a C_E

Objetivo

Encontrar la frecuencia de corte y observar el comportamiento del circuito para valores inferiores y superiores a dicha frecuencia, midiendo su magnitud y fase correspondiente.

Introducción

La respuesta a baja frecuencia del amplificador en configuración en emisor común esta determinada por el capacitor de desacopio de emisor C_E y los capacitores de acoplamiento C_1 y C_2 . Usualmente, en los circuitos amplificadores a transistor, el capacitor de acoplamiento C_E limita la respuesta en baja frecuencia.

Estos capacitores de acoplamiento, son externos al transistor y producen el descenso de la respuesta en baja frecuencia del amplificador debido a su impedancia equivalente, que llega a ser grande en frecuencias bajas.

Para cada circuito, existe una banda de frecuencias en la que la magnitud de la ganancia es igual o relativamente cercana al valor de la banda media ($|A| = |A_m|$). Para fijar las fronteras de frecuencia a una ganancia relativamente alta se selecciona 0.7071 como la ganancia para los niveles de corte, dicha frecuencia (ω_c) también es conocida como frecuencia de media potencia, ya que el nivel de potencia de salida a la frecuencia ω_c corresponde a la mitad de la potencia de salida obtenida en la banda media.

Los amplificadores en configuración *Emisor-Común* introducen un desplazamiento de fase de 180° entre la señal de entrada y la señal de salida. Este caso solo ocurre para la región de banda media. Para bajas frecuencias, existe un desplazamiento de fase tal que desfasa a V_i por un ángulo mayor. Para altas frecuencias, el desplazamiento de fase cae por debajo de 180° .

La ganancia del amplificador, considerando los valores reales de C_E , está dada por:

$$A_I = \left(\frac{1}{1 + \frac{K}{1+j\omega C_E R_E}} \right) \cdot A_{Im}$$

$$K = \frac{R_E(1 + h_{fe})}{R_{eq1} + h_{ie}}$$

Recuerde también que:

$$|H(j\omega)| = \frac{|NUM(j\omega)|}{|DEN(j\omega)|} = \frac{\sqrt{Re[NUM]^2 + Im[NUM]^2}}{\sqrt{Re[DEN]^2 + Im[DEN]^2}}$$

$$|H(j\omega)|_{dB} = 20\log_{10}|H(j\omega)|$$

$$\theta(j\omega) = \arctan\left(\frac{Im[NUM]}{Re[NUM]}\right) - \arctan\left(\frac{Im[DEN]}{Re[DEN]}\right)$$

Para facilitar la organización de sus datos medidos llene una gráfica como la mostrada a continuación:

ω	$ H(j\omega) $	$ H(j\omega) _{dB}$	$\theta(j\omega)$	$\rightarrow$
$1000\omega_c$				
$100\omega_c$				
$10\omega_c$				
ω_c				
$\frac{\omega_c}{10}$				
$\frac{\omega_c}{100}$				
$\frac{\omega_c}{1000}$				

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
- 1 Transistor 2N2222 (o equivalente)
- 1 Tablilla de pruebas (*protoboard*)
- Resistencias
- Capacitores

Procedimiento

1. Arme el circuito mostrado en la figura ?? empleando los valores de componentes calculados en la práctica 3.
2. Utilice valores de $C_1 = C_2 \geq 400 \mu\text{F}$ y $C_E = 10 \mu\text{F}$.
3. Conecte el canal uno del osciloscopio en la entrada y el canal dos en la salida del circuito.
4. Dibuje las formas de onda obtenidas incluyendo las escalas y condiciones empleadas en el osciloscopio.
5. Haga una tabla con los valores de Magnitud (lineal y en dB) y Fase para las siguientes frecuencias:
 - a) $\omega = 100\omega_{cE}$
 - b) $\omega = 10\omega_{cE}$
 - c) $\omega = \omega_{cE}$
 - d) $\omega = \frac{\omega_{cE}}{10}$
 - e) $\omega = \frac{\omega_{cE}}{100}$
6. Trace las gráficas de Bode de Magnitud y Fase.

Cálculos y Simulaciones

Resultados

Conclusiones

Bibliografía

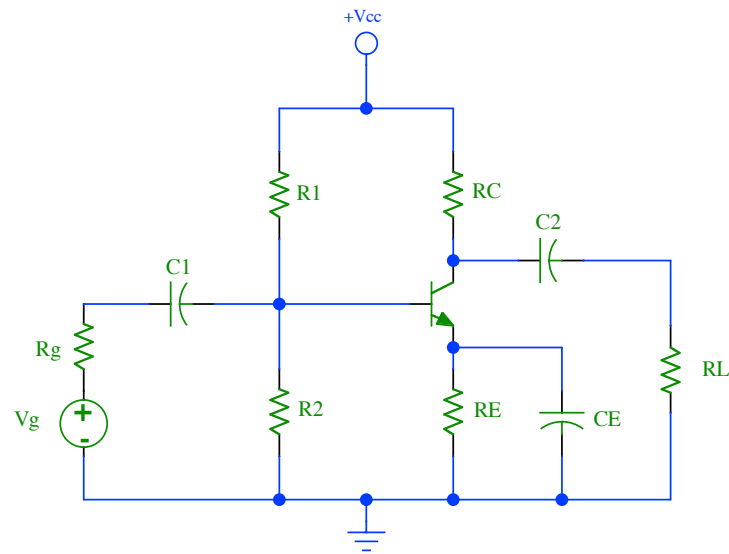


Figura 5.3: Amplificador en configuración *Emisor-Común* con capacitor C_E para compensación de ganancia ($C_1 = C_2 = \infty$).

Práctica 6

Amplificador de simetría complementaria

Objetivo

Familiarizarse con los circuitos amplificadores de simetría complementaria (*Push-pull*).

Introducción

En el circuito de simetría complementaria se utiliza un transistor NPN y otro PNP, ambos polarizados en clase “B”. En un amplificador de clase B, la corriente continua de colector es menor que el valor de pico de la alterna. Ello da lugar a una menor disipación en el colector y un aumento del rendimiento.

La señal positiva aplicada a la entrada origina que el transistor NPN conduzca, causando que la corriente fluya a través de la carga R_L . En esta etapa la corriente de salida está en fase con la señal de entrada. La porción negativa aplicada a la señal de entrada provoca que el transistor PNP conduzca causando que fluya corriente a través de R_L .

El circuito de simetría complementaria funciona de una manera muy similar a un amplificador de clase “B”, y tiene la ventaja de que no fluye corriente a través de R_L , si no se aplica señal a la entrada, además no requiere de un transformador de salida a la carga R_L .

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
- 1 Transistor NPN 2N2222 (o equivalente) y su complementario PNP
- 1 Tablilla de pruebas (*protoboard*)
- Resistencias
- Capacitores

Procedimiento

1. Calcular los valores de los elementos y armar el circuito mostrado en diagrama de la Figura ??.
2. Varié la señal V_i (desde -6 V hasta +6 V dc).
3. Realice una tabla de V_o contra V_i .
4. Trace la magnitud de la función de transferencia con los datos obtenidos.
5. Quite la señal de entrada V_i y aplique una señal senoidal de 6 Vpp a una frecuencia igual a 500 Hz.
6. Grafique las formas de onda de entrada y salida.
7. ¿Existe distorsión en la señal de salida?
8. Calcule los valores del circuito y compárelos con los mostrados.
9. Polarice el circuito y ajuste R_3 hasta obtener una caída de 0.3 V a través de la misma.
10. Inyecte una señal $V_i(t) = V_m \text{Sen}(\omega t)$ con una frecuencia de 1 kHz y $V_m = 1$ Vpp y observe la salida.

11. Dibuje las señales de entrada y salida para V_o desde 0 Vpp hasta 5 Vpp variando la señal de entrada a intervalos de 1 Vpp.
12. Fije V_i a 1 Vpp y 1 kHz, disminuya R_3 y observe V_o hasta que se tenga una diferencia de la señal.
13. Repita el mismo procedimiento para el circuito de la Figura ??.

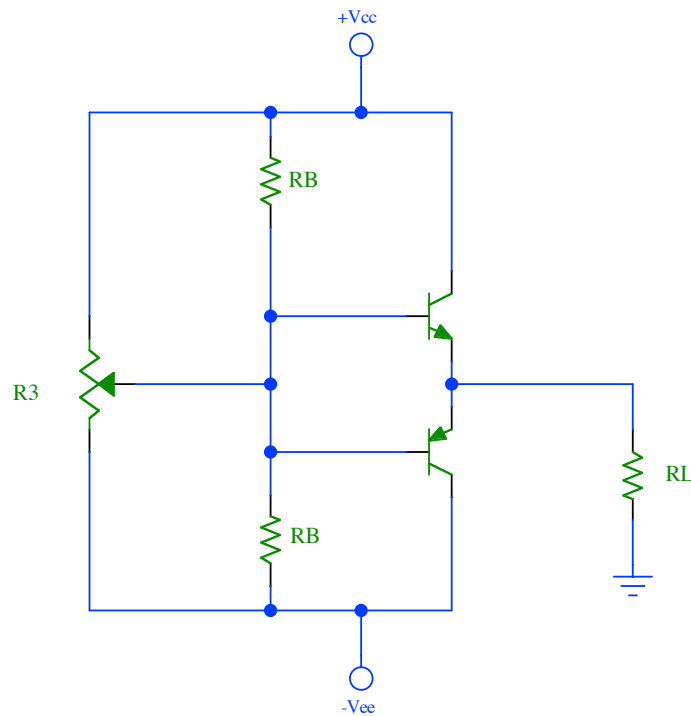


Figura 6.1: Amplificador en configuración de simetría complementaria “push-pull”.

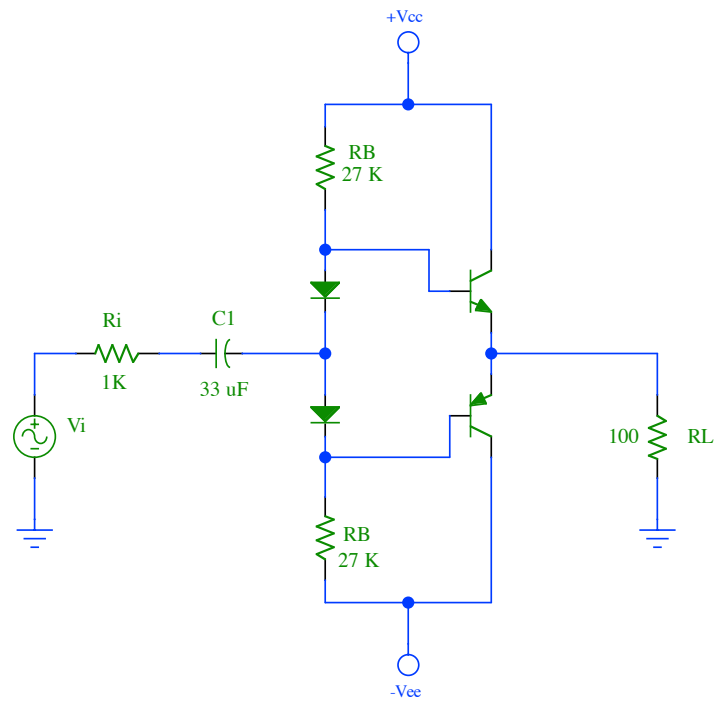


Figura 6.2: Amplificador en configuración de simetría complementaria “push-pull”.

Cálculos y Simulaciones

Resultados

Conclusiones

Bibliografía

Práctica 7

Amplificador Diferencial

Objetivo

Familiarizarse con el funcionamiento de un amplificador diferencial.

Introducción

La figura ?? 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 mas 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 ??, haciendo $V_a = V_1 = V_2 = 0$ (es decir sustituya las fuentes V_1 y V_2 por una conexión a tierra y $V_d = 0$).
3. Registre V_{c1} y V_{c2} .
4. Haga un barrido del voltaje de entrada V_a desde -5 V hasta + 5V manteniendo $V_a = V_1 = V_2$ y $V_d = 0$.
5. Registre V_{c1} y V_{c2} .
6. Cambie los valores de entrada a: $V_a = V_1 = V_2 = 1$ Vpp a una frecuencia igual a 1kHz (se mantiene $V_d = 0$).
7. Registre V_{c1} y V_{c2} .
8. Utilice ahora $V_2 = 0$ (es decir sustituya la fuente $V_2 = V_a + \frac{1}{2}V_d$ por una conexión a tierra).
9. Inyecte una señal de $V_1 = V_a - \frac{1}{2}V_d = 1$ Vpp a una frecuencia igual a 1kHz.
10. Registre los voltajes en V_{c1} y V_{c2} .
11. Explique ¿Por qué existe una señal diferente en lugar de la misma forma que la señal de entrada?

12. Arme el circuito mostrado en el diagrama de la Figura ??, haciendo $V_1 = 0$ (es decir sustituya la fuente $V_1 = V_a - \frac{1}{2}V_d$ por una conexión a tierra) e inyecte una señal de $V_2 = V_a + \frac{1}{2}V_d = 1$ Vpp a una frecuencia igual a 1kHz.
13. Registre V_{c1} y V_{c2} .
14. ¿Qué sucede si se aplican señales desfasadas 180° (una con respecto a la otra) a cada entrada T_1 y T_2 .
15. Realice los cálculos y verifique los valores de las componentes.
16. Trace las rectas de carga de cd , ac , punto de operación. Calculado y experimental.
17. ¿Qué ventajas presenta este amplificador con respecto a los que ha visto en prácticas anteriores?

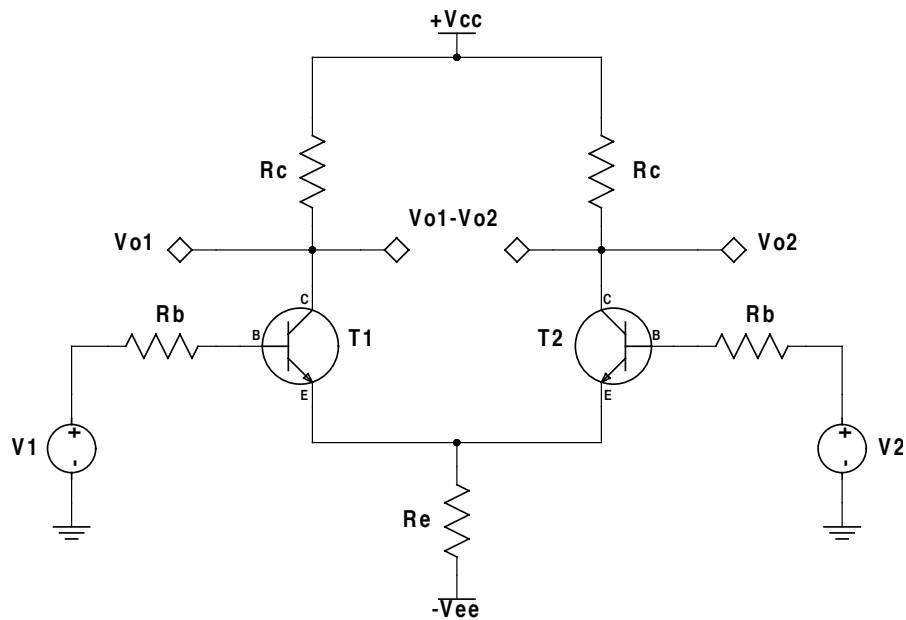


Figura 7.1: Amplificador diferencial básico.

Cálculos y Simulaciones

Resultados

Conclusiones

Bibliografía

Práctica 8

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 (*protoboard*)
- 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 ??
5. Mida la corriente de salida empleando las resistencias de carga siguientes:

$$a) R_L = \frac{R_{L_{max}}}{2}$$

$$b) R_L = \frac{R_{L_{max}}}{10}$$

$$c) R_L = R_{L_{max}}$$

$$d) R_L = 2R_{L_{max}}$$

$$e) R_L = 0 \text{ (corto circuito)}$$

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 ??

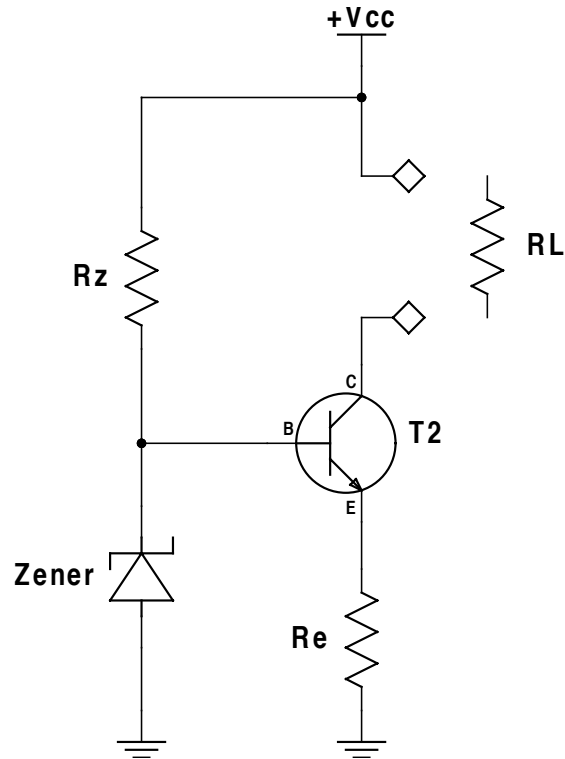


Figura 8.1: Configuración de fuente de corriente con diodo Zener.

Cálculos y Simulaciones

Resultados

Conclusiones

Bibliografía

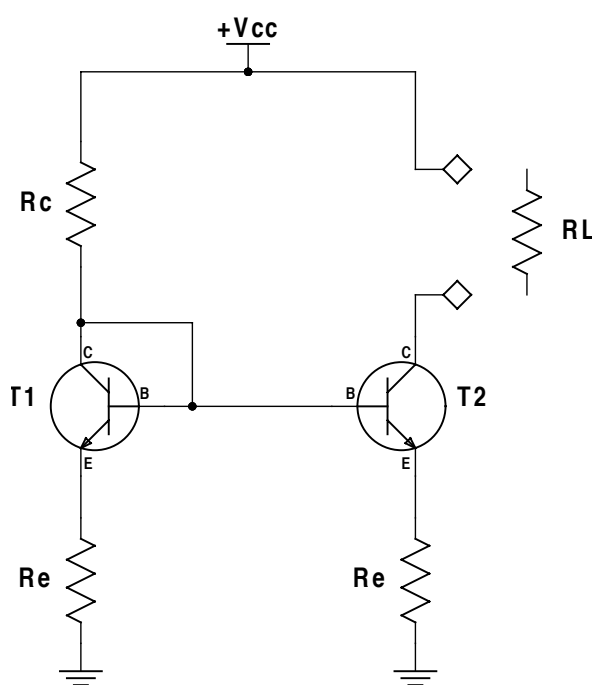


Figura 8.2: Configuración de fuente de corriente tipo *espejo de corriente*.

Práctica 9

Amp. diferencial con fuente de corriente

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 (*protoboard*)
- Resistencias
- Capacitores

Procedimiento

1. Utilice los siguientes valores de componentes:

- a) $V_{CC}=10\text{ V}$
- b) $-V_{EE}=-10\text{ V}$
- c) $R_C=200\ \Omega$
- d) $R_B=1\text{ k}\Omega$
- e) $R_E=200\ \Omega$

Calcule el valor de $-V_{BB}$ con el procedimiento mostrado en clase

2. Arme el circuito mostrado en el diagrama de la Figura ??, haciendo $V_2 = 0$ (es decir sustituya la fuente V_2 por una conexión a tierra).
3. Inyecte una señal triangular 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 triangular 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 ??, haciendo $V_1 = 0$ (es decir sustituya la fuente V_1 por una conexión a tierra) e inyecte una señal triangular 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?

Cálculos y Simulaciones

Resultados

Conclusiones

Bibliografía

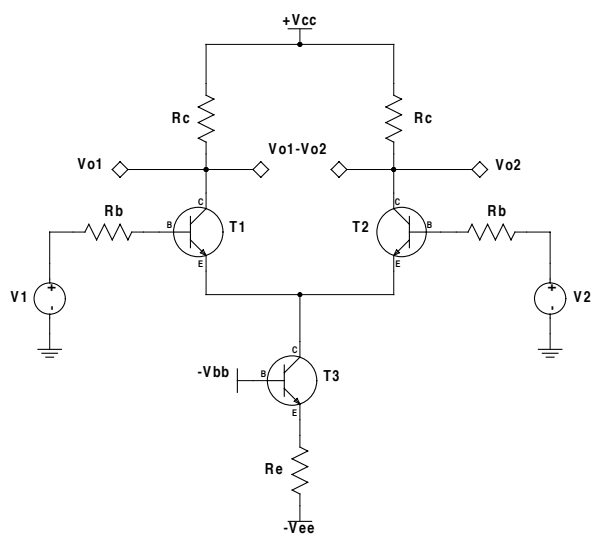


Figura 9.1: Amplificador diferencial con fuente de corriente.

Práctica 10

Caracterización del Amplificador Operacional

Objetivo

Medir las características más importantes de un amplificador operacional en lazo abierto y lazo cerrado.

Introducción

En esta práctica se hablara sobre las características de los amplificadores operacionales. 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 volt (especificación también definida por el fabricante). Los amplificadores operacionales se caracterizan por su entrada diferencial y una ganancia muy alta, generalmente mayor que 10^5 equivalentes a 100dB. El Amplificador Operacional ideal se caracteriza por:

- Resistencia de entrada, $(R_i) \rightarrow \infty$
- Resistencia de salida, $(R_o) \rightarrow 0$
- Ganancia de tensión, $(A_v) \rightarrow \infty$
- Ancho de banda, $(BW) \rightarrow \infty$

El *Slew Rate* (ó velocidad de subida) de un amplificador se define como la razón máxima 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 nivel dado de señal de salida. A continuación se muestra la expresión para el *Slew Rate*:

$$SR = \left. \frac{dV_o}{dt} \right|_{max} \quad (10.1)$$

El *Slew Rate* se expresa típicamente en unidades de $V/\mu s$. Por ejemplo, para un amplificador operacional LM741 la velocidad máxima de respuesta es de $0.5 V/\mu s$.

Las Fórmulas Básicas utilizadas para el diseño de circuitos con Amplificadores Operacionales son:

- Ganancia de lazo cerrado (closed loop gain):

$$A_{CL} = -\frac{R_2}{R_1} \quad (10.2)$$

- Entrada Voltaje Offset (input offset voltage):

$$V_{oi} = \frac{V_{OS}}{A_{CL}} \quad (10.3)$$

- Corriente de polarización (bias current):

$$I_{B1} = \frac{V_A}{R_1} \quad (10.4)$$

$$I_{B2} = \frac{V_B}{R_3} \quad (10.5)$$

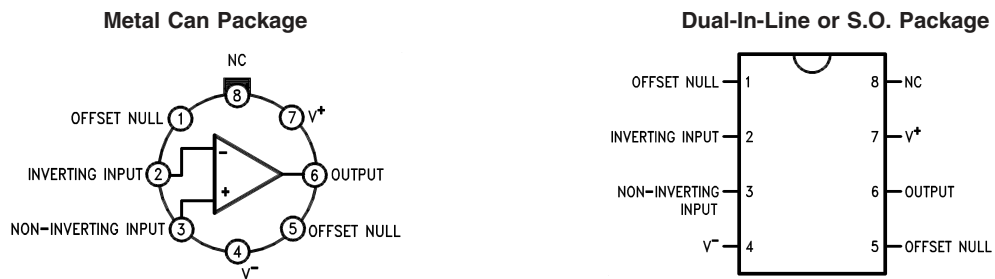


Figura 10.1: Diagrama de conexiones del Amp. Op. LM741.

Equipo y Material empleado

- 1 Fuente de alimentación dual
- 4 Cables para fuente de alimentación
- 1 Amplificador Operacional LM741 (o equivalente)
- 1 Tablilla de pruebas (*protoboard*)
- 1 Voltímetro
- 2 Cables para Voltímetro
- 1 Amperímetro
- 4 Cables para Amperímetro
- Componentes básicos (Resistencias, capacitancias, etc)

Procedimiento

1. Arme el diagrama mostrado en la Figura ??.

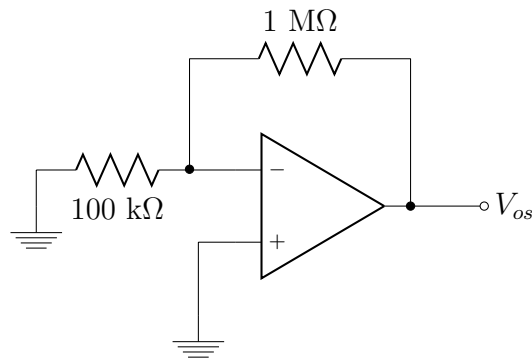


Figura 10.2: Diagrama del circuito.

2. Medir el voltaje de Offset, puede utilizarse un multímetro digital o bien un Osciloscopio Analógico. $V_{os} = \text{---mV}$.
3. Utilice la formula ?? para calcular el voltaje de Offset. $V_{oi} = \text{---mV}$.
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 Amp. Op.

5. Armar el circuito mostrado en el diagrama ??

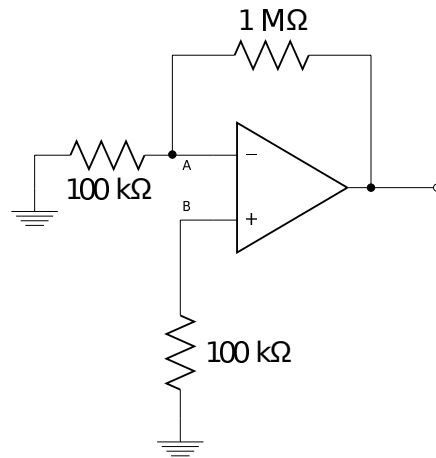


Figura 10.3: Esquemático para medir la impedancia de entrada del Amp. Op.

6. Alimentar el circuito de la figura ?? y medir el voltaje A. $V_a = \text{---mV}$.
7. Alimentar el circuito de la figura ?? y medir el voltaje B. $V_b = \text{---mV}$.
8. Utilice las formulas ?? y ?? para calcular las corrientes de polarización.
 $I_{B1} = \text{---} \mu\text{A}$ $I_{B2} = \text{---} \mu\text{A}$
9. Armar el circuito eléctrico mostrado en la Figura ??:

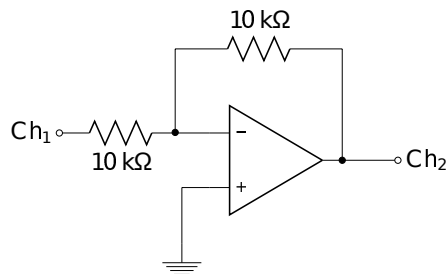


Figura 10.4: Diagrama eléctrico del experimento a realizar.

10. Ajustar el osciloscopio, CH1: 5V/DIV, CH2: 1V/DIV, TIME BASE: $20\mu\text{s}/\text{Div}$, acoplado en AC.
- a) Polarizar el circuito e inyectar una señal cuadrada de 10 KHZ y de 5 Vpp.
- b) Medir el voltaje de salida V_o pico-pico, $V_{opp} = \text{--- Volts}$, (es igual a ΔV).

- c) 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). $\Delta t = \text{---} \mu S$. Figura 2. Ejemplo ilustrativo para la medición del parámetro Δt y ΔV .
 - d) Tomar una fotografía a las dos señales simultáneamente mostradas en el osciloscopio.
 - e) De las mediciones anteriores calcular el slew rate $SR = \Delta V / \Delta t = \text{---} V / \mu S$
Qué observó en la forma de onda a la salida? Agregar sus comentarios y fotografía de las señales.
- 11. Realizar los mismos experimentos anteriores en un simulador de circuitos (LM741, LM338, LM 339 y TL 082).
 - 12. Agregar los resultados de estas simulaciones al reporte, deberá incluir los circuitos, carátula de los instrumentos, etc.
 - 13. Consultar en la hoja de características del fabricante (datasheet) de los integrados anteriores, las principales características eléctricas y anexarlas al reporte.
 - a) Principales Características eléctricas LM 741
 - b) Principales Características eléctricas LM 338
 - c) Principales Características eléctricas LM 339
 - d) Principales Características eléctricas TL 082

Cálculos y Simulaciones

Resultados

Conclusiones

Bibliografía

Práctica 11

Amplificadores: Inversor, No-Inversor y Buffer

Objetivo

Medir la salida del amplificador operacional como circuito inversor, no inversor y buffer y comprobarlas comparándolos con la señal de entrada inicial.

Introducción

Un amplificador operacional, es un circuito electrónico con 2 entradas y 1 salida que generalmente es usado para realizar operaciones matemáticas como suma, resta, derivación, etc. El circuito integrado LM741 consta de 1 Amplificador Operacional con control de desbalance (*offset*).

Comportamiento del Operacional como amplificador inversor

El voltaje de salida V_o está dado por:

$$V_o = - \left(\frac{R_2}{R_1} \right) V_i \quad (11.1)$$

En un amplificador operacional (Voltaje-Voltaje, $V - V$) al tener una ganancia muy grande se debe cumplir la condición de que la diferencia de voltaje entre sus entradas sea cero; en estos casos se tiene que en el punto A el voltaje es cero debido a que la otra entrada está en tierra, de manera que:

$$I_{R_1} + I_{R_2} = 0 \quad (11.2)$$

$$\frac{V_i}{R_1} = - \left(\frac{V_o}{R_2} \right) \quad (11.3)$$

por lo tanto:

$$V_o = - \left(\frac{R_2}{R_1} \right) V_i \quad (11.4)$$

Descripción Si se utiliza un amplificador operacional de voltaje-voltaje como se muestra en la Figura ??; se aprovechan sus características fundamentales de alta ganancia, lo que hace que su comportamiento sea el de un amplificador inversor. La ganancia será igual a

$$A_v = - \frac{R_2}{R_1} \quad (11.5)$$

y la impedancia de entrada por considerarse el punto A como “tierra virtual” es R_1 .

Comportamiento del Operacional como amplificador no inversor

En el amplificador no inversor la tensión de entrada, se aplica a la terminal no-inversora (ver Figura ??), se sabe que la ganancia del amplificador operacional es muy grande y además, que el voltaje en la terminal no-inversora es igual al voltaje en la terminal inversora y mantiene la misma polaridad que el voltaje de entrada. Por lo tanto, si se conoce el voltaje en la terminal inversora, se puede calcular la relación que existe entre el voltaje de salida y el voltaje de entrada haciendo uso de un simple divisor de tensión.

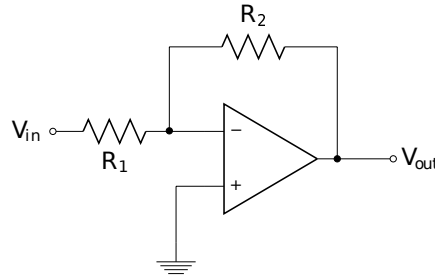


Figura 11.1: Amplificador inversor.

$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) V_i \quad (11.6)$$

Para el caso del Amplificador reforzador o “Buffer” (Figura ??), sus tres principales características serán: una ganancia de voltaje unitaria ($A_v \rightarrow 1$), una impedancia de entrada muy grande ($Z_{in} \rightarrow \infty$) y una impedancia de salida muy pequeña ($Z_{out} \rightarrow 0$).

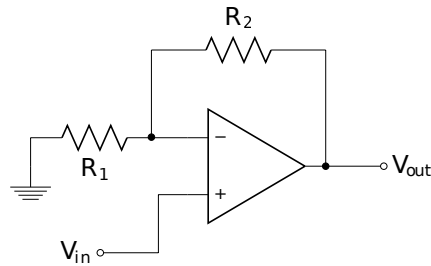


Figura 11.2: Amplificador No-inversor.

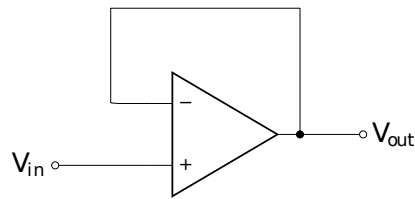


Figura 11.3: Seguidor de Voltaje.

Equipo y Material empleado

- 1 Fuente de alimentación dual
- 4 Cables para fuente de alimentación
- 1 Voltímetro
- 2 Cables para Voltímetro
- 1 Osciloscopio
- 1 Cables para Osciloscopio
- 1 Generador de funciones
- 1 Cable para Generador de funciones
- 1 Amplificador Operacional LM741 (o equivalente)
- 1 Tablilla de pruebas (*protoboard*)
- Componentes básicos (Resistencias, capacitancias, etc)

Procedimiento

1. Diseñar y simular el Amplificador Inversor, No-Inversor y Buffer. Polarizar los circuitos adecuadamente y aplicar una señal senoidal de 100 mV y 1 Vpico.
2. Medir la señal de salida para una señal de excitación de *c.a.* de 100 mV y 1 Vpp para frecuencias de 500 Hz, 1KHz, 2KHz, 10KHz, 100KHz, 500KHz, 1MHz (si el generador lo permite).
3. Observar el comportamiento y redactar sus comentarios.
4. Cambie las resistencias en los amplificadores inversor y no inversor para lograr las siguientes ganancias a una frecuencia de 8kHz. Llenar la tabla para los diferentes valores de ganancias.

A_v	R_1	R_2	V_o calculado		V_o medido	
			100 mVpp	1 Vpp	100 mVpp	1 Vpp
1						
2						
5						
10						
15						
20						

Tabla 11.1: Tabla de valores para el Amplificador Inversor.

A_v	R_1	R_2	V_o calculado		V_o medido	
			100 mVpp	1 Vpp	100 mVpp	1 Vpp
1						
2						
5						
10						
15						
20						

Tabla 11.2: Tabla de valores para el Amplificador No-Inversor.

5. Diseñar el Seguidor de voltaje. Aplicarle las mismas señales de 100mVpp y de 1 Vpp con las diferentes frecuencias. Comparar la entrada con la salida. Tome una imagen a ambas señales. Anote sus observaciones.
6. Cambiar los valores de las resistencias para lograr las siguientes ganancias.

R_L	V_i Voltaje sin carga	V_o Voltaje con carga	$\Delta V = V_o - V_i$
10 Ω			
22 Ω			
47 Ω			
100 Ω			
1 k Ω			
10 k Ω			

Tabla 11.3: Tabla de valores para el Amplificador Reforzador (*Buffer*).

- Al seguidor de voltaje aplicarle a la entrada un 1 Vcd, compararlo con la salida. Anote sus observaciones.
- Aplicar un voltaje de entrada de 16 Vcd al seguidor de voltaje,
- Observar y explicar las mediciones realizadas.
- Simular todos los circuitos anteriores.

Cálculos y Simulaciones

Resultados

Conclusiones

Bibliografía

Práctica 12

Amplificadores: Sumador, Restador, Derivador e Integrador

Objetivo

Implementar el amplificador operacional como sumador inversor y no inversor que entregue la suma de las señales introducidas.

Introducción

Uno de los componentes que se utilizan frecuentemente en electrónica es el sumador. El sumador se emplea utilizando una configuración especial de un amplificador operacional. Dependiendo de dicha configuración, se tendrán dos tipos de sumadores, el inversor y el no inversor. El sumador no inversor suma dos señales; puede atenuar, amplificar o no afectar la suma de la señal en relación con los valores de resistencia elegidos, mientras que el sumador inversor invierte la señal después de sumarla. El amplificador sumador es un dispositivo versátil, útil para combinar señales. Se pueden añadir directamente las señales, o bien cambiar la escala para que se adapten a una determinada regla de combinación..

Sumador inversor

El Amplificador Operacional puede utilizarse para sumar varias señales, con una conexión a tierra común. Un amplificador de este tipo (ver Figura ??) se denomina amplificador sumador. Amplificadores de este tipo se encuentran en cualquier mezcla de circuitos.

El voltaje de salida V_{out} está dado por:

$$V_{out} = -R_f \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \cdots + \frac{V_n}{R_n} \right) \quad (12.1)$$

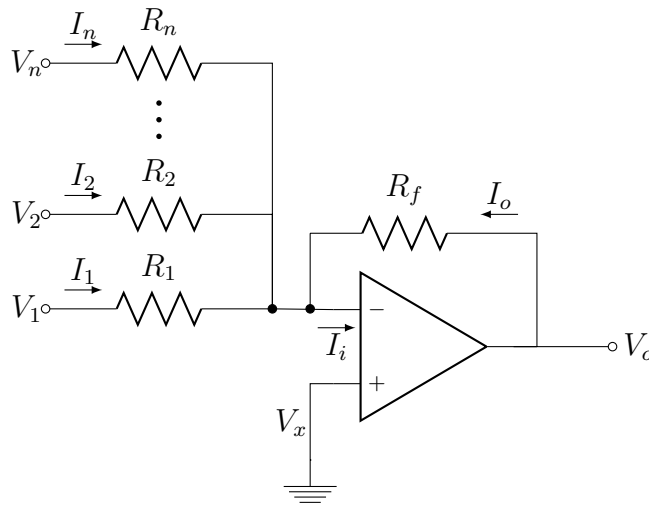


Figura 12.1: Amplificador Sumador Inversor.

Restador inversor

Otra aplicación del Amplificador Operacional es la resta o sustracción de señales, en esta configuración las señales se insertan al Amp Op tanto en la entrada inversora como en la no-inversora (ver Figura ??) y de preferencia se utiliza la consideración de que $R_1 = R_3$ y $R_2 = R_4$ para facilitar el análisis e implementación. Un amplificador de este tipo se denomina amplificador restador. Amplificadores de este tipo se encuentran en una amplia variedad de circuitos de instrumentación.

El voltaje de salida V_{out} está dado por la ecuación ??.

$$V_o = \frac{R_2}{R_1}(V_1 - V_2) \quad (12.2)$$

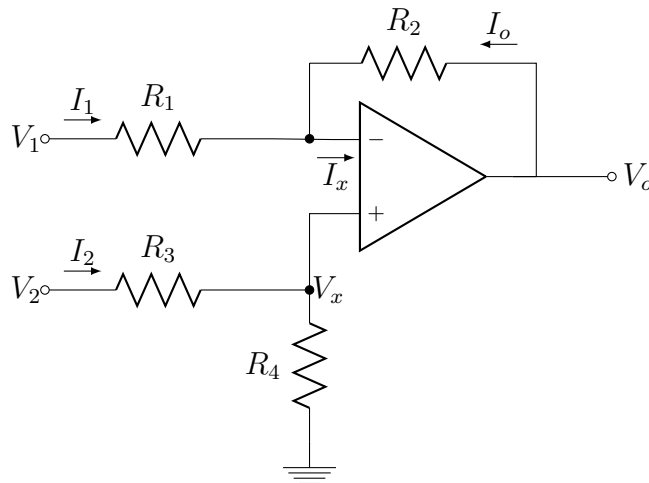


Figura 12.2: Amplificador Restador Inversor.

Integrador y Derivador Inversores

El esquema básico para realizar operaciones de integración, derivación y operaciones logarítmicas se basa en la configuración inversora mostrada en la Figura ??.

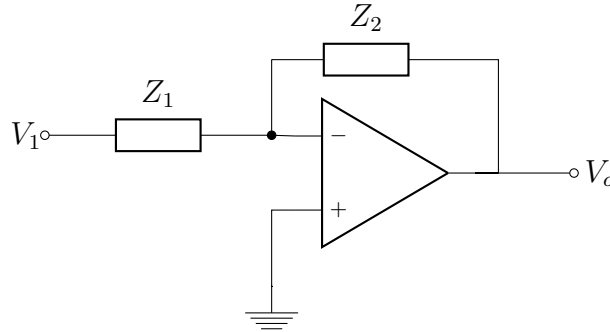


Figura 12.3: Configuración inversora

Para tal configuración, la función de transferencia en el dominio de Laplace está dada por la ecuación ??.

$$H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = -\frac{Z_2(s)}{Z_1(s)} \quad (12.3)$$

mientras que en el dominio de Fourier dicha función de transferencia está dada por la ecuación ??.

$$H(j\omega) = \frac{V_o(j\omega)}{V_i(j\omega)} = -\frac{Z_2(j\omega)}{Z_1(j\omega)} \quad (12.4)$$

Los bloques de impedancia Z_1 Z_2 se pueden sustituir por resistencias, capacitores, inductores o diodos. Para obtener un integrador se sustituye Z_1 por una resistencia y Z_2 por un capacitor (ver Figura ??), mientras que para obtener un derivador se sustituye Z_1 por un capacitor y Z_2 por una resistencia (ver Figura ??).

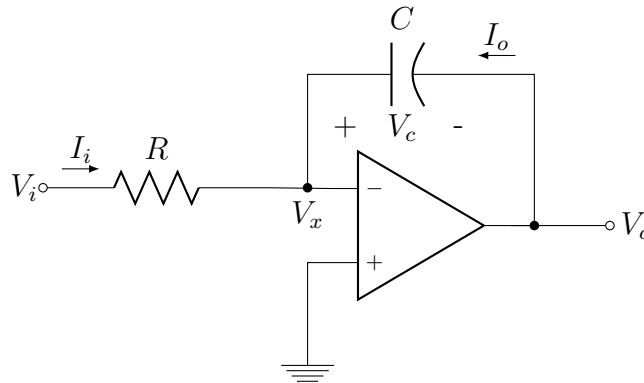


Figura 12.4: Integrador con Capacitor.

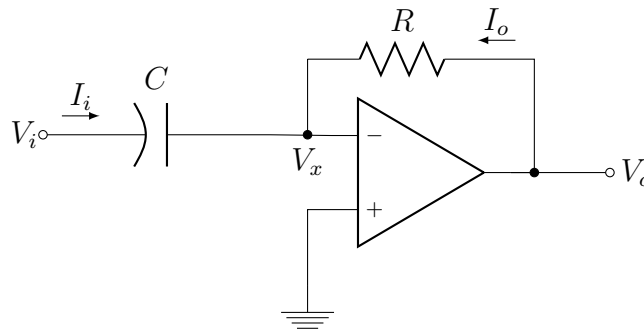


Figura 12.5: Derivador con capacitor.

Equipo y Material empleado

- 1 Fuente de alimentación dual
- 4 Cables para fuente de alimentación
- 1 Voltímetro
- 2 Cables para Voltímetro
- 1 Osciloscopio
- 1 Cables para Osciloscopio
- 1 Generador de funciones
- 1 Cable para Generador de funciones
- 1 Amplificador Operacional LM741 (o equivalente)
- 1 Tablilla de pruebas (*protoboard*)
- Componentes básicos (Resistencias, capacitancias, etc)

Procedimiento

1. Diseñar y simular los circuitos: Amplificador Sumador, Restador, Integrador y Derivador. Polarizar los circuitos adecuadamente y aplicar una señal senoidal de 100 mV y 1 V_{pico}.
2. Para el caso del Sumador y Restador mida la señal de salida para dos señales de excitación de *c.a.* (puede ser una cuadrada y la otra senoidal) de 100 mV y 1 V_{pp} para frecuencias de 500 Hz, 1KHz, 2KHz, 10KHz, 100KHz, 500KHz, 1MHz (si el generador lo permite).

3. Para el caso del Integrador y el Derivador mida la señal de salida para una señal de excitación de *c.a.* de 100 mV y 1 Vpp para frecuencias de 500 Hz, 1KHz, 2KHz, 10KHz, 100KHz, 500KHz, 1MHz (si el generador lo permite).
4. Observar el comportamiento y redactar sus comentarios.
5. Cambie las resistencias en los amplificadores y mida las ganancias a una frecuencia de 8kHz. Llenar la tabla para los diferentes valores de ganancias.
6. Observar y explicar las mediciones realizadas.
7. Simular todos los circuitos anteriores.

A_v	R_1	R_2	V_o calculado		V_o medido	
			100 mVpp	1 Vpp	100 mVpp	1 Vpp
1						
2						
5						
10						
15						
20						

Tabla 12.1: Tabla de valores para el Amplificador Sumador.

A_v	R_1	R_2	V_o calculado		V_o medido	
			100 mVpp	1 Vpp	100 mVpp	1 Vpp
1						
2						
5						
10						
15						
20						

Tabla 12.2: Tabla de valores para el Amplificador Restador.

A_v	R	X_C	V_o calculado		V_o medido	
			100 mVpp	1 Vpp	100 mVpp	1 Vpp
1						
2						
5						
10						
15						
20						

Tabla 12.3: Tabla de valores para el Amplificador Integrador.

A_v	X_C	R	V_o calculado		V_o medido	
			100 mVpp	1 Vpp	100 mVpp	1 Vpp
1						
2						
5						
10						
15						
20						

Tabla 12.4: Tabla de valores para el Amplificador Derivador.

Cálculos y Simulaciones

Resultados

Conclusiones

Bibliografía

Práctica 13

Configuraciones No-Lineales con AmpOp

Objetivo

Familiarizarse con el diseño e implementación de las distintas configuraciones No-lineales implementadas con un Amplificador Operacional.

Introducción

Equipo y Material empleado

- 1 Fuente de alimentación dual
- 4 Cables para fuente de alimentación
- 1 Amplificador Operacional LM741 (o equivalente)
- 1 Tablilla de pruebas (*protoboard*)
- 1 Voltímetro
- 2 Cables para Voltímetro
- 1 Amperímetro
- 4 Cables para Amperímetro
- Componentes básicos (Resistencias, capacitancias, etc)

Procedimiento

Diseñar y armar en base a un AmpOp las siguientes configuraciones No-lineales:

- Comparador Inversor
- Comparador No-Inversor
- Comparador Inversor con histéresis
- Comparador No-Inversor con histéresis
- Oscilador de corrida libre empleando un comparador con histéresis

Cálculos y Simulaciones

Resultados

Conclusiones

Bibliografía