

2013

Apuntes de Amplificadores Operacionales

E.I.A.O

U.A.N.L

20/11/2013



Universidad Autónoma de Nuevo León
Escuela Industrial y Preparatoria Técnica
"Álvaro Obregón"



M.C. Netzahualcóyotl Hernández Rodríguez

PRIMERA EDICION

MEXICO, 2013

Manual teórico – práctico de Circuitos Rectificadores 1^a. Ed.

Derechos reservados:

Revisión técnica: Netzahualcóyotl Hernández Rodríguez

Queda prohibida la reproducción o transmisión total o parcial del contenido del presente manual en cualesquiera formas, sean electrónicas o mecánicas, sin el consentimiento previo y por escrito de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Monterrey, Nuevo León, México

Noviembre de 2013

Primera edición: 2013

Índice

Índice.....	iv
Presentación	vii
Competencia global	viii
UNIDAD 1 CARACTERÍSTICAS DEL OPAM	1
Competencia de la unidad.	3
1.0 Parámetros del OPAM	4
1.1 El amplificador operacional ideal.....	5
1.2 Amplificador Diferencial.....	6
Principio de funcionamiento del Amplificador diferencial	7
1.3 Estructura interna del operacional	8
1.4 Características de los parámetros típicos.....	9
Actividad práctica No. 1	11
1.5 Relación de rechazo en modo común.....	13
1.6 Tensión de OFFSET	15
La tensión offset de entrada (V_{IO}) es una tensión generada internamente y puede ser considerada como una fuente de voltaje insertada entre las dos entradas. Además, es una tensión diferencial de entrada resultante del desajuste del AO en las etapas de entrada.	15
1.7 Corrientes de polarización	17
Construcción	20
Aplicaciones	20
Actividad práctica No. 2.....	22
1.9 Configuración en lazo abierto	23
1.10 Configuración con realimentación positiva y negativa	24
Actividad práctica No. 3.....	27
1.11 Configuración Buffer.....	30
1.12 Seguidor de tensión	31
Actividad práctica No. 4.....	32
UNIDAD 2 CIRCUITOS BASICOS DEL OPAM	34
Competencia de la unidad.	¡Error! Marcador no definido.
2.1 OPAM inversor	37
Actividad práctica No. 5.....	38

Amplificador inversor	38
2.2 OPAM no inversor	40
Actividad práctica No. 6.....	41
Amplificador no inversor	41
2.3 Restador	43
2.4 Sumador.....	44
Actividad práctica No. 7	45
Amplificador sumador.....	45
2.5 Comparador	47
El comparador no inversor.....	47
El comparador inversor	47
Actividad práctica No. 8.....	49
UNIDAD 3 CIRCUITOS ESPECIALES	51
Competencia de la unidad.	¡Error! Marcador no definido.
3.1 Derivador.....	54
COMPONENTES	54
FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO.....	55
INCONVENIENTES	56
3.2 Integrador.....	57
Actividad práctica No. 9	60
3.3 Amplificador exponencial	62
3.4 Amplificador logarítmico	63
Actividad práctica No. 10.....	65
OBJETIVOS:	65
3.6 Filtro paso alto	70
Actividad práctica No. 11	72
Un filtro paso banda es un tipo de filtro electrónico que deja pasar un determinado rango de frecuencias de una señal y atenúa el paso del resto.....	79
3.8 Filtro rechazo de banda	80
Tipos de implementación	80
Actividad práctica No. 12.....	81
UNIDAD 4 APLICACIONES CON OPAM	82
Competencia de la unidad.	¡Error! Marcador no definido.
4.1 Rectificador de precisión	85

4.2 Multivibradores con amplificador operacional	87
Actividad práctica No. 13.....	92
Actividad práctica No. 14.....	96
4.4 Amplificador de corriente alterna.....	97
Actividad práctica No. 15.....	99
4.6 Convertidor tensión – corriente	101
Convertidor tensión a corriente con carga flotante	101
Convertidor tensión a corriente con carga aterrizada	101
Bibliografía	102

Presentación

El aprendizaje de la electricidad y más concretamente de la electrotecnia debe constituir para el estudiante el descubrimiento de una ciencia y técnicas esenciales para un nuevo estudio profesional y de trabajo. Para que este aprendizaje sea atractivo y se relacione con lo que cada día vemos u observamos se ha realizado el presente manual.

Este manual que te presentamos de Amplificadores Operacionales, busca incidir en una mejora del proceso enseñanza aprendizaje, el contar con un apoyo y nos permite reafirmar y fortalecer el conocimiento, de tal forma, que posteriormente forme sus conclusiones y construya finalmente sus interpretaciones personales para lograr integrarlo.

El curso se desarrolla proporcionando los conceptos y habilidades teóricos fundamentales requeridos para analizar el funcionamiento de circuitos eléctricos, realizando ejercicios por parte del docente. Por su parte el estudiante realizará ejercicios complementarios. Se realizarán simulaciones de circuitos, complementando con ello la teoría y la práctica. La teoría de los circuitos impacta de forma importante a las unidades de aprendizaje del área de electrónica de los semestres superiores.

Competencia global

Desarrollar circuitos que funcionen en fuentes electrónicas para la prevención y corrección de fallas de circuitos que utilizan fuentes de poder.

ETAPA 1 CARACTERÍSTICAS DEL OPAM

Competencia profesional

- Desarrollar circuitos que funcionen en fuentes electrónicas para la prevención y corrección de fallas de circuitos que utilizan fuentes de poder.

Elementos de la competencia profesional

- a1. Conocer los elementos fundamentales de electrónica para aplicarlos en prácticas dentro del taller.
- a2. Conocer tipos de técnicas sobre la creación de circuitos impresos para construir fuentes de poder.
- a3. Aplicar los instrumentos del taller electrónico, fuentes y medidores para medir los parámetros y señalamientos de los circuitos electrónicos.

Competencias genéricas RIEMS

- Escucha, interpreta y emite mensajes pertinentes en distintos contextos mediante la utilización de medios, códigos y herramientas apropiados
- Desarrolla innovaciones y propone soluciones a partir de métodos establecidos.
- Participa y colabora de manera efectiva en equipos diversos

Atributos:

- Expresa ideas y conceptos mediante representaciones lingüísticas, matemáticas o gráficas.
- Identifica las ideas clave en un texto o discurso oral e infiere conclusiones a partir de ellas.
- Maneja las tecnologías de la información y la comunicación para obtener información y expresar ideas.
- Sigue instrucciones y procedimientos de manera reflexiva, comprendiendo como cada uno de sus pasos contribuye al alcance de un objetivo.
- Construye hipótesis y diseña y aplica modelos para probar su validez.
- Sintetiza evidencias obtenidas mediante la experimentación para producir conclusiones y formular nuevas preguntas
- Utiliza las tecnologías de la información y comunicación para procesar e interpretar información.

- Asume una actitud constructiva, congruente con los conocimientos y habilidades con los que cuenta dentro de distintos equipos de trabajo.

Rasgos:

➤ Comunicación

- Maneja y comprende las Tecnologías de la Información y Comunicación para aplicarlas de manera crítica y objetiva, en las diferentes áreas del conocimiento.
- Usa códigos lingüísticos en distintos contextos lógicos y matemáticos que le permiten expresar ideas con sentido ético.

➤ Creatividad

- Diseña, analiza y explica proyectos aplicando creatividad e innovación en la resolución de problemas tomando como base los principios, leyes y conceptos

➤ Cooperación

- Participa en tareas asignadas, tanto de manera individual como grupal con respeto a la diversidad de ideas.

Competencias generales del ME

- Maneja las tecnologías de la información y la comunicación como herramienta para el acceso a la información y su transformación en conocimiento, así como para el aprendizaje y trabajo colaborativo con técnicas de vanguardia que le permitan su participación constructiva en la sociedad
- Utiliza los métodos y técnicas de investigación tradicionales y de vanguardia para el desarrollo de su trabajo académico, el ejercicio de su profesión y la generación de conocimientos.

Atributos:

- Expresa conceptos e ideas, de manera correcta de forma oral y escrita en su lengua materna
- Elige los procedimientos adecuados en la resolución de un problema
- Procesa información utilizando las tecnologías de la información y comunicación
- Formula y concluye resultados a partir de las evidencias obtenidas
- Identifica los rumbos a seguir en el desarrollo de cualquier problema a través del trabajo colaborativo
- Propone sus puntos de vista a la vez que respeta los de sus compañeros

Trabaja y participa con una actitud positiva en los diferentes roles de las tareas asignadas.

Competencia de la unidad.

Identificar los parámetros y configuraciones del OPAM.

1.1 Parámetros del OPAM

El concepto original del AO (amplificador operacional) procede del campo de los computadores analógicos, en los que comenzaron a usarse técnicas operacionales en una época tan temprana como en los años 40. El nombre de amplificador operacional deriva del concepto de un amplificador DC (amplificador acoplado en continua) con una entrada diferencial y ganancia extremadamente alta, cuyas características de operación estaban determinadas por los elementos de realimentación utilizados. Cambiando los tipos y disposición de los elementos de realimentación, podían implementarse diferentes operaciones analógicas; en gran medida, las características globales del circuito estaban determinadas solo por estos elementos de realimentación. De esta forma, el mismo amplificador era capaz de realizar diversas operaciones, y el desarrollo gradual de los amplificadores operacionales dio lugar al surgimiento de una nueva era en los conceptos de diseño de circuitos.

Los primeros amplificadores operacionales usaban el componente básico de su tiempo: la válvula de vacío. El uso generalizado de los AOs no comenzó realmente hasta los años 60, cuando empezaron a aplicarse las técnicas de estado sólido al diseño de circuitos amplificadores operacionales, fabricándose módulos que realizaban la circuitería interna del amplificador operacional mediante el diseño discreto de estado sólido. Entonces, a mediados de los 60, se introdujeron los primeros amplificadores operacionales de circuito integrado. En unos pocos años los amplificadores operacionales se convirtieron en una herramienta estándar de diseño, abarcando aplicaciones mucho más allá del ámbito original de los computadores analógicos.

INTRODUCCIÓN A LOS AMPLIFICADORES OPERACIONALES

Si existe un elemento estrella en los sistemas electrónicos analógicos ese elemento es sin duda el amplificador operacional. Con él podremos amplificar señales, atenuarlas, filtrarlas, etc. Los sistemas de control analógico encuentran en el amplificador operacional un elemento de conmutación sumamente simple e incluso años atrás fue empleado para el diseño de computadoras analógicas (de ahí el nombre de operacionales).

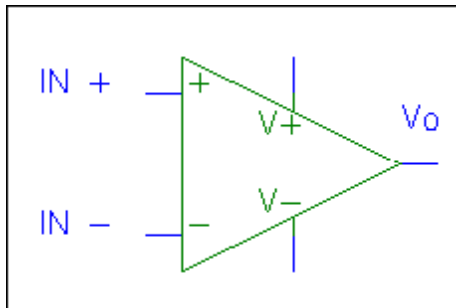
El conocimiento a nivel básico del amplificador operacional proporciona al diseñador una herramienta de valor incalculable.

Partir del amplificador operacional sin siquiera conocer el funcionamiento del transistor podría parecer un error. Esta consideración pierde importancia si tenemos en cuenta que en la actualidad el transistor como componente discreto ha quedado relegado a usos muy puntuales, siendo su coste similar al de un amplificador operacional. Ante esta situación, la respuesta correcta es disponer en primer lugar de los conocimientos necesarios para operar

con amplificadores operacionales y posteriormente abordar la teoría clásica de transistor, por ser esta última más compleja.

1.1.2 El amplificador operacional ideal

Un amplificador operacional es un dispositivo electrónico activo siendo capaz de ofrecer una tensión de salida en función de una tensión de entrada. Vamos a considerar única y exclusivamente el amplificador operacional ideal, que aun no existiendo en la vida real, es una aproximación muy precisa y perfectamente válida para el análisis de sistemas reales. Un



amplificador operacional presenta cinco patillas. Dos de ellas son las entradas del dispositivo; la primera de ellas llamada entrada inversora se halla indicada en los esquemas con un signo menos, la otra denominada entrada no inversora se indica mediante un signo más. Otro de las patillas del amplificador operacional corresponde a la salida del dispositivo mientras que las dos restantes corresponden a la alimentación requerida por el dispositivo ($\pm V_{cc}$).

Una vez nos hemos familiarizado con las patillas podemos pasar a indicar las características de un amplificador operacional. Debido a que en ningún momento entraremos en el diseño interno del circuito deben ser asumidas. Recordamos una vez más que son características teóricas, si bien las reales se aproximan a las teóricas:

- Ancho de banda infinito (podemos trabajar con señales de cualquier frecuencia).
- Tiempo de conmutación nulo
- Ganancia de tensión infinita.
- Impedancia de entrada infinita.
- Impedancia de salida nula.
- Corrientes de polarización nulas.

Tensión de desplazamiento nula (si bien no es estrictamente cierto, diremos que la diferencia de potencial entre las entradas inversora y no inversora nula).

Margen dinámico $\pm V_{cc}$ (la tensión de salida puede a nivel teórico alcanzar el valor de la tensión de alimentación, en la práctica se aproxima pero no puede ser igual ya que se producen saturaciones en el dispositivo).

El funcionamiento ideal del A.O. viene determinado por:

$$V_o = A (V_+ - V_-)$$

Donde A es la ganancia del A.O. que idealmente toma el valor infinito para todo margen de frecuencias de trabajo. ($A \rightarrow \infty$)

La impedancia de entrada es infinita y la de salida será nula.

Además si A y si uno de los dos terminales está conectado a masa, entonces: $V_+ = \infty = V_o$ y $0 \cdot V_+ - V_- \rightarrow \infty \Rightarrow - = + - 0^+ = V_- = 0$.

El hecho de que estas aproximaciones sean válidas o no, depende de muchos factores como pueden ser los niveles de impedancia del circuito, y más importante, del margen de frecuencias de funcionamiento.

1.1.2 Amplificador Diferencial

Este circuito presenta como característica notable la amplificación de la diferencia entre las dos tensiones de entrada. Presenta el inconveniente de que la impedancia de entrada del amplificador disminuye sensiblemente y además las dos resistencias R1 y las dos R2 deben ser exactamente iguales.

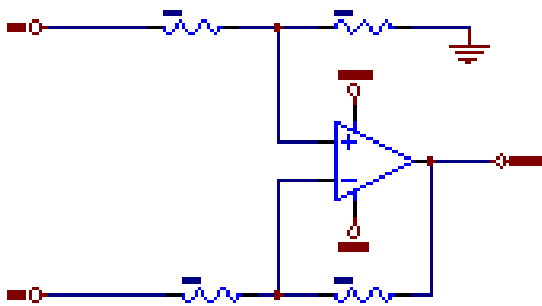


Figura 6

Puesto que sabemos que las tensiones de las patillas inversora y no inversora deben ser iguales, podemos afirmar que tanto las resistencias R1 y R2 superiores como las R1 y R2 inferiores se encuentran en serie. Planteando las ecuaciones:

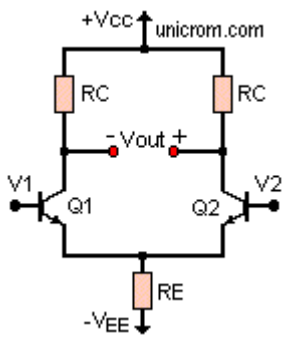
$$\frac{V_1 - V_a}{R_1} = \frac{V_a - V_{out}}{R_2}$$

$$\frac{V_2 - V_a}{R_1} = \frac{V_a}{R_2}$$

De estas dos igualdades (donde V_a es la tensión de entrada tanto en la patilla no inversora como en la inversora) podemos obtener la tensión de salida en función de los valores R_1 , R_2 y las tensiones de entrada. Para ello despejamos los valores V_a de ambas expresiones obteniendo:

$$V_a = \frac{V_{out} + \frac{R_2}{R_1} V_1}{1 + \frac{R_2}{R_1}}; V_a = \frac{\frac{R_2}{R_1} V_2}{1 + \frac{R_2}{R_1}}$$

Principio de funcionamiento del Amplificador diferencial



El **amplificador diferencial** básico tiene 2 entradas V_1 y V_2 .

Si la tensión de V_1 aumenta, la corriente del emisor del transistor Q_1 aumenta (acordarse que $I_E = \beta I_B$), causando una caída de tensión en R_E .

Si la tensión de V_2 se mantiene constante, la tensión entre base y emisor del transistor Q_2 disminuye, reduciéndose también la corriente de emisor del mismo transistor. Esto causa que la tensión de colector de Q_2 (V_{out+}) aumente.

La entrada V_1 es la entrada no inversora de un amplificador operacional

Del mismo modo cuando la tensión en V_2 aumenta, también aumenta la corriente de colector del transistor Q_2 , causando que la tensión de colector del mismo transistor disminuya. (V_{out+}) disminuye.

La entrada V_2 es la entrada inversora del amplificador operacional

Si el valor de la resistencia R_E fuera muy grande, obligaría a la suma de las corrientes de emisor de los transistores Q_1 y Q_2 , a mantenerse constante, comportándose como una fuente de corriente. Entonces, al aumentar la corriente de colector de un transistor, disminuirá la corriente de colector del otro transistor.

Por eso cuando la tensión V_1 crece, la tensión en V_2 decrece.

1.3 Estructura interna del operacional

Los amplificadores operacionales suelen estar formados por las siguientes etapas:

1. Una etapa amplificadora de entrada diferencial y salida diferencial: Define las características de entrada del AO. Suele ser un AD (Amplificador diferencial) basado:

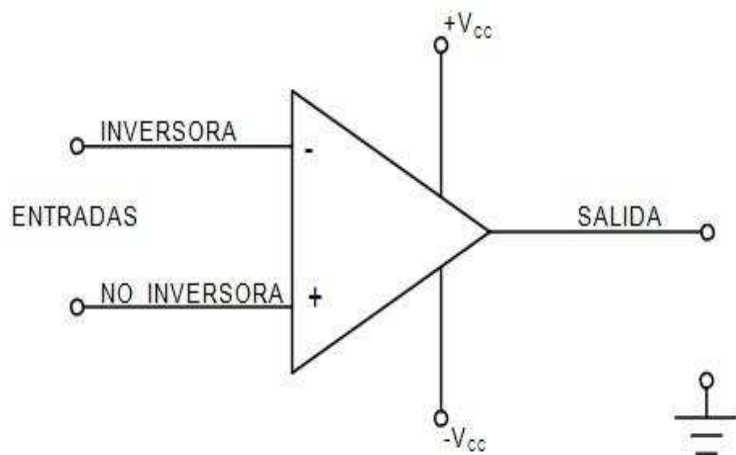
1. En transistores bipolares simples o en montaje Darlington para disminuir las corrientes de entrada.

2. Transistores FET que aumentan la impedancia de entrada.

2. Una segunda etapa de entrada diferencial y salida asimétrica: Aumenta la ganancia diferencial y adapta los niveles de continua para acoplar la salida a la siguiente etapa.

3. Una etapa intermedia: Provee ganancia de potencia y adapta los niveles de continua. Además, limita el ancho de banda total del amplificador en bucle abierto que garantiza su estabilidad. Suele consistir en un amplificador en emisor común.

4. Una etapa de salida: Suele ser un amplificador de corriente que disminuye la impedancia de salida para poder alimentar cargas relativamente bajas con protección contra sobre-corriente.



1.4 Características de los parámetros típicos

El OPAM es un amplificador de alta ganancia directamente acoplado, que en general se alimenta con fuentes positivas y negativas. Esto permite que la salida tenga excursiones por encima y por debajo de tierra. Los amplificadores operacionales tienen amplia aplicación en muchos sistemas electrónicos lineales. El nombre de amplificador operacional se deriva de una de las aplicaciones originales de circuitos con estos amplificadores: realizar operaciones matemáticas en computadores analógicos.

Los dos terminales de entrada se conocen como entrada no inversora (V_p) e inversora (V_n) respectivamente. La primera genera una señal en fase con la entrada mientras que la segunda presenta un desfase de la señal de salida con respecto a la entrada de 180 grados. De manera ideal, la salida del amplificador depende no de las magnitudes de las dos tensiones de entrada (V_p, V_n), sino de la diferencia entre ellas. Se define una nueva tensión de entrada como la diferencia:

$$V_d = V_p - V_n$$

Donde V_d es la tensión diferencial de entrada. La tensión de salida es proporcional a la entrada, y la relación se define como la ganancia de lazo abierto, A . Por tanto, la tensión de salida es:

$$V_o = A (V_p - V_n)$$

Las características del amplificador operacional son las siguientes:

- Alta impedancia de entrada R_i (teóricamente tiende a infinito).
- Baja impedancia de salida R_o , aproximadamente nula.
- La ganancia de tensión de lazo abierto, A tiende a infinito.
- El ancho de banda tiene a infinito.
- Tensión de offset nula ($V_o = 0$ cuando $V_p = V_n$).
- Corriente de polarización nula.
- Margen dinámico infinito o de $\pm V_{cc}$.
- Ruido nulo.
- Tiempo de conmutación nulo.

Características del OPAM 741:

- Impedancia de entrada: 1 M.
- Impedancia de salida: 150.
- Ganancia de tensión de lazo abierto: 110000
- Ancho de banda: 1 Mhz.

Otras características propias de los operacionales reales se citan a continuación, también para el caso del 741

- Corriente de polarización: 200nA
- Tensión de alimentación máxima: ± 18 V
- Tensión máxima de entrada: ± 13 V
- Tensión máxima de salida: ± 14 V
- Relación de rechazo de modo común RRMC: 90 dB

Actividad práctica No. 1

Medición de los parámetros del OPAM

OBJETIVO: Medir varios de los parámetros característicos de un OPAM de propósito general. Comprobar las técnicas universales de eliminación de OFFSET.

PROCEDIMIENTO

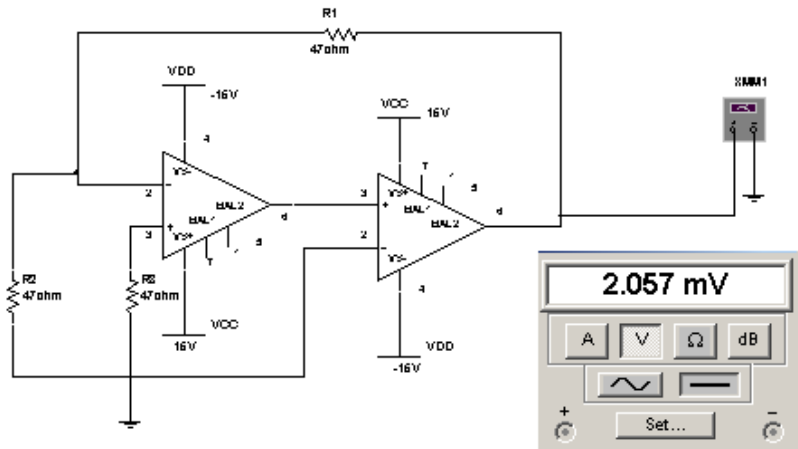
Medición del voltaje offset.

1.- Implemente el circuito de la figura 1.a.

2.- Con el multímetro digital cerciórese de que los voltajes en los puntos A y B son cercanos a cero volts. De no ser así, revise las conexiones y asegúrese de que están, bien los amplificadores operacionales.

3.- Mida el voltaje de salida y registre su valor.

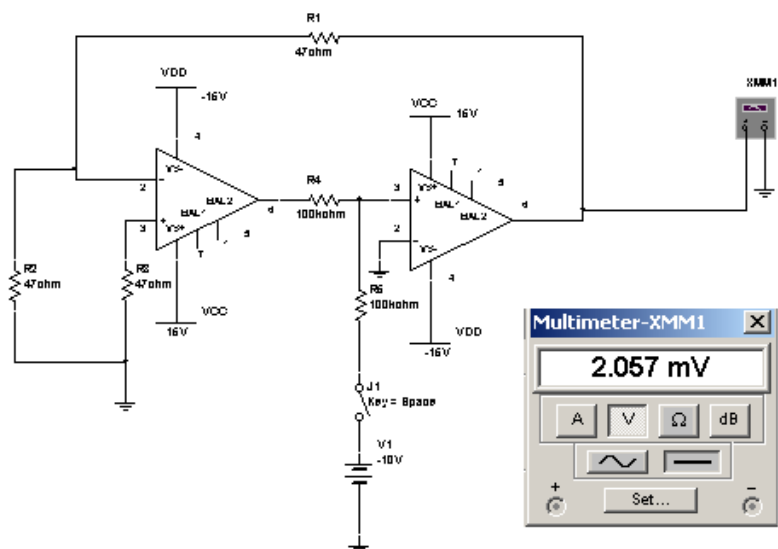
$$V_o = -0.22 \text{ volts}$$



Medición de la ganancia de lazo abierto.

4.- Implemente el circuito de la figura 1.b. Use el potenciómetro para ajustar el voltaje de referencia en $-10V$.

5.- Con el multímetro digital cerciórese de que los voltajes en los puntos A y B son cercanos a cero volts, cuando el interruptor S está abierto. De no ser así revise las conexiones y asegúrese de que los amplificadores están funcionando bien.



6.- Mida el voltaje de salida con el multímetro digital y registre el valor (El interruptor S abierto).

$V_o(\text{S abierto}) = \underline{-0.374 \text{ volts}}$

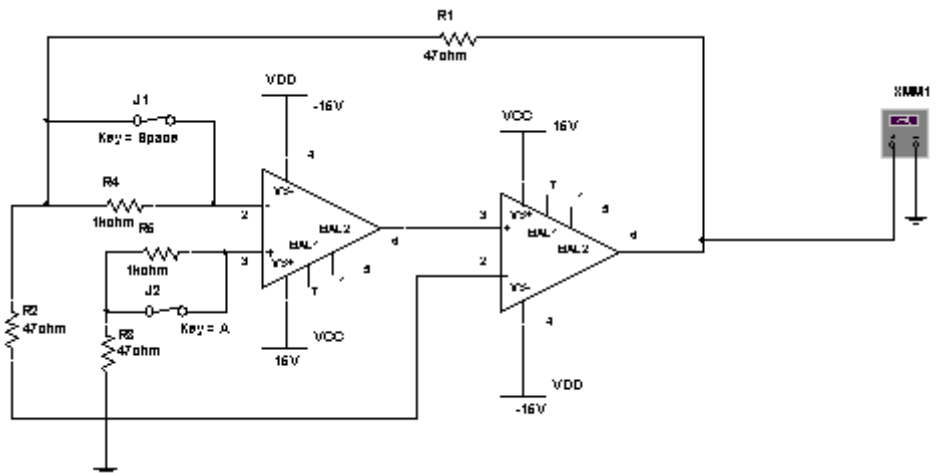
7.- Repita el paso anterior, pero con el interruptor S cerrado.

$V_o(\text{S cerrado}) = \underline{-9.69 \text{ volts}}$

Medición de las corrientes de polarización y offset.

8.- Implemente el circuito de la figura 1.c.

9.- Con el multímetro digital cerciórese de que los voltajes en los puntos A y B son cercanos a cero volts, cuando los interruptores de S1 y S2 permanecen cerrados. De no ser así, revise las conexiones y asegúrese de que los amplificadores están funcionando bien.



10.- Mida los voltajes de salida con el multímetro digital, del primer OPAM de acuerdo con la siguiente tabla.

Valores reales		
J1	J2	Valor de Vo1
ON	ON	0.006
OFF	ON	2.35
ON	OFF	-2.33
OFF	OFF	.007

10.- Mida los voltajes de salida con el multímetro digital, del segundo OPAM de acuerdo con la siguiente tabla.

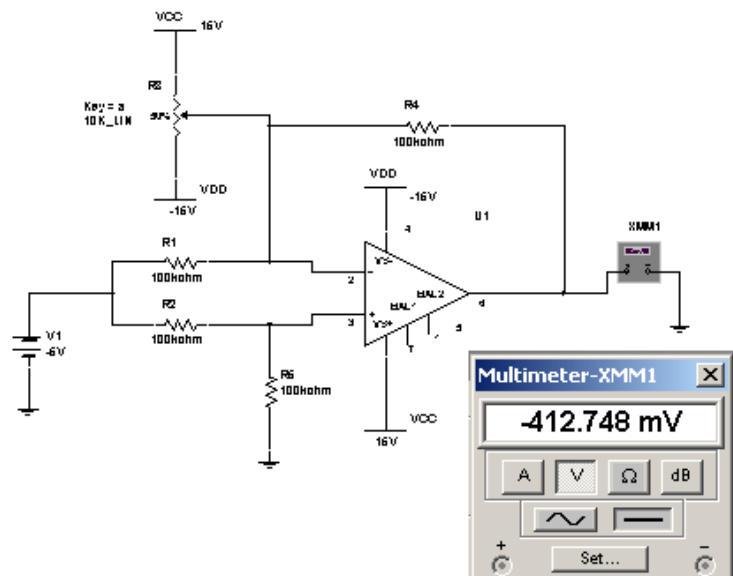
S1	S2	Valor de Vo2
ON	ON	Vo1= 3.5
OFF	ON	Vo2= 10.3
ON	OFF	Vo3= -9.9
OFF	OFF	Vo4= -2.1

Medición de Slew Rate.

11.- Implemente el circuito amplificador inversor de la figura 1.d.

12.- Aplique una señal de entrada Vi cuadrada de 10KHz y 10Vp-p con la ayuda del generador de señales.

13.- Observe la señal de salida del osciloscopio. Ajuste la amplitud de Vi para obtener una amplitud de salida exactamente de 10Vp-p. Ajuste la escala de base de tiempo del osciloscopio a una posición en donde sea flexible medir la variación de tiempo T correspondiente al cambio de voltaje V de 10 Volts.



Registre los dos valores.

$$\Delta V = \underline{-1.2 \text{ volts}}$$

$$\Delta T = \underline{9.4 \mu s}$$

Preguntas

1. Como es el valor de resistencia interna entre las terminales de entrada del OPAM?

_____ ¿Explique cuál es el porqué? _____

2. ¿Cuál es la tensión máxima y mínima de polarización del OPAM?

$V_{\max} =$ _____ $V_{\min} =$ _____

3. ¿Qué voltaje en lazo abierto midió en la práctica? ¿Explique cuál es la razón de esta medida? _____

4. ¿Por qué el cálculo de la tensión diferenciada debe ser 0 o muy pequeño en el punto número 1? _____

5. ¿Cuál es la frecuencia mínima y máxima para las que el amplificador obtiene su máximo voltaje y se mantiene? $f_{\max} =$ _____ $f_{\min} =$ _____

¿Qué indica este parámetro? _____

1.5 Relación de rechazo en modo común

La relación de rechazo de modo común de un amplificador diferencial es la tendencia del dispositivo para rechazar señales de la entrada común a los dos cables de entrada. Un alto CMRR es importante en aplicaciones en las que la señal de interés está representado por una pequeña fluctuación de la tensión superpuesta sobre una tensión de offset, o cuando la información relevante se encuentra en la diferencia de tensión entre dos señales.

Idealmente, un amplificador diferencial toma las tensiones, y en sus dos entradas y produce una tensión de salida, donde es la ganancia diferencial. Sin embargo, la salida de un amplificador diferencial real, se describe mejor como donde es la ganancia en modo común, que es típicamente mucho menor que la ganancia diferencial.

El CMRR se define como la relación de los poderes de la ganancia diferencial sobre la ganancia en modo común, medido en decibelios positivos:

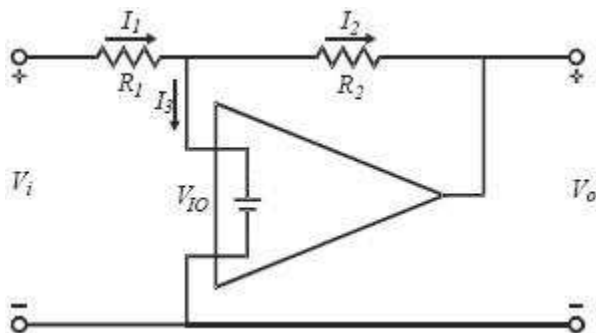
Como de ganancia diferencial debe exceder de ganancia en modo común, este será un número positivo, y cuanto más alto mejor.

La CMRR es una especificación muy importante, ya que indica la cantidad de la señal de modo común se aparezca en su medición. El valor de la CMRR depende a menudo en frecuencia de la señal, y se debe especificar como una función de la misma.

A menudo es importante en la reducción de ruido en las líneas de transmisión. Por ejemplo, cuando se mide la resistencia de un termopar en un ambiente ruidoso, el ruido del ambiente aparece como un desplazamiento en ambos conductores de entrada, por lo que es una señal de voltaje de modo común. El CMRR del instrumento de medición determina la atenuación aplicada a la compensación o el ruido.

1.6 Tensión de OFFSET

La tensión offset de entrada (V_{IO}) es una tensión generada internamente y puede ser considerada como una fuente de voltaje insertada entre las dos entradas. Además, es una tensión diferencial de entrada resultante del desajuste del AO en las etapas de entrada.

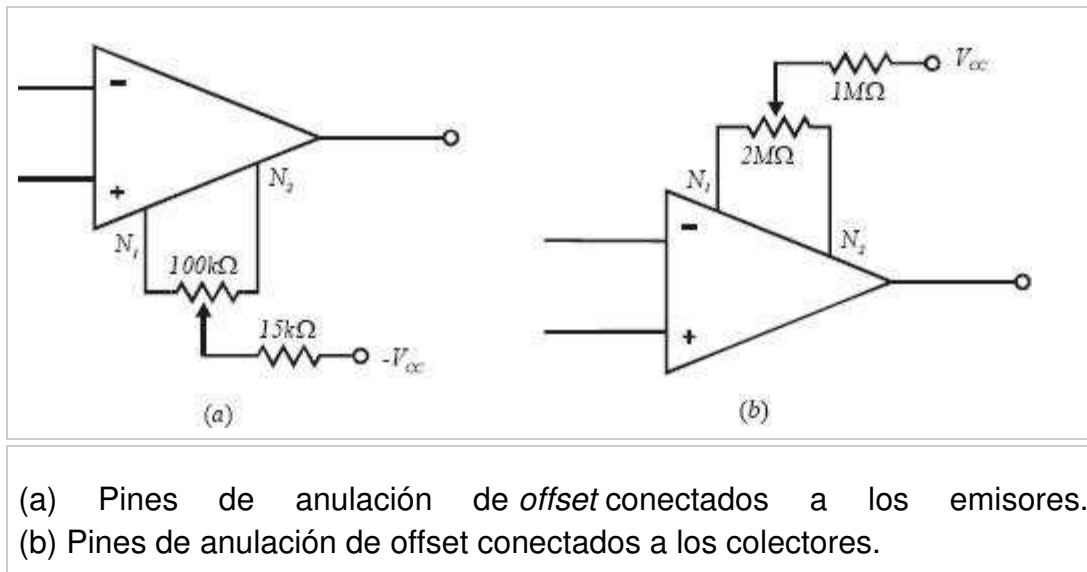


Influencia de la tensión *offset* de entrada.

Compensación del *offset* de entrada

Un AO ideal tiene voltaje *offset* de entrada cero y no tiene pérdidas de corriente. Sin embargo, debido al desajuste de los transistores y a las resistencias de entrada del circuito monolítico, el AO típico tiene un bajo, pero definido, voltaje de *offset*.

La mayoría de los AOs vienen provistos de conectores para un potenciómetro externo, de modo que el *offset* de entrada pueda ser ajustado a cero. El método exacto usado y la resistencia total del potenciómetro de ajuste nulo es dependiente del tipo de circuito que conforma al AO. Un AO de propósito general, compensado internamente (v.gr.: un $\mu A741$), puede requerir un potenciómetro de $10k\Omega$. Un *BiFET* o AO compensado externamente puede requerir un potenciómetro de $100k\Omega$. El voltaje *offset* de entrada recomendado para circuitos de ajuste nulo, se muestra usualmente en la hoja de datos.

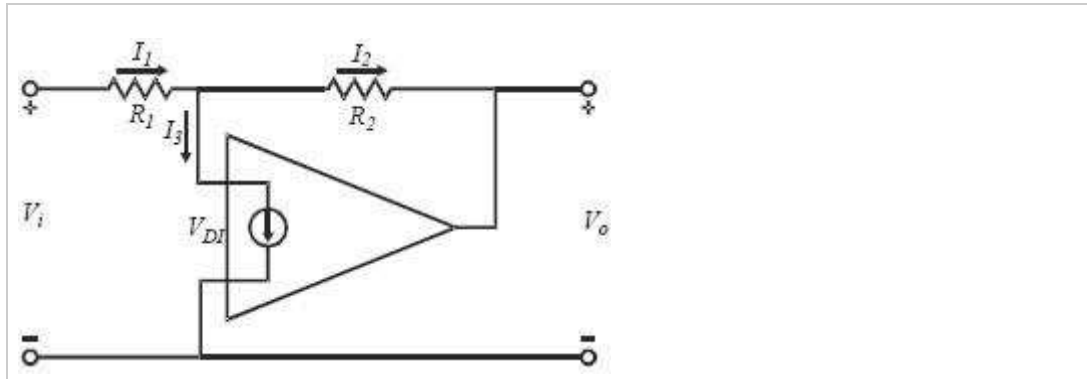


Los pines de anulación de *offset* (N_1 y N_2) se conectan a los emisores del generador de corriente constante. Cuando los pines de anulación de *offset* se conectan a los colectores del generador de corriente constante, se usa un circuito similar al que se muestra en la figura anterior. Los valores reales del resistor dependen del tipo del AO usado. Se debe consultar la hoja de datos apropiada para complementar los procedimientos de nulidad del *offset* de entrada.

Coeficiente de temperatura de la tensión *offset* de entrada

El coeficiente de temperatura de la tensión *offset* de entrada (tensión *offset* de deriva) se especifica en voltios por grados Celsius. La cantidad acumulada que ocurre con los cambios de temperatura se relaciona directamente a cuan cercanamente ajustadas estaban las

características de entrada cuando se fabricó el dispositivo. Los dispositivos de entrada *BiFET* (tales como la familia *TL080*) típicamente tienen de 10 a $12\mu V/C$. La familia de AOs *LinCMOS*[®] tienen de 0.7 a $5\mu V/C$ dependiendo del modo de polarización seleccionado.



Influencia de la corriente de polarización de entrada.

1.7 Corrientes de polarización

Un amplificador operacional internamente se constituye por transistores. Una corriente de polarización de entrada es la corriente de polarización que estos transistores necesitan. Estas corrientes de polarización de entrada están presentes en la entrada inversora y no inversora, denominadas I_{B-} y I_{B+} respectivamente. Esto lo podemos observar en la Fig.1. Este es el esquema interno del OPAM ua741 de propósito general proporcionado por Texas Instruments. Podemos notar que I_{B-} y I_{B+} son corrientes de base de transistores BJT npn.

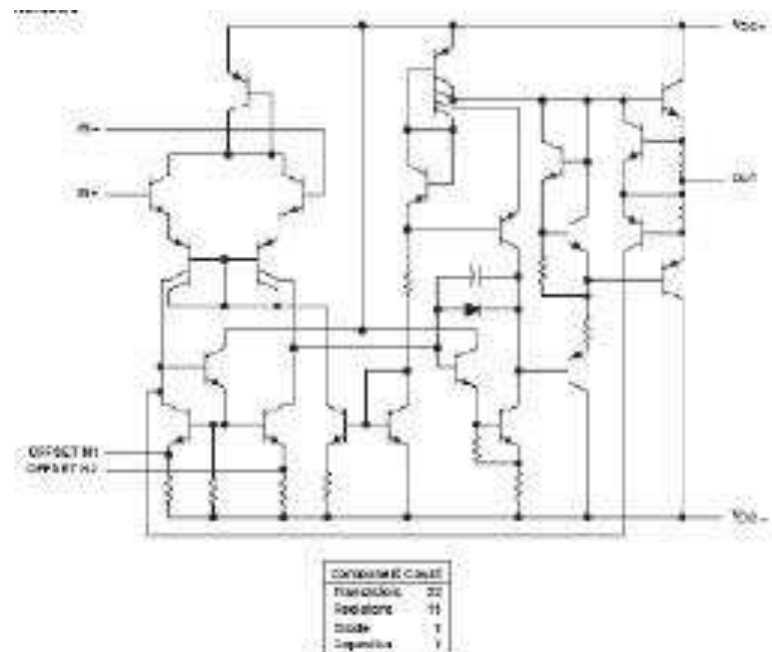
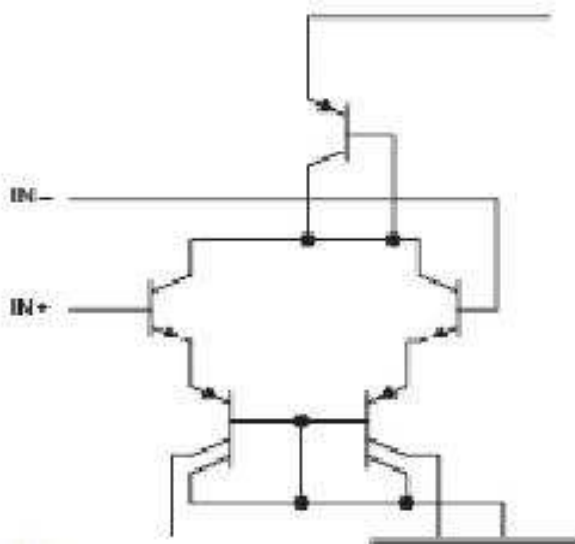


Diagrama interno uA741,

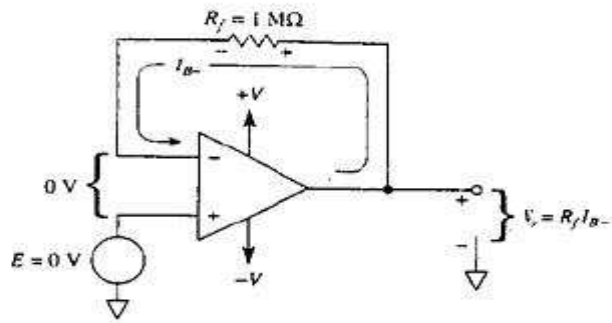


b) I_{B-} y I_{B+} son corrientes de base de los transistores

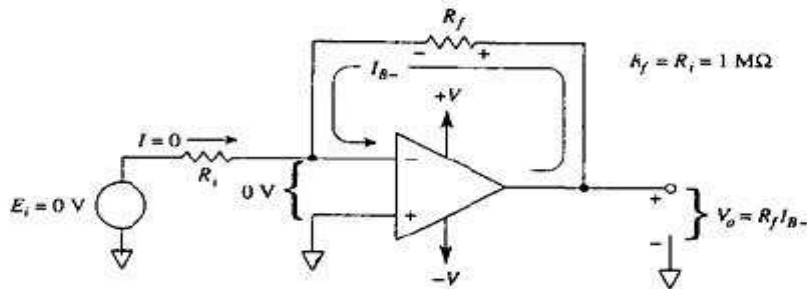
Efectos de la Corrientes de polarización en el V_o

Los efectos que son producidos o mejor dicho los errores en el voltaje de salida por las corrientes de polarización para las configuraciones de seguidor emisor, inversor básico, e inversor con resistencia multiplicadora se aprecian en la Fig. 2.

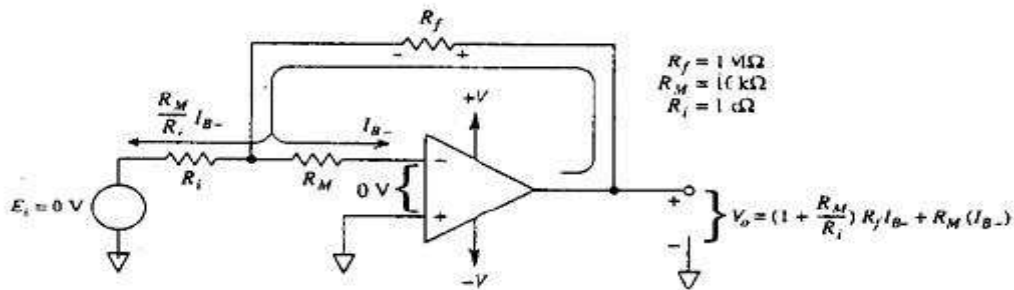
Debemos de tener en cuenta que los denominamos errores ya que nuestro voltaje de entrada en todas las configuraciones es 0 V e idealmente el voltaje de salida (V_o) sería 0 V, pero como podemos ver, esto no es cierto. Además, no solo en estas configuraciones con retroalimentación negativa tenemos error, sino también en configuraciones con retroalimentación positiva como se aprecia en la Fig. 3



(a) Circuito seguidor básico.



(b) Circuito inversor básico.



(c) La resistencia multiplicadora R_M aumenta el efecto que produce I_{B-} en V_o .

Fig. 2 Efectos de la corriente de polarización de entrada (-) en los voltajes de salida.

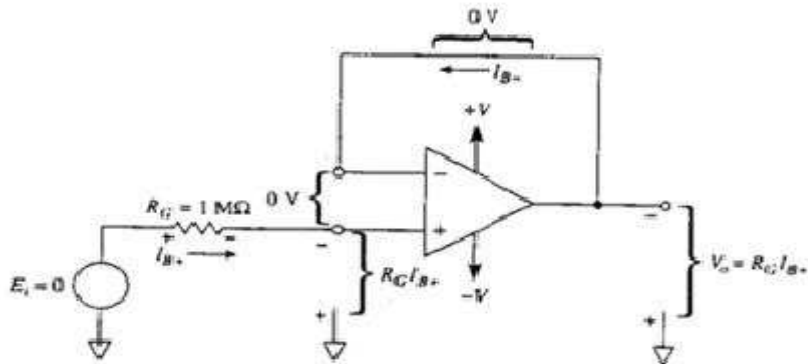


Fig. 3 Efecto de la corriente de polarización de entrada en los voltajes de salida

1.8 Tierra virtual

En electrónica, una tierra virtual es un nodo de un circuito que se mantiene a un potencial de referencia constante, sin estar conectado directamente al potencial de referencia. En algunos casos, el potencial de referencia se considera que es la de la superficie de la tierra, y el nodo de referencia se denomina "tierra" o "tierra" como consecuencia.

El concepto de análisis de circuito virtual ayuda a terrestres en amplificador operacional y otros circuitos y proporciona efectos de circuitos prácticos útiles que serían difíciles de lograr de otras maneras.

En la teoría de circuitos, un nodo puede tener cualquier valor de las implementaciones de corriente o de tensión, pero física de una tierra virtual tendrá limitaciones de la capacidad de manejo de corriente y una impedancia no-cero, lo que puede tener efectos secundarios prácticos.

Construcción

Un divisor de tensión, el uso de dos resistencias, se puede utilizar para crear un nodo de tierra virtual. Si dos fuentes de tensión están conectados en serie con dos resistencias, se puede demostrar que el punto medio se convierte en una tierra virtual.

Un circuito de tierra virtual activa es a veces llamado un divisor de carril. Tal circuito utiliza un amplificador operacional o algún otro elemento de circuito que tiene una ganancia. Un amplificador operacional tiene muy alta ganancia en bucle abierto, la diferencia de potencial entre sus entradas tienden a cero cuando se implementa una red de realimentación. Para lograr una tensión razonable en la salida, la salida suministra la entrada de inversión con suficiente tensión para reducir la diferencia de potencial entre las entradas a micro voltios. La entrada no inversora del amplificador operacional está conectada a tierra, por lo tanto, su entrada inversora, aunque no está conectado a tierra, asumirá un potencial similar, convirtiéndose en una tierra virtual si el amplificador operacional está funcionando en su región lineal.

Aplicaciones

El voltaje es una cantidad diferencial, que aparece entre dos puntos. Con el fin de tratar sólo con una tensión de un solo punto, el segundo punto tiene que ser conectado a un punto de referencia. Por lo general, los terminales de alimentación sirven como lugares de constantes; cuando los puntos internos de las fuentes de energía son accesibles compuestos, que también pueden servir como motivos reales.

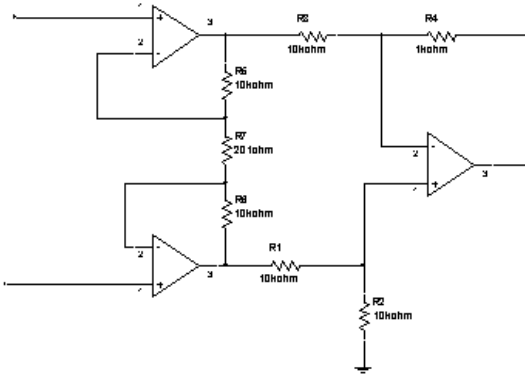
Si no hay puntos internos de origen accesibles, puntos de circuitos externos que tienen tensión constante con respecto a la fuente terminales pueden servir como motivos virtuales

artificiales. Tal punto tiene que tener un potencial constante, que no varía cuando se conecta una carga.

Actividad práctica No. 2

Amplificador de instrumentación

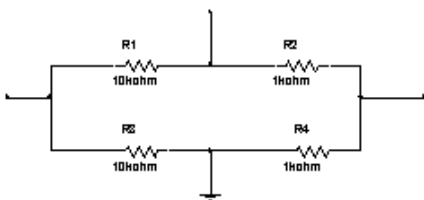
Objetivo: Comprobar el funcionamiento de un amplificador de instrumentación. Realizar un proceso de calibración para cancelar el OFFSET y ajustar la ganancia de voltaje.



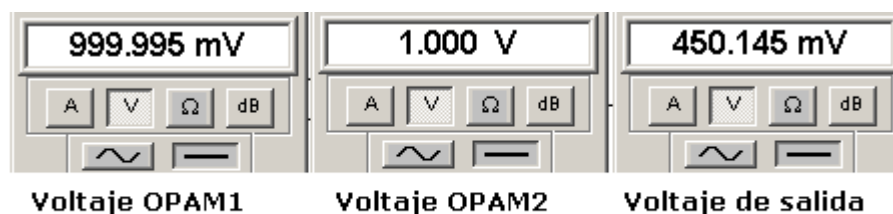
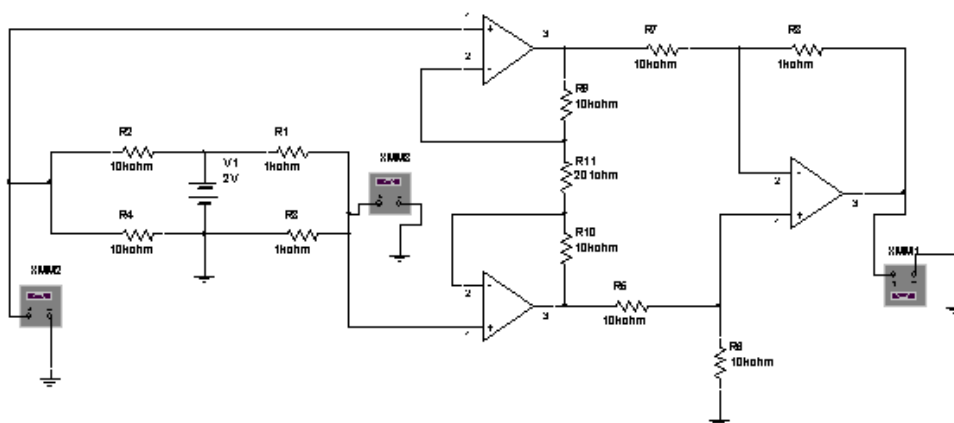
Amplificador de instrumentación.

El circuito de la figura muestra la configuración típica de un amplificador de instrumentación fabricado utilizando dos OPAMS. Los OPAMS de entrada tienen como función realizar un acoplamiento de impedancias, el segundo amplificador realiza la diferencia entre los voltajes de entrada y amplifica de acuerdo a los resistores externos.

El resistor variable de $250\ \Omega$ tiene como función regular el voltaje de salida a cero volts, es decir eliminar el OFFSET.



Conecte el circuito anterior a las entradas del OPAM alimentándolo con un 1 VCD.



Aquí observamos que debemos hacer un ajuste para obtener una ganancia de 100 a la salida del OPAM, en este caso tenemos OFFSET.

En la práctica logramos realizar el ajuste de OFFSET obteniendo un voltaje de aproximadamente cero volts.

1.9 Configuración en lazo abierto

Si no existe realimentación la salida del A. O. será la resta de sus dos entradas multiplicada por un factor. Este factor suele ser del orden de 100.000 (que se considerará infinito en cálculos con el componente ideal). Por lo tanto si la diferencia entre las dos tensiones es de 1V la salida debería ser 100.000 V. Debido a la limitación que supone no poder entregar más tensión de la que hay en la alimentación, el A. O. estará saturado si se da este caso. Esto será aprovechado para su uso en comparadores, como se verá más adelante. Si la tensión más alta es la aplicada a la patilla + (entrada no inversora) la salida será V_{S+} , mientras que si la tensión más alta es la del pin - (entrada inversora) la salida será la alimentación V_{S-} .

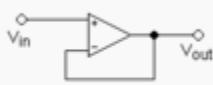
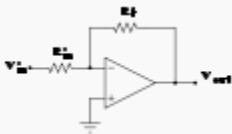
También es conocida como sin realimentación. En ella la ganancia viene determinada por el propio fabricante y sobre ella no se tiene ningún control. Esta configuración se utiliza para circuitos comparadores.

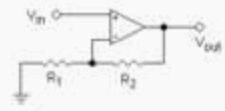
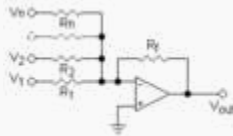
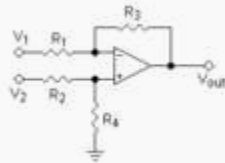
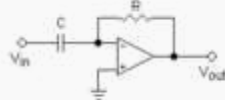
1.10 Configuración con realimentación positiva y negativa

Realimentación Negativa es un tipo de realimentación en el cual el sistema responde en una dirección opuesta a la señal. El FER consiste en retro actuar sobre alguna entrada del sistema una acción (fuerza, voltaje, etc.) proporcional a la salida o resultado del sistema, de forma que se invierte la dirección del cambio de la salida. Esto tiende a estabilizar la salida, procurando que se mantenga en condiciones constantes. Esto da lugar a menudo a equilibrios (en sistemas físicos) o a homeostasis (en sistemas biológicos) en los cuales el sistema tiende a volver a su punto de inicio automáticamente. Normalmente se suele describir esta acción como que "algo inhibe la cadena de formación anterior para estabilizar algún compuesto cuyo nivel se ha elevado más de lo necesario".

En cambio, la **realimentación positiva** es una realimentación en la cual el sistema responde en la misma dirección que la perturbación, dando por resultado la amplificación de la señal original en vez de estabilizar la señal. La realimentación positiva y negativa requieren de un bucle de retorno, en comparación con el feed-forward, que no utiliza un bucle de retroalimentación para el control del sistema.

Ejemplos del uso de la realimentación negativa para controlar sistemas son: control de temperatura mediante termostato, lazos de seguimiento de fase, la regulación hormonal o la regulación de temperatura en animales de sangre caliente.

Amplificadores operacionales con realimentación negativa			
Nombre	Ecuaciones	Esquema	Descripción
Seguidor	$V_{out} = V_{in}$		Se usa como un buffer, para eliminar efectos o para adaptar impedancias (conectar un dispositivo con gran impedancia a otro con baja impedancia y viceversa).
Amplificador inversor	$V_{out} = -V_{in} \frac{R_f}{R_{in}}$		La señal de salida es igual a la señal de entrada (en forma) multiplicada

			por una constante y de signo contrario (fase invertida 180 grados).
Amplificador no inversor	$V_{out} = V_{in} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$		Amplifica la señal de entrada multiplicándola por una constante.
Sumador	$V_{out} = -R_f \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_n}{R_n} \right)$		Su salida es proporcional a la suma, ponderada o no, de los valores de entrada.
Restador	$V_{out} = V_2 \left(\frac{(R_3 + R_1) R_4}{(R_4 + R_2) R_1} \right) - V_1 \left(\frac{R_3}{R_1} \right)$		La salida es proporcional a la resta de las entradas. También es llamado amplificador diferencial.
Derivador	$V_{out} = -RC \frac{dV_{in}}{dt}$		Es un circuito que no se suele usar en la práctica ya que no es estable. Esto se debe a que al amplificar más las señales de alta frecuencia se termina amplificando mucho el ruido.

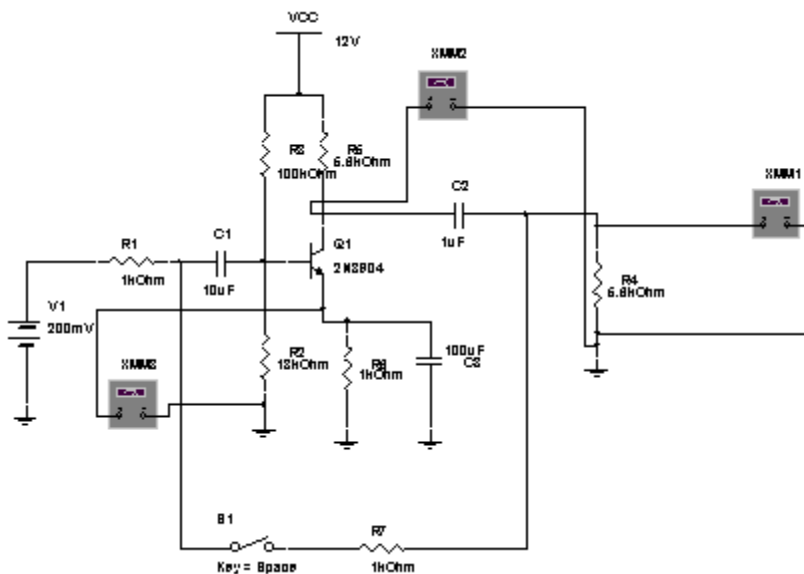
Integrador	$V_{out} = \int_0^t -\frac{V_{in}}{RC} dt + V_{inicial}$		<p>El integrador no se usa en la práctica de forma discreta ya que cualquier señal pequeña de DC en la entrada puede ser acumulada en el condensador hasta saturarlo por completo. Este circuito se usa de forma combinada en sistemas retroalimentados que son modelos basados en variables de estado (valores que definen el estado actual del sistema) donde el integrador conserva una variable de estado en el voltaje de su condensador.</p>
------------	--	--	--

Actividad práctica No. 3

Retroalimentación de voltaje paralelo

Objetivo:

- Comprobar el comportamiento de un amplificador con retroalimentación de voltaje paralelo.
- Observar el efecto que provoca la retroalimentación en la ganancia de voltaje.
- Observar el efecto que provoca la retroalimentación en la impedancia de entrada.
- Observar el efecto que provoca la retroalimentación en la impedancia de salida.



Medición de los voltajes de C.D. con el propósito de determinar el punto de operación.

$V_{CC} = 12$ volts $V_C = 9$ volts $V_E = 0.6$ volts $V_B = 1.25$ Volts

Ganancia Δ sin retroalimentación.

Con el interruptor abierto, aplicar una señal V_i sinodal de 2Khz, 50 m V p-p. Mida los voltajes V_i y V_o .

$V_i = 200$ mV $V_o = 1.2$ V

Resistencia de entrada sin retroalimentación.

Con las mismas mediciones del paso anterior, intercale una resistencia R_{ext} de $10k\Omega$, entre los puntos A y B, en el osciloscopio observe y mida el nuevo valor del voltaje de salida.

$$V_o = 0.18 \text{ V}$$

Al terminar retire la resistencia de $10k\Omega$ de A y cierre el interruptor S.

Resistencia de salida sin retroalimentación

Conecte una resistencia de carga adicional de $5.6k\Omega$ en paralelo con la carga para formar un valor $R'_L = 2.8 k\Omega$. Mida el nuevo valor del voltaje de salida.

$$V_o = 0.82 \text{ V}$$

Al terminar retire la resistencia adicional de $5.6k\Omega$

Ganancia de lazo T

Haga V_{in} igual a cero, aterrice el punto A y cierre el interruptor S. Abrir el lazo entre los puntos Z y Z'. Aplicar una señal $V_{z'}$, senoidal de 2kHz, 200m Vp-p. En el osciloscopio observe y mida los voltajes de las señales en los puntos Z y Z' que llamaremos V_z y $V_{z'}$.

$$V_z = 0.001 \text{ volts}$$

$$V_{z'} = 1.3 \text{ volts}$$

$$T = V_z/V_{z'} = 0.0025$$

Al terminar restaure la conexión ZZ'

Ganancia Δf con retroalimentación

Con el interruptor S cerrado se puede prescindir del divisor de voltaje. Aplicar una señal V_i , senoidal de 2 KHz, 200m Vp-p. La resistencia R_f debe de estar conectada. En el osciloscopio observe y mida los voltajes de las señales V_i y V_o .

$$V_i = 0.28 \text{ volts}$$

$$V_o = 0.85 \text{ volts}$$

Resistencia de entrada con retroalimentación

Con las mismas condiciones del paso anterior, intercale una resistencia R_{ext} de $1K\Omega$ entre los puntos A y B.

En el osciloscopio observe y mida el nuevo valor del voltaje de salida.

$V_o = 1 \text{ volt}$

Con el interruptor S cerrado y una señal de entrada de aproximadamente $200m \text{ Vp-p}$ y $2KHz$. Tome de nuevo lectura del voltaje de salida.

$V_o = 1.8 \text{ volts}$

Sustituya la resistencia de carga R_L de $5.6K\Omega$, por nuevo valor de $R'_L = 560\Omega$ y mida el nuevo valor del voltaje de salida.

$V_o = 0.5 \text{ volts}$

1.11 Configuración Buffer

Un **buffer amplificador** es un dispositivo electrónico que sirve para hacer una transformación en la impedancia de una señal.

Existen 2 tipos básicos de buffers, de corriente y de voltaje.

Buffer de corriente

Se utiliza para transferir una corriente desde un primer circuito, que tiene un nivel de salida de baja impedancia, a un segundo circuito con una entrada de alta impedancia. El buffer impide que el segundo circuito cargue demasiado al primero, provocando un funcionamiento incorrecto. En un buffer ideal la impedancia de entrada es cero y la impedancia de salida es infinita.

En un buffer de corriente, la ganancia suele ser 1, la corriente no varía.

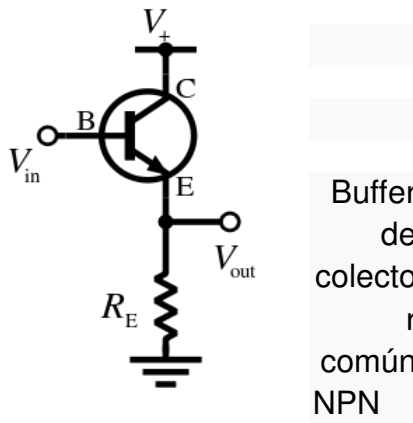
Buffer de voltaje

Se utiliza para transferir una tensión de un primer circuito, que tiene un nivel de salida de alta impedancia, a un segundo circuito con un nivel de entrada de baja impedancia. El buffer impide que el segundo circuito cargue demasiado al primero, provocando un funcionamiento incorrecto. En un buffer ideal, la resistencia de entrada es infinita y la resistencia de salida es 0.

En un buffer de voltaje, la ganancia suele ser 1, el voltaje no varía.

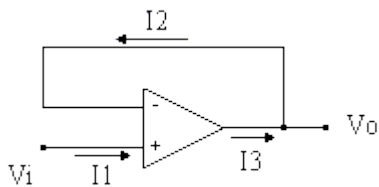
Operacional

Un buffer de ganancia unidad se puede construir con un amplificador operacional seguidor de tensión. La señal se introduce por la entrada no inversora del amplificador operacional (V_{in}), a causa de la realimentación de la entrada inversora con la señal de salida se obtiene esa señal con el mismo voltaje.



1.12 Seguidor de tensión

El seguidor de tensión es aquel circuito que proporciona a la salida la misma tensión que a la entrada, independientemente de la carga que se le acopla, que es tanto como decir, independientemente de la intensidad que se demande. Esta aplicación es importante en la amplificación de señales que teniendo un buen nivel de tensión son de muy baja potencia y por tanto se atenuarían en el caso de conectarlas a amplificadores de mediana o baja impedancia de entrada.



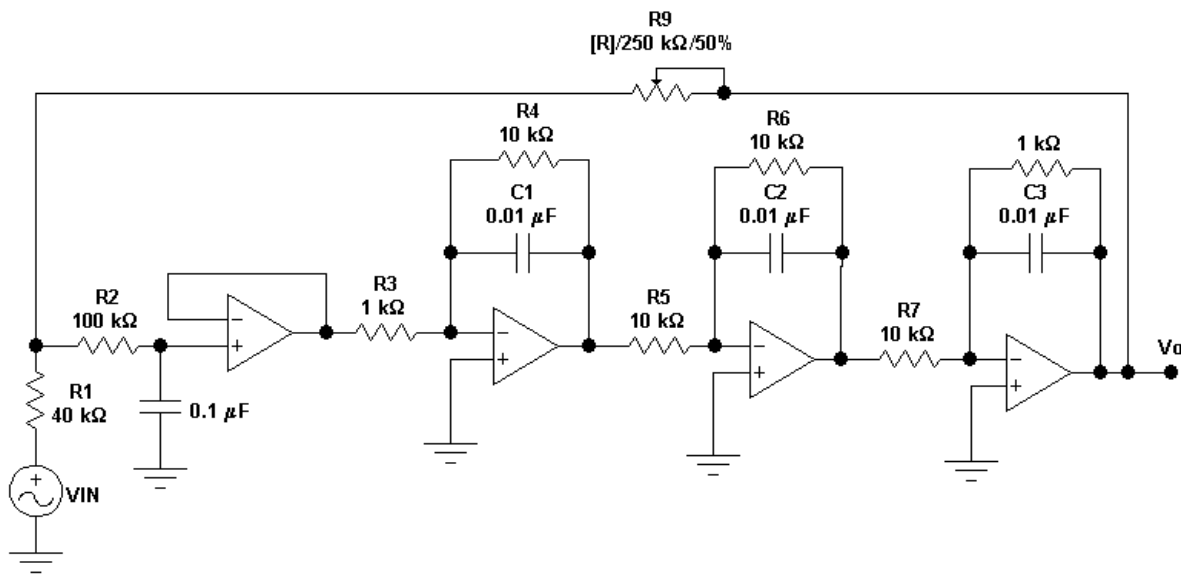
A la vista del circuito de la figura y aplicando el concepto de cortocircuito virtual tenemos que $I_1=0$ y la tensión en el terminal no inversor es igual que la tensión en el terminal inversor, con lo que podemos afirmar que $V_i=V_o$. También podemos decir que $I_2=0$ con lo cual la carga demandará la corriente por I_3 únicamente, permaneciendo aisladas la entrada y la salida del amplificador operacional.

Actividad práctica No. 4

Estabilidad de un amplificador retroalimentado

OBJETIVOS:

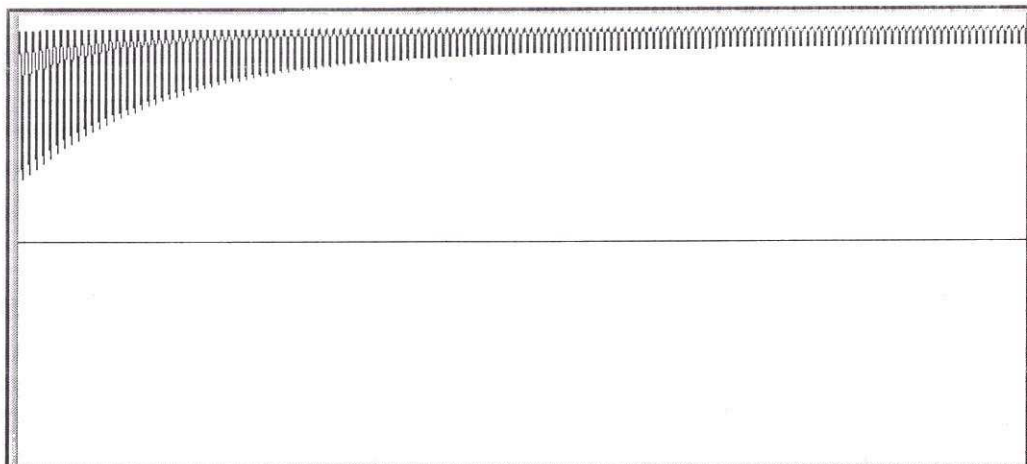
- Observar el comportamiento de la estabilidad de un amplificador de 3 polos.
- Observar los valores de ganancia de lazo crítica y de frecuencia de operación.
- Diseñar para obtener un determinado comportamiento dinámico.
- Diseñar una red de compensación.



Implementar el circuito amplificador retroalimentado de la figura 1. Inicialmente $R9$ es un potenciómetro de 250 Ω con su valor de resistencia al máximo.

Inestabilidad

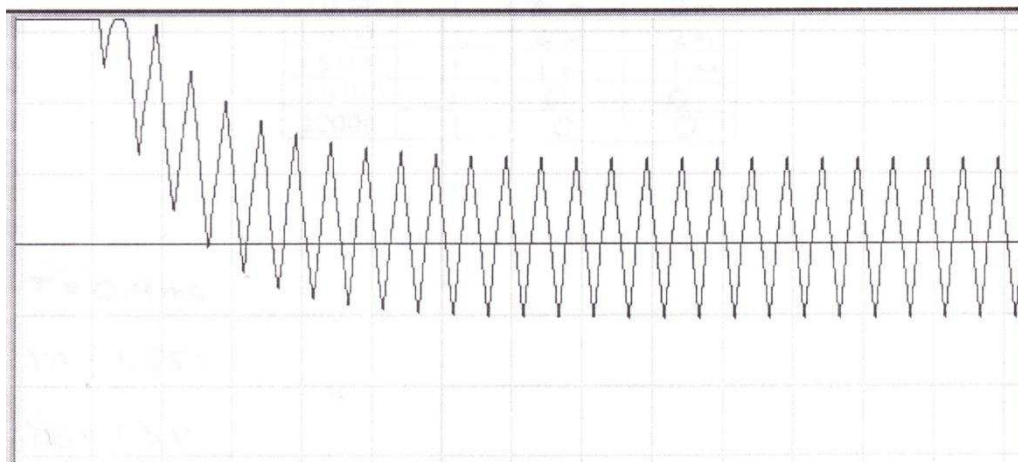
Aplique una señal de entrada senoidal de 1Vp-p y aproximadamente de 500Hz. Observe en el osciloscopio las señales de V_{in} y V_o . $V_{in} = 1V$ 500Hz



Disminuya lentamente el valor de R9 hasta que observe que en la señal de salida el circuito se vuelve inestable.

Punto crítico.

Desconecte el generador de funciones y haga V_{in} igual a cero volts aterrizando la entrada. Varíe el valor de R9 hasta que el circuito oscile.



Tome lectura de la frecuencia de oscilación.

$F_{osc} = 500 \text{ Hz}$ $R9 = 110.7 \text{ K}\Omega$

Tome lectura del valor de R9 en el punto crítico de oscilación.

Comportamiento dinámico.

En el circuito haga $R9=113K\Omega$ y aplique una señal cuadrada de 100Hz y a 2Vp-p. Observe en el osciloscopio la señal de salida Vo.

ETAPA 2 CIRCUITOS BASICOS DEL OPAM

Competencia profesional

- Desarrollar circuitos que funcionen en fuentes electrónicas para la prevención y corrección de fallas de circuitos que utilizan fuentes de poder.

Elementos de la competencia profesional

- a1. Conocer los elementos fundamentales de electrónica para aplicarlos en prácticas dentro del taller.
- a2. Conocer tipos de técnicas sobre la creación de circuitos impresos para construir fuentes de poder.
- a3. Aplicar los instrumentos del taller electrónico, fuentes y medidores para medir los parámetros y señalamientos de los circuitos electrónicos.

Competencias genéricas RIEMS

- Escucha, interpreta y emite mensajes pertinentes en distintos contextos mediante la utilización de medios, códigos y herramientas apropiados
- Desarrolla innovaciones y propone soluciones a partir de métodos establecidos.
- Participa y colabora de manera efectiva en equipos diversos

Atributos:

- Expresa ideas y conceptos mediante representaciones lingüísticas, matemáticas o gráficas.
- Identifica las ideas clave en un texto o discurso oral e infiere conclusiones a partir de ellas.
- Maneja las tecnologías de la información y la comunicación para obtener información y expresar ideas.
- Sigue instrucciones y procedimientos de manera reflexiva, comprendiendo como cada uno de sus pasos contribuye al alcance de un objetivo.
- Construye hipótesis y diseña y aplica modelos para probar su validez.
- Sintetiza evidencias obtenidas mediante la experimentación para producir conclusiones y formular nuevas preguntas
- Utiliza las tecnologías de la información y comunicación para procesar e interpretar información.
- Asume una actitud constructiva, congruente con los conocimientos y habilidades con los que cuenta dentro de distintos equipos de trabajo.

Rasgos:

- Comunicación
 - Maneja y comprende las Tecnologías de la Información y Comunicación para aplicarlas de manera crítica y objetiva, en las diferentes áreas del conocimiento.
 - Usa códigos lingüísticos en distintos contextos lógicos y matemáticos que le permiten expresar ideas con sentido ético.
- Creatividad
 - Diseña, analiza y explica proyectos aplicando creatividad e innovación en la resolución de problemas tomando como base los principios, leyes y conceptos
- Cooperación
 - Participa en tareas asignadas, tanto de manera individual como grupal con respeto a la diversidad de ideas.

Competencias generales del ME

- Maneja las tecnologías de la información y la comunicación como herramienta para el acceso a la información y su transformación en conocimiento, así como para el aprendizaje y trabajo colaborativo con técnicas de vanguardia que le permitan su participación constructiva en la sociedad
- Utiliza los métodos y técnicas de investigación tradicionales y de vanguardia para el desarrollo de su trabajo académico, el ejercicio de su profesión y la generación de conocimientos.

Atributos:

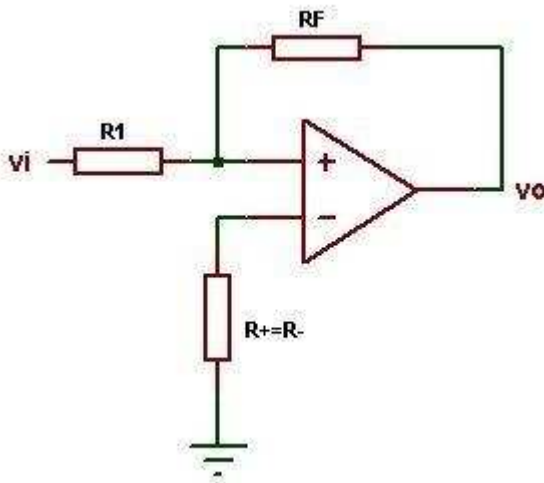
- Expresa conceptos e ideas, de manera correcta de forma oral y escrita en su lengua materna
- Elige los procedimientos adecuados en la resolución de un problema
- Procesa información utilizando las tecnologías de la información y comunicación
- Formula y concluye resultados a partir de las evidencias obtenidas
- Identifica los rumbos a seguir en el desarrollo de cualquier problema a través del trabajo colaborativo
- Propone sus puntos de vista a la vez que respeta los de sus compañeros

Trabaja y participa con una actitud positiva en los diferentes roles de las tareas asignadas.

2.1 OPAM inversor

Un Opamp Inversor invierte la señal de entrada y le da una ganancia de acuerdo al valor que tomen R_F y R_1 , la ganancia puede ser menor que uno, igual a uno o mayor que uno. La señal de entrada se invierte, no se desfasa 180 grados. Presenta una impedancia de entrada igual a R_1 , es decir presenta una muy mala impedancia de entrada comparado con un Opamp seguidor o con un Opamp no inversor. La impedancia de salida es pequeña (por el orden de milis de Ohm), que garantiza que la totalidad de la señal de salida quede en la carga (R_L).

Para balancear el circuito (Eliminar corriente de Bias), basta con poner una resistencia de valor igual al paralelo entre R_F y R_1 en el pin no inversor. Esta resistencia no afecta el análisis del Opamp no inversor.



En la siguiente tabla se presenta la ganancia, la impedancia de entrada y la impedancia de salida de un Opamp inversor, tanto ideal como real.

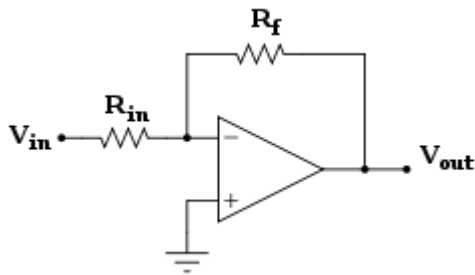
Parámetro	Ideal	Real
Ganancia	$-\frac{R_F}{R_1}$	$\frac{(r_o - A_d R_F) r_i}{(r_i + R_1)(r_o + R_F) + r_i R_1 (1 + A_d)}$
Impedancia de Entrada	R_1	$R_1 \left[\frac{(r_i + R_1)(r_o + R_F) + r_i R_1 (1 + A_d)}{R_1 (r_o + R_F) + r_i R_1 (1 + A_d)} \right]$
Impedancia de Salida	Cero	$r_o \left[\frac{R_F (r_i + R_1) + r_i R_1}{(r_i + R_1)(r_o + R_F) + r_i R_1 (1 + A_d)} \right]$

Actividad práctica No. 5

Amplificador inversor

Objetivo:

Haciendo uso del amplificador operacional LM741 determinar el voltaje de salida a partir del voltaje de entrada en la configuración “inversor”.



Procedimiento:

1. Implementar el circuito del amplificador inversor.

Voltaje de alimentación: $V_{cc}=+12V$, $V_{EE}= -12V$.

2. Obtenga su voltaje de salida mediante:

$$V_{out} = - \frac{R_f}{R_{in}} V_{in}$$

Con el multímetro mida el voltaje de salida.

Caso 1: $R_{in}= 5.6K\Omega$

$R_f= 10K\Omega$

Caso 2: $R_{in}= 10K\Omega$

$R_f= 56K\Omega$

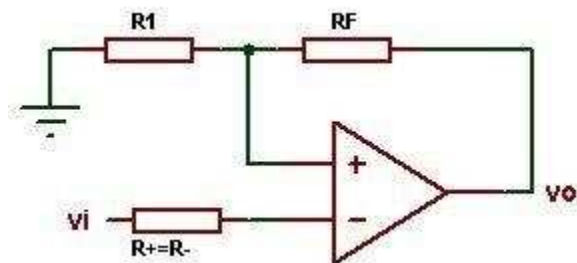
Voltaje de entrada (Vin)	Voltaje de salida (Vout)				Ganancia $\frac{V_{out}}{V_{in}} = \Delta V$	
	Teórico		Practico			
1V						
2V						
3V						

4V						
5V						

2.2 OPAM no inversor

Un Opamp no inversor como su nombre lo dice no invierte la señal de salida, presenta una ganancia mayor o igual que uno, de acuerdo al valor que tomen las resistencias R_F y R_1 . La impedancia de entrada es alta (por el orden de Megas de Ohm o mas), con lo que se garantiza una baja potencia de entrada y la no distorsión de la señal de entrada. Tiene una baja impedancia de salida (por el orden de milis de Ohm o menos), con lo cual se asegura que la totalidad de la señal de salida caerá en la R_L .

Para balancear el circuito (Eliminar la corriente de Bias), basta con colocar una resistencia en serie a la entrada de valor igual al paralelo de R_F y R_1 . Esta resistencia no afecta el análisis del Opamp no inversor.



En la siguiente tabla se muestran los valores de ganancia, impedancia de entrada e impedancia de salida de un Opamp no inversor en el caso ideal y en el caso real.

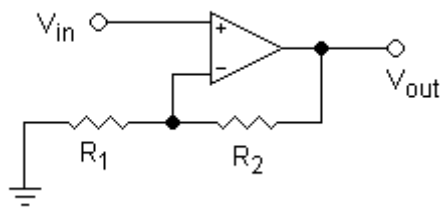
Parámetro	Ideal	Real
Ganancia	$1 + \frac{R_F}{R_1}$	$\frac{r_o R_1 + r_i (R_1 + R_F) A_d}{(r_i + R_1)(r_o + R_F) + r_i R_1 (1 + A_d)}$
Impedancia de entrada	Infinito	$r_i \left[\frac{(r_i + R_1)(r_o + R_F) + r_i R_1 (1 + A_d)}{r_i (r_o + R_F) + r_i R_1} \right]$
Impedancia de salida	cero	$r_o \left[\frac{R_F (r_i + R_1) + r_i R_1}{(r_i + R_1)(r_o + R_F) + r_i R_1 (1 + A_d)} \right]$

Actividad práctica No. 6

Amplificador no inversor

Objetivo:

Haciendo uso del amplificador operacional LM741 determinar el voltaje de salida a partir del voltaje de entrada en la configuración “no inversor”.



Procedimiento:

1. Implementar el circuito del amplificador no inversor.

Voltaje de alimentación: $V_{cc}=+12V$, $V_{EE}= -12V$.

2. Obtenga su voltaje de salida mediante:

$$V_{out}=R_2R_1+1V_{in}$$

3. Con el multímetro mida el voltaje de salida.

Caso 1: $R_1= 5.6K\Omega$ $R_2= 10K\Omega$

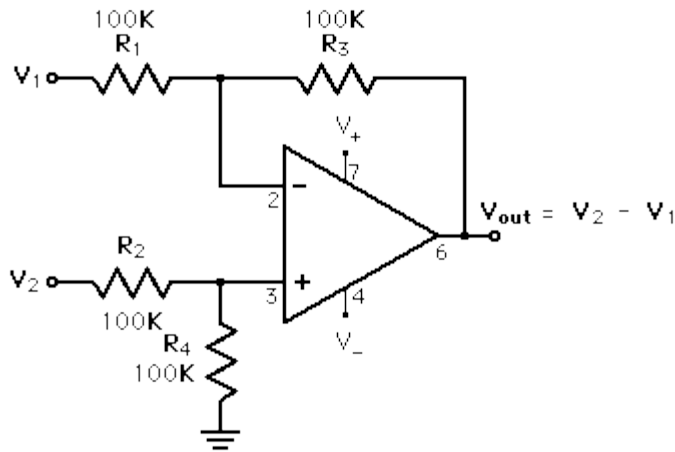
Caso 2: $R_1= 10K\Omega$ $R_2= 56K\Omega$

Voltaje de entrada (Vin)	Voltaje de salida (Vout)				Ganancia $\frac{V_{out}}{V_{in}} = \Delta V$	
	Teórico		Practico			
1V						
2V						
3V						
4V						

5V						
----	--	--	--	--	--	--

2.3 Restador

Este amplificador usa ambas entradas invertida y no invertida con una ganancia de uno, para producir una salida igual a la diferencia entre las entradas. Es un caso especial del amplificador diferencial. Se pueden elegir también las resistencias para amplificar la diferencia.



El comportamiento de la mayoría de las configuraciones de los op-amps se puede determinar aplicando las "reglas de oro". En un amplificador restador, el voltaje en la entrada no invertida es $V_2/2$, por lo tanto por la regla del voltaje ese voltaje también aparece en el punto A.

Aplicando la regla de corriente, la corriente en A debe ser cero, de modo que

$$\frac{V_1 - \frac{V_2}{2}}{R_1} = - \frac{V_{out} - \frac{V_2}{2}}{R_3}$$

que para resistencias iguales viene a ser

$$V_{out} = V_2 - V_1$$

El voltaje en 3 está dado por

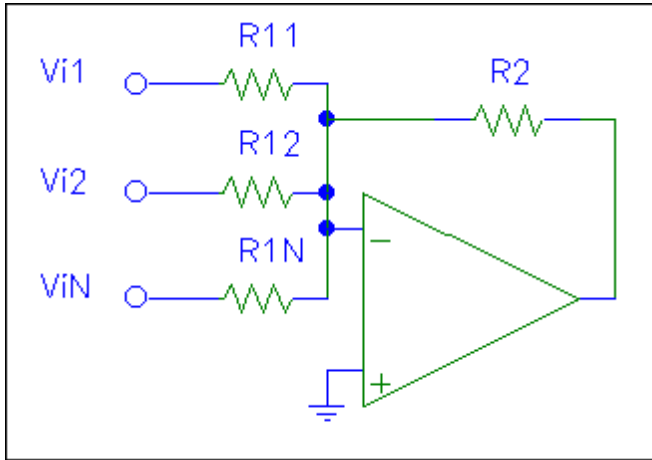
$$V_2 \frac{R_3}{R_1 + R_3} = V_A$$

por lo tanto por la regla de voltaje ese voltaje aparece en A. La regla de corriente en A da

$$\frac{V_2 - V_A}{R_1} = -\frac{V_{out} - V_A}{R_3}$$

2.4 Sumador

Esta configuración tiene la siguiente estructura:



La salida de este amplificador es proporcional a la suma de las señales de entrada. Dado que $V_- = 0$ por ser igual a V_+ que sí es igual a cero, las intensidades que circulan por cada rama son independientes de las demás y no se produce redistribución de intensidad alguna. Con ello la intensidad total que atraviesa R_2 será la suma de las intensidades de cada una de las ramas de entrada.

Las entradas pueden ser positivas o negativas. En el caso de que las resistencias sean diferentes entre sí, se obtiene una suma ponderada. Esto vale por ejemplo para hacer un sumador binario si las resistencias fuesen por ejemplo R , $2R$, $4R$, $8R$, etc., y de hecho constituye el fundamento de un convertidor analógico-digital (ADC: Analog to Digital Converter).

- La salida está invertida
- Para resistencias independientes R_1, R_2, \dots, R_n

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

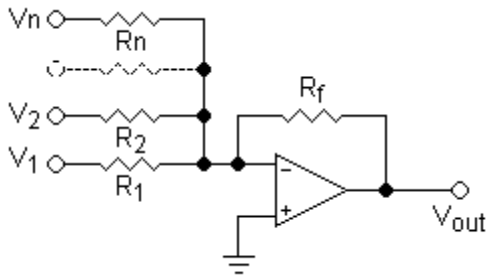
- La expresión se simplifica bastante si se usan resistencias del mismo valor
- Impedancias de entrada: $Z_n = R_n$

Actividad práctica No. 7

Amplificador sumador

Objetivo:

Haciendo uso del amplificador operacional LM741 determinar el voltaje de salida a partir del voltaje de entrada en la configuración “sumador”.



Procedimiento:

1. Implementar el circuito del amplificador sumador.

Voltaje de alimentación: $V_{cc}=+12V$, $V_{EE}= -12V$.

2. Obtenga su voltaje de salida mediante:

$$V_{out} = -R_f V_1 R_1 + V_2 R_2$$

Con el multímetro mida el voltaje de salida.

$$R_1 = 5.6K\Omega$$

$$R_2 = 5.6K\Omega$$

$$R_f = 10k\Omega$$

Voltaje de entrada (Vin)		Voltaje de salida (Vout)			
V1	V2	Teórico		Practico	
1.5V	1V				
1.5V	2V				
1.5V	3V				

1.5V	4V				
------	----	--	--	--	--

2.5 Comparador

Un **Amplificador Operacional** puede ser utilizado para determinar cuál de dos señales en sus entradas es mayor. (Se utiliza como **comparador**). Basta con que una de estas señales sea ligeramente mayor para que cause que la salida del amplificador operacional sea máxima, ya sea positiva (+Vsat) o negativa (-Vsat).

Esto se debe a que el operacional se utiliza en lazo abierto (tiene ganancia máxima). La ganancia real de un amplificador operacional es de 200,000 o más y la fórmula de la señal de salida es: $V_{out} = AOL (V_1 - V_2)$

Dónde:

- V_{out} = tensión de salida
- AOL = ganancia de amplificador operacional en lazo abierto (200,000 o más)
- V_1 y V_2 = tensiones de entrada (las que se comparan)

V_{out} no puede exceder la tensión de saturación del amplificador operacional, sea esta saturación negativa o positiva. (Normalmente este valor es aproximadamente unos 2 voltios menor que el valor de la fuente (V_+ o V_-))

El comparador no inversor

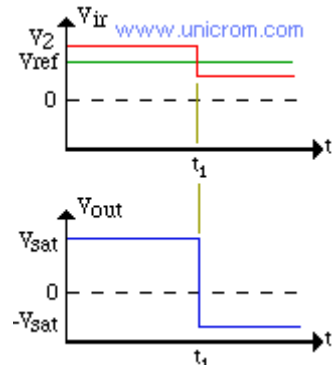
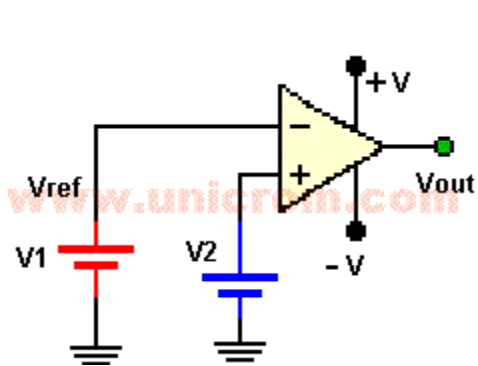
En este comparador la tensión de referencia se aplica a la entrada inversora, y la señal a detectar será aplicada a la entrada no inversora. La tensión de referencia puede ser positiva o negativa.

- Si la señal a detectar tenga una tensión superior a la tensión de referencia, la salida será una tensión igual a +Vsat (tensión de saturación positiva).
- Si la señal de entrada tiene una tensión inferior a la señal de referencia, la salida será igual a -Vsat (tensión de saturación negativa)

El comparador inversor

En este comparador la tensión de referencia se aplica a la entrada no inversora, y la señal a detectar será aplicada a la entrada inversora. La tensión de referencia puede ser positiva o negativa.

- Si la señal a detectar tenga una tensión superior a la tensión de referencia, la salida será una tensión igual a -Vsat (tensión de saturación negativa).
- Si la señal de entrada tiene una tensión inferior a la señal de referencia, la salida será igual a +Vsat (tensión de saturación positiva)

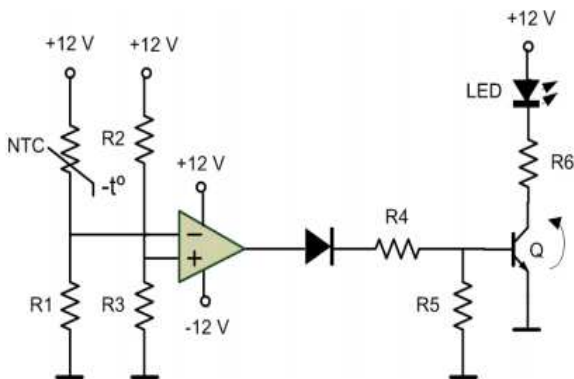


Actividad práctica No. 8

Amplificador comparador

1. Objetivos

- Conocer el funcionamiento de circuitos comparadores empleando Amplificadores Operacionales.
- Conocer el funcionamiento de elementos auxiliares como el NTC y LDR.
- Saber diseñar el circuito comparador mediante el cálculo de todos los componentes necesarios.



. Circuito comparador mediante un amplificador operacional y un transistor NPN

El circuito realiza una comparación de los niveles de tensión que el amplificador operacional posee en sus entradas y hará que el transistor Q conduzca o no (encendiendo el LED o apagándolo) dependiendo de la salida.

El amplificador dará una salida alternante entre los valores de aproximadamente 11V y -11V (VCC y VEE con un error de $\pm 1V$) no invertida dependiendo si el valor de referencia (entrada + o no inversora del amplificador) es mayor o menor, respectivamente, del valor proporcionado en la entrada de comparación (entrada - o inversora del amplificador). El valor de la entrada + se encuentra fijado por los valores de resistencias R2 y R3, pero el de la entrada - se halla conectado a un sensor resistivo de temperatura NTC (Negative Temperature Coefficient).

Como se vio en la práctica de simulación, un sensor NTC reduce su resistencia al aumentar su temperatura y viceversa (véase el manual de la práctica de simulación para más información del elemento NTC). Por lo tanto, dependiendo de la temperatura que detecte el NTC, aumentará o disminuirá su resistencia, haciendo que cambie la tensión en la entrada -, y que la comparación del amplificador conmute entre los valores $\pm 12V$. El diodo conducirá o no, haciendo que al transistor Q le llegue o no una corriente de base para que conduzca (modo saturación) o no (modo corte). Al conducir, el LED se encenderá.

En el diseño del circuito se calculan los valores de cada uno de los componentes. En este caso, se deberá calcular el valor de R1, R2, R3, R4, R5 y R6. Como datos, se tienen los datasheets de los componentes siguientes: amplificador operacional, transistor, LED y NTC. A continuación se muestra una lista de la referencia comercial de los componentes a utilizar y los parámetros más importantes para el diseño del circuito:

- Amplificador operacional: LM741CN.
- Transistor NPN: BC547C.
- LED: L53SGD (difuso verde).
- NTC: ND03 NTC Termistor.
- Diodo: 1N4148.

Describe el funcionamiento del circuito y comenta cuando se enciende el LED y porqué.

- Realiza mediciones de voltaje en la entrada positiva (INPUT+) y negativa (INPUT-) del comparador (amplificador operacional). Con respecto a la INPUT-, prueba a diferentes temperaturas del NTC: T^a ambiente, apretando el NTC con los dedos y calentando el NTC con un mechero proporcionado por el profesor. ¿Qué ocurre con los cambios de temperatura del NTC?

* Valores medidos: INPUT+, INPUT-.

- Realiza mediciones de voltaje a la salida del operacional durante los mismos casos del apartado anterior. ¿Qué está ocurriendo a la salida del comparador cuando la NTC detecta distintas temperaturas? ¿Qué ocurre cuando la salida es un valor positivo de voltaje? ¿Y cuándo es negativo?

* Valores medidos: OUTPUT.

- Mide la intensidad de salida del amplificador.

* Valores medidos: IS.

- Mide la intensidad que pasa por el LED cuando éste se enciende. Esta intensidad es la intensidad del colector del transistor NPN. ¿En qué modo está trabajando el transistor NPN (corte, saturación, activo). Mide también el voltaje de caída en el LED cuando está conduciendo.

* Valores medidos: IC, VLED.

- Mide la tensión de caída entre la base y el emisor del transistor NPN. También médelo entre el colector y el emisor.

* Valores medidos: V_{BE} , V_{CE}

ETAPA 3 CIRCUITOS ESPECIALES

Competencia profesional

- Desarrollar circuitos que funcionen en fuentes electrónicas para la prevención y corrección de fallas de circuitos que utilizan fuentes de poder.

Elementos de la competencia profesional

- a1. Conocer los elementos fundamentales de electrónica para aplicarlos en prácticas dentro del taller.
- a2. Conocer tipos de técnicas sobre la creación de circuitos impresos para construir fuentes de poder.
- a3. Aplicar los instrumentos del taller electrónico, fuentes y medidores para medir los parámetros y señalamientos de los circuitos electrónicos.

Competencias genéricas RIEMS

- Escucha, interpreta y emite mensajes pertinentes en distintos contextos mediante la utilización de medios, códigos y herramientas apropiados
- Desarrolla innovaciones y propone soluciones a partir de métodos establecidos.
- Participa y colabora de manera efectiva en equipos diversos

Atributos:

- Expresa ideas y conceptos mediante representaciones lingüísticas, matemáticas o gráficas.
- Identifica las ideas clave en un texto o discurso oral e infiere conclusiones a partir de ellas.
- Maneja las tecnologías de la información y la comunicación para obtener información y expresar ideas.
- Sigue instrucciones y procedimientos de manera reflexiva, comprendiendo como cada uno de sus pasos contribuye al alcance de un objetivo.
- Construye hipótesis y diseña y aplica modelos para probar su validez.
- Sintetiza evidencias obtenidas mediante la experimentación para producir conclusiones y formular nuevas preguntas
- Utiliza las tecnologías de la información y comunicación para procesar e interpretar información.
- Asume una actitud constructiva, congruente con los conocimientos y habilidades con los que cuenta dentro de distintos equipos de trabajo.

Rasgos:

- Comunicación
 - Maneja y comprende las Tecnologías de la Información y Comunicación para aplicarlas de manera crítica y objetiva, en las diferentes áreas del conocimiento.
 - Usa códigos lingüísticos en distintos contextos lógicos y matemáticos que le permiten expresar ideas con sentido ético.
- Creatividad
 - Diseña, analiza y explica proyectos aplicando creatividad e innovación en la resolución de problemas tomando como base los principios, leyes y conceptos
- Cooperación
 - Participa en tareas asignadas, tanto de manera individual como grupal con respeto a la diversidad de ideas.

Competencias generales del ME

- Maneja las tecnologías de la información y la comunicación como herramienta para el acceso a la información y su transformación en conocimiento, así como para el aprendizaje y trabajo colaborativo con técnicas de vanguardia que le permitan su participación constructiva en la sociedad
- Utiliza los métodos y técnicas de investigación tradicionales y de vanguardia para el desarrollo de su trabajo académico, el ejercicio de su profesión y la generación de conocimientos.

Atributos:

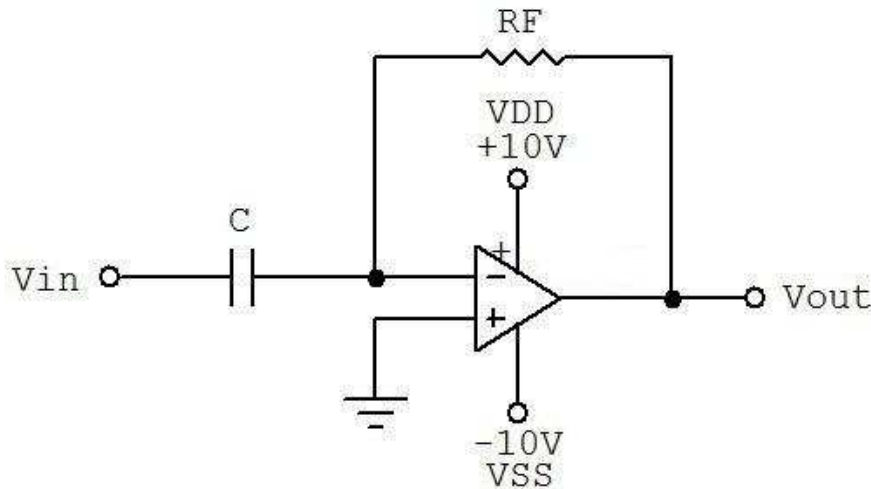
- Expresa conceptos e ideas, de manera correcta de forma oral y escrita en su lengua materna
- Elige los procedimientos adecuados en la resolución de un problema
- Procesa información utilizando las tecnologías de la información y comunicación
- Formula y concluye resultados a partir de las evidencias obtenidas
- Identifica los rumbos a seguir en el desarrollo de cualquier problema a través del trabajo colaborativo
- Propone sus puntos de vista a la vez que respeta los de sus compañeros

Trabaja y participa con una actitud positiva en los diferentes roles de las tareas asignadas.

2.1 Derivador

El Circuito Derivador realiza la operación matemática de derivación, de modo que la salida de este circuito es proporcional a la derivada en el tiempo de la señal de entrada. En otras palabras, la salida es proporcional a la velocidad de variación de la señal de entrada.

La magnitud de su salida se determina por la velocidad a la que se aplica el voltaje a los cambios de la entrada. Cuanto más rápido se produzcan los cambios en la entrada, mayor será la tensión de salida.



$$C = 0.1 \mu F$$

$$R_F = 1 k\Omega$$

$$V_{DD} = +10 V$$

$$V_{SS} = -10 V$$

COMPONENTES

El circuito derivador es exactamente lo opuesto al circuito integrador. Como con el circuito integrador, en el circuito derivador hay una resistencia y un condensador formando una red RC a través del amplificador operacional, pero en este caso, la reactancia, X_C , está conectada a la entrada inversora del amplificador operacional, mientras que la resistencia, R_F , forma el elemento de realimentación negativa. La reactancia del condensador juega un papel importante en el rendimiento de un circuito derivador.

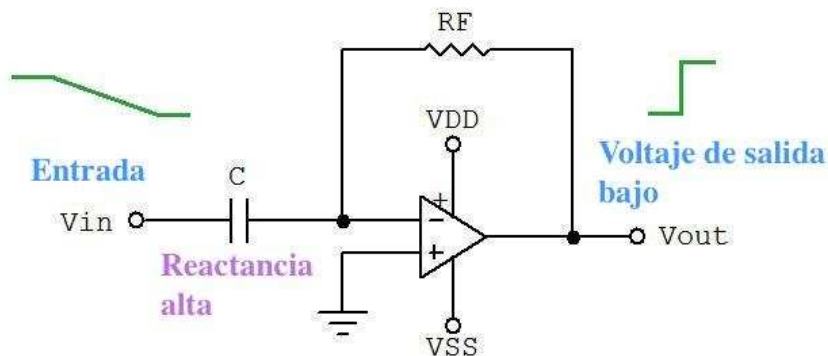
Resumiendo, los componentes necesarios que hay que conectar a un amplificador operacional son los siguientes:

- Un condensador conectado a la entrada inversora.
- Una resistencia de realimentación conectada entre la salida y la entrada inversora.

FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO

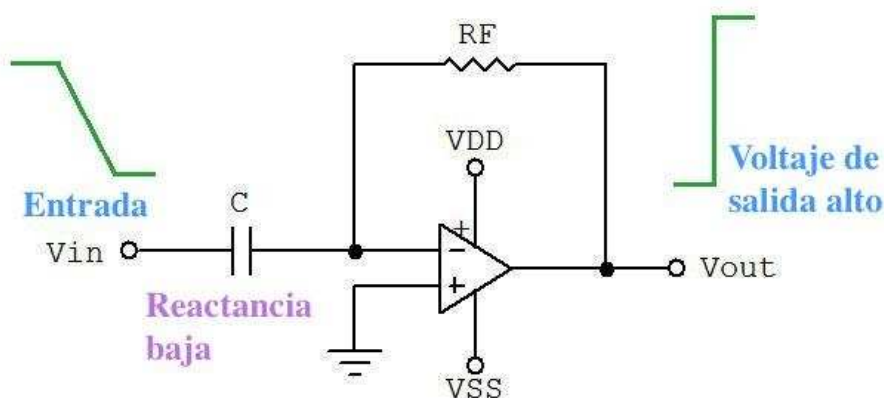
Si la tensión aplicada a la entrada cambia a un ritmo lento, es decir, con una pendiente pequeña, el circuito responde de la siguiente manera:

- La reactancia del condensador en ohmios es alta.
- La relación R_F/X_C es baja.
- La ganancia del amplificador operacional es baja.



Si la tensión aplicada a la entrada cambia a un ritmo acelerado, es decir, con una pendiente grande, el circuito responde de la siguiente manera:

- La reactancia del condensador en ohmios es baja.
- La relación R_F/X_C es alta.
- La ganancia del amplificador operacional es alta.



Cuando la tensión aplicada a la entrada inversora cambia de 0 voltios a una tensión negativa, la salida es una tensión positiva.



Cuando la tensión aplicada a la entrada inversora cambia de 0 voltios a una tensión positiva, la salida es una tensión negativa.

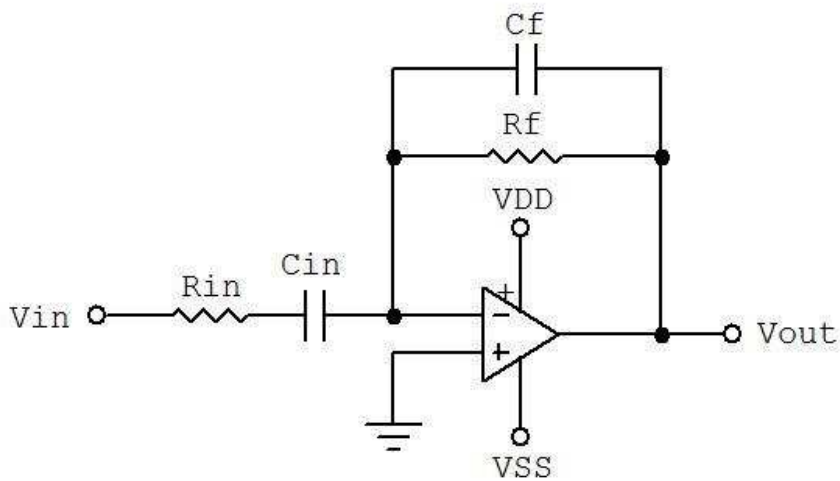


Si se aplica una señal que cambia constantemente en la entrada del amplificador operacional (señales de onda cuadrada, triangular o de onda sinusoidal), la salida resultante cambiará, y su forma dependerá de la constante de tiempo RC de la combinación de la resistencia y el condensador.

INCONVENIENTES

El circuito derivador en su forma básica tiene dos desventajas principales. Una es que sufre de inestabilidad a altas frecuencias, y la otra es que la entrada capacitiva hace que sea posible que señales de ruido aleatorio y cualquier tipo de ruido o armónicos presentes en el circuito se amplifiquen más que la señal de entrada. Esto ocurre porque la salida es proporcional a la pendiente de la entrada, por lo que se requiere algún tipo de filtro.

Para minimizar estos inconvenientes (inestabilidad y ruido), se modifica la forma básica de un circuito derivador con amplificador operacional de la siguiente manera:

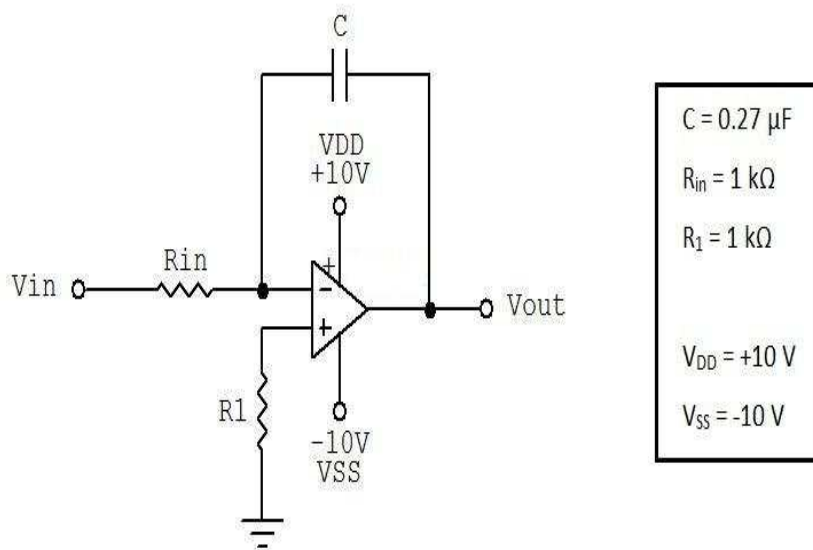


Se coloca en la entrada inversora una resistencia R_{in} (en serie con el condensador C_{in}) y se agrega un condensador C_f en paralelo con la resistencia de realimentación R_f . De esta manera, a bajas frecuencias, el circuito actuará como un circuito derivador, y a altas frecuencias, actuará como un amplificador con realimentación resistiva, proporcionando un rechazo mejor ante el ruido.

Estos dos componentes (R_{in} y C_f) reducen la capacidad de derivación del circuito, pero sólo lo hacen hasta la frecuencia que determinan las resistencias y condensadores.

2.2 Integrador

El Circuito Integrador es un circuito con un amplificador operacional que realiza la operación matemática de integración. El circuito actúa como un elemento de almacenamiento que produce una salida de tensión que es proporcional a la integral en el tiempo de la tensión de entrada.

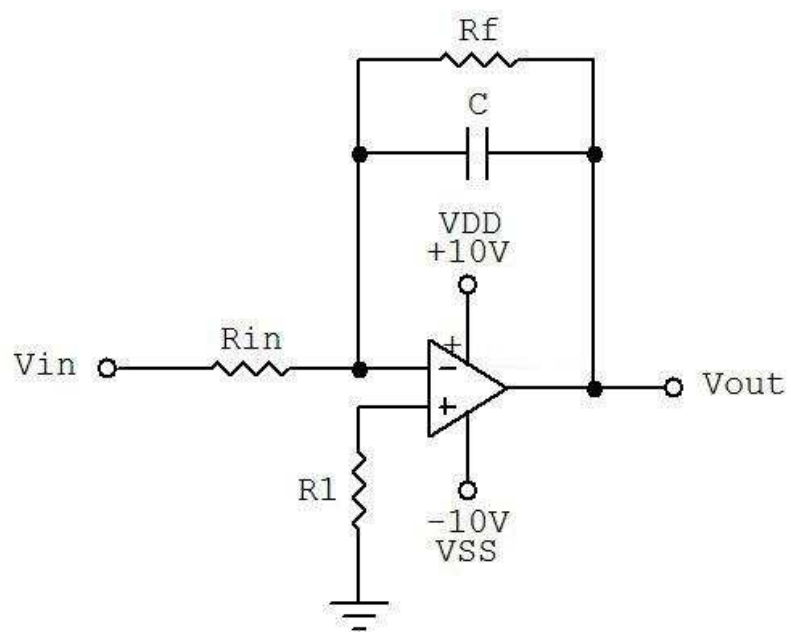


Si se aplica una señal de entrada que cambia constantemente a la entrada de un amplificador integrador, por ejemplo una onda cuadrada, el condensador se cargará y se descargará en respuesta a cambios en la señal de entrada. Así, se crea una señal de salida en forma de diente de sierra, cuya frecuencia depende de la constante de tiempo RC de la combinación de la resistencia y el condensador.

La salida de este circuito se puede predecir mediante la siguiente ecuación:

$$V_{out}(t) = -\frac{1}{RC} \cdot \int_0^t V_{in}(t) dt$$

Este circuito, debido a que se produce una asimetría en los caminos de entrada-salida, presenta un problema con la saturación del amplificador operacional. La solución es limitar la ganancia del amplificador operacional mediante una resistencia, colocada en paralelo al condensador.



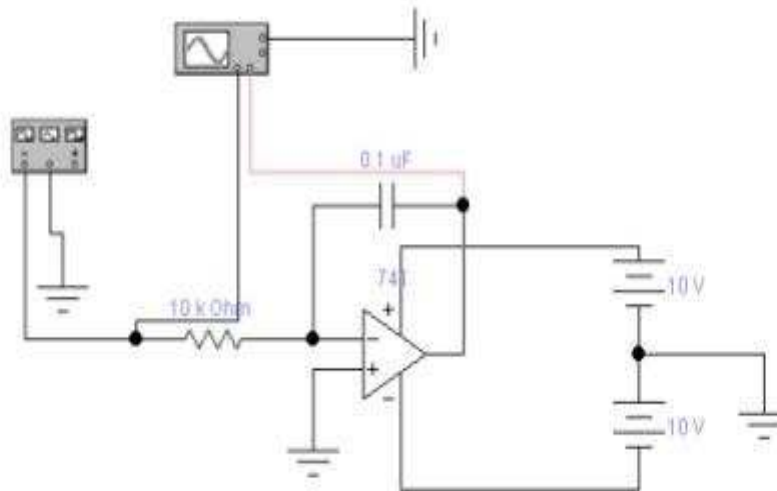
Actividad práctica No. 9

Circuitos integrador y derivador

1. Registrar nuestro uso del equipo prestado en el almacén.
2. Verificar que todos nuestros materiales y/o componentes funcionen correctamente tanto como el Multímetro, fuente de voltaje, Protoboard y los diodos.

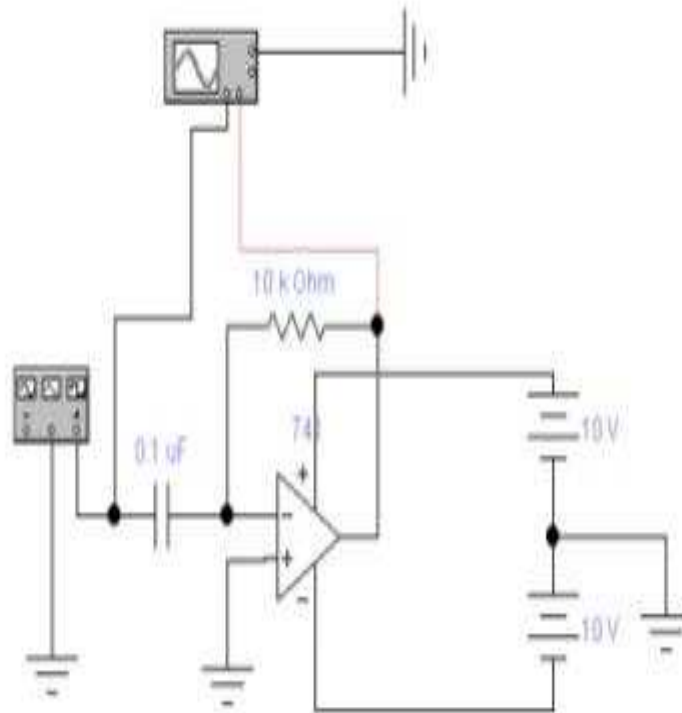
Multímetro	___
Fuente de voltaje a CD	___
Protoboard	___
Generador de Funciones	___
Componentes Electrónicos	___

3. Conectar el circuito integrador según el siguiente diagrama:



4. Registrar los valores de las señales obtenidos en el osciloscopio:

5. Conectar el circuito Derivador en el protoboard según el siguiente diagrama:



6. Registrar los valores de las señales obtenidos en el osciloscopio:

3.3 Amplificador exponencial

La creación de circuitos exponenciales o anti logarítmicos no ofrece mayor dificultad pues basta con intercambiar la posición de la resistencia y el diodo (Fig. 9). Debe remarcarse que la realimentación se realiza a través del terminal inversor para que la configuración sea estable. En esta estructura, se concluiría que:

$$V_{OUT} = -R_L \cdot I_s \cdot \exp\left(\frac{V_{IN}}{N \cdot V_T}\right)$$

El valor de la tensión de entrada debe ser positivo para despreciar el efecto de las corrientes de fuga y obtener la forma exponencial. Para compensar los efectos de las corrientes de generación recombinación, siempre es posible utilizar transistores. Si estos fueran NPNs, algunos circuitos exponenciadores serían los mostrados en Fig. 10.

Los circuitos anteriores tienen algunas limitaciones importantes. Una de ellas es la existencia de no idealidades en el amplificador como, por ejemplo, la tensión de offset y las corrientes de polarización de las entradas que afectan a la salida. Así, por ejemplo, puede demostrarse que la salida de un circuito logarítmico con entrada estrictamente positiva es:

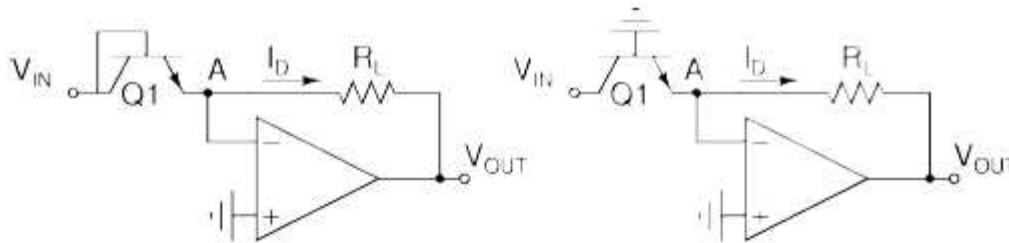


Figura 10: Amplificador exponencial para entrada positiva basados en transistores bipolares.

$$V_{OUT} = V_{OS} - N \cdot V_T \cdot \ln\left(-\frac{V_{IN} - V_{OS} + R_L \cdot I_{B-}}{R \cdot I_s}\right) \quad (10)$$

Siendo VOS la tensión de offset de entrada e I_{B-} la corriente de polarización de la entrada del amplificador operacional. Sin embargo, estos problemas carecen de importancia en comparación con el efecto de la temperatura. Los parámetros de un diodo son fuertemente dependientes de la temperatura. Por ejemplo, la corriente de saturación inversa de un diodo, I_s , debida a las corrientes de difusión, depende de la temperatura de la siguiente manera:

$$\frac{I_s(T)}{I_s(T_0)} = \exp\left[\left(\frac{T}{T_0} - 1\right) \cdot \frac{E_G}{N \cdot k_B \cdot T}\right] \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^{XTI/N}$$

La mayor parte de los parámetros son ya conocidos siendo T_0 la temperatura de referencia, E_G el valor de la banda prohibida del semiconductor (1.12 eV en silicio), k_B la constante de

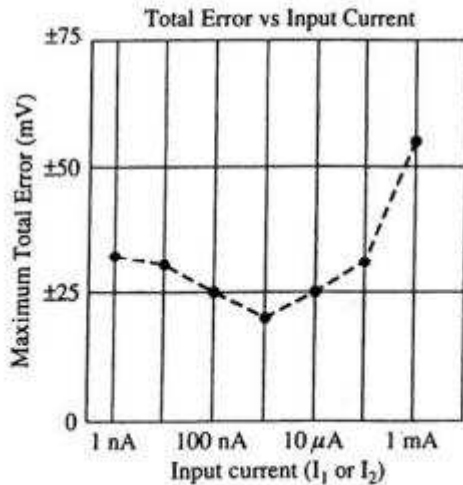
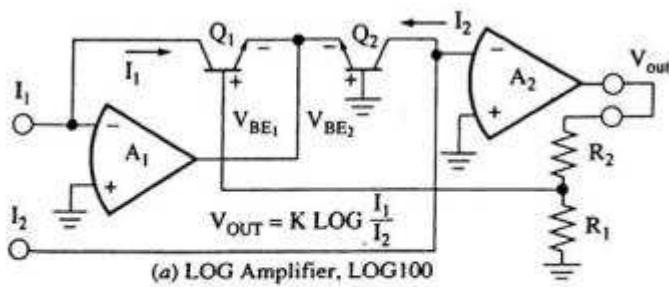
Boltzmann y XTI un parámetro específico de cada diodo que, en caso de una unión abrupta, se iguala a 3. Una consecuencia de ello es que la corriente de saturación inversa se dobla cada 10°C. Teniendo en cuenta que la temperatura afecta a otros parámetros, es de entender la dificultad que existe para minimizar los efectos de la temperatura y hacer los dispositivos confiables. Afortunadamente, existen configuraciones algo más sofisticadas que las mostradas en estos apuntes que minimizan los efectos de la temperatura de tal modo que se encuentran amplificadores comerciales de ambos tipos. Para más información sobre las técnicas, consultar el capítulo 8 de Peyton & Walsh.

3.4 Amplificador logarítmico

La importancia del amplificador logarítmico radica principalmente en aplicaciones donde el rango dinámico de la señal de entrada es muy grande (varios órdenes de magnitud), pues si no se usa un amplificador logarítmico, para manejar las señales de mayor amplitud evitando saturación, las señales de menor amplitud se tendrían que operar en niveles muy bajos.

Al utilizar amplificadores logarítmicos, la ganancia del circuito es más baja para señales grandes que para señales pequeñas, resultando en una compresión de rango. A la salida del instrumento, un amplificador anti logarítmico retornará la señal de voltaje a su rango original. Los amplificadores logarítmicos más sencillos pueden operar un rango dinámico en la señal de entrada de hasta cuatro décadas, en tanto que otros, más caros, pueden operar hasta siete décadas (un rango de cero a 120 dB).

Desde un punto de vista práctico, ¿Qué tanta exactitud puede esperarse en los amplificadores logarítmicos disponibles comercialmente? La respuesta depende del rango o número de décadas que pueda operar. Por ejemplo, el componente de logaritmo de razón mostrado en la figura 9-19a puede operar un rango de entrada de 6 décadas (1 nA a 1 mA). Su salida es $V_{out} = K \log_{10} (I_1/I_2)$.



(b) Total Error from LOG Amplifier, LOG100

Los amplificadores logarítmicos son indicados en aplicaciones que requieran pocos puntos porcentuales de exactitud y debe evitarse su uso en donde se requiere alta exactitud. En estos últimos casos, en aplicaciones biomédicas, las funciones logarítmicas se hacen por software en la computadora, a costo de tiempo de procesamiento.

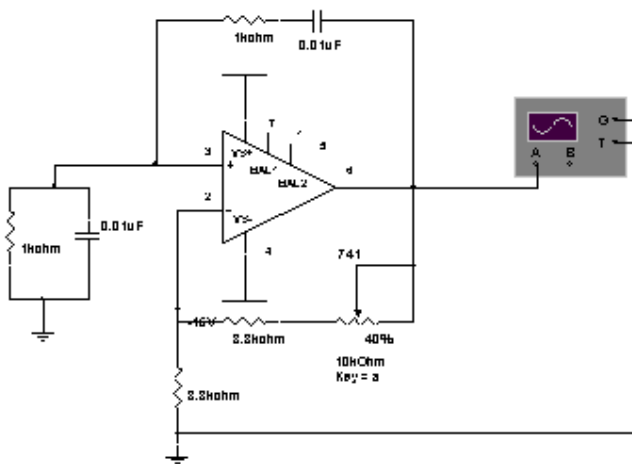
Los amplificadores logarítmicos y anti logarítmicos también son utilizados para realizar operaciones de multiplicación y división con señales analógicas.

Actividad práctica No. 10

OBJETIVOS:

- Comprobar el funcionamiento de un oscilador puente de Wien.
- Comprobar el funcionamiento de un oscilador de desplazamiento de fase.

Oscilador Puente de Wien



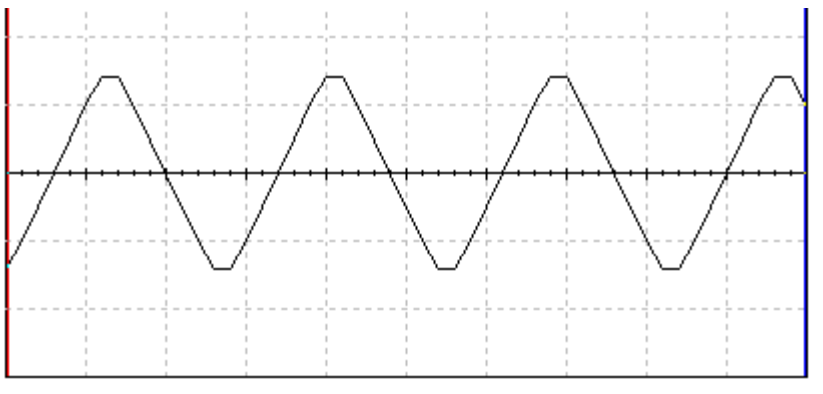
V.-PROCEDIMIENTO.

Implementar el circuito oscilador puente de wein. Conecte el osciloscopio en modo de CA para observar la señal de salida de Vo. Ajuste el potenciómetro Rp de 10 kΩ hasta que el circuito oscile y la distorsión de la señal de salida sea lo menos posible.

Tome las lecturas de amplitud y frecuencia de la señal de salida.

$V_o = 3.9$ volts

$f_o = 2725$ hertz



Observe con el osciloscopio, las señales de voltaje en las entradas inversora y no inversora del amplificador operacional. Compruebe que son aproximadamente iguales.

Registre esos valores.

$V^- = 1.1$ volts

$V^+ = 1.12$ volts

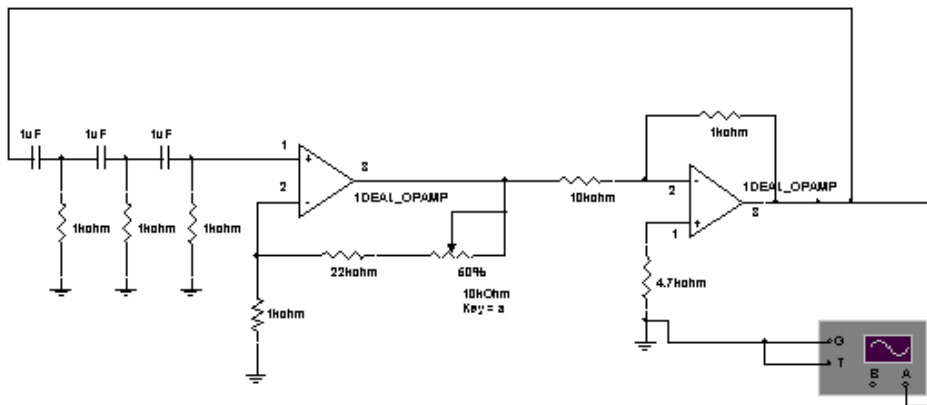
Reemplace C1 y C2 por capacitores de $0.022 \mu\text{F}$ y repita los pasos 2 y 3.

$V_o = 4$ volts

$f_o = 1320$ hertz

Oscilador de desplazamiento de fase.

El oscilador de desplazamiento de fase consiste de tres etapas RC y un amplificador de alta impedancia de entrada. El propósito de la red es proporcionar los 180° en la fase.



NOTA: En este circuito tuvimos problemas al conectarla con los valores de resistencias descritos, por lo que estuvimos haciendo pruebas y obtuvimos que al diagrama debíamos modificarle las siguientes resistencias, las cuales son, en lugar de la resistencia de $10 \text{ K}\Omega$ de la entrada inversora debemos poner una resistencia de 900Ω , a la resistencia de $1 \text{ K}\Omega$ de retroalimentación debemos cambiarla por una resistencia de $10 \text{ K}\Omega$, y para la resistencia de la entrada no inversora de $4.7 \text{ K}\Omega$ por una de 180Ω .

Conectar el osciloscopio en modo de CA para observar la señal de salida V_o . Ajuste el potenciómetro de $10 \text{ k}\Omega$ hasta que el circuito oscile y que la distorsión de la señal de salida sea lo menos posible.

Tome lectura de la amplitud y frecuencia de la señal de salida.

1.-Implementar el circuito oscilador puente de Wien de la figura 1.a.

2.-Conectar el osciloscopio en modo CA para observar la señal de salida Vo. Ajuste el potenciómetro Rp de 10K hasta que el circuito oscile y que la distorsión de la señal de salida sea lo menos posible.

3.-Tome lectura de la amplitud y frecuencia de la señal de salida.

$$V_o = \underline{7.2 \text{ volts}}$$

$$f_o = \underline{14.4 \text{ KHz}}$$

4.-Observe con el osciloscopio, las señales de voltaje en las entradas inversora y no inversora del amplificador operacional. Compruebe que son aproximadamente iguales.

Registre los valores.

$$V_{\text{inversora}} = \underline{2.7 \text{ volts}}$$

$$V_{\text{no inversora}} = \underline{2.7 \text{ volts}}$$

5.-Reemplace C1 y C2 por capacitores de $0.022\mu\text{F}$ y repita los pasos 2y 3.

$$V_o = \underline{8.3 \text{ volts}}$$

$$f_o = \underline{7.64 \text{ KHz}}$$

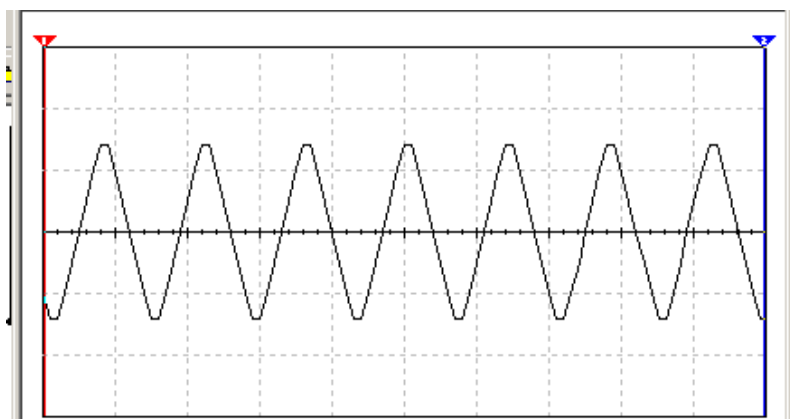
6.-Implemente el circuito oscilador de desplazamiento de fase de la figura 1.b.

7.-Conecte el osciloscopio de modo de CA para observar la señal de salida Vo. Ajuste el potenciómetro de 10K hasta que el circuito oscile y que la distorsión de la señal de salida sea lo menos posible.

8.-Tome lectura de amplitud y frecuencia de la señal de salida.

$$V_o = \underline{30 \text{ volts}}$$

$$f_o = \underline{3333.33 \text{ Hz}}$$



$V_o = 2.1$ volts

$f_o = 870$ hertz

3.5 Filtro paso bajo

Un filtro pasa bajo corresponde a un filtro caracterizado por permitir el paso de las frecuencias más bajas y atenuar las frecuencias más altas. El filtro requiere de dos terminales de entrada y dos de salida, de una caja negra, también denominada cuadripolo o bipuerto, así todas las frecuencias se pueden presentar a la entrada, pero a la salida solo estarán presentes las que permita pasar el filtro. De la teoría se obtiene que los filtros están caracterizados por sus funciones de transferencia, así cualquier configuración de elementos activos o pasivos que consigan cierta función de transferencia serán considerados un filtro de cierto tipo.

En particular la función de transferencia de un filtro pasa bajo de primer orden corresponde

a $H(s) = k \frac{1}{1 + \frac{s}{\omega_c}}$, donde la constante k es sólo una ponderación correspondiente a la ganancia del filtro, y la real importancia reside en la forma de la función de

transferencia $\frac{1}{1 + \frac{s}{\omega_c}}$, la cual determina el comportamiento del filtro. En la función de transferencia anterior ω_c corresponde a la frecuencia de corte propia del filtro, aquel valor de frecuencia para el cual la amplitud de la señal de entrada se atenúa 3 dB.

De forma análoga al caso de primer orden, los filtros de pasa bajo de mayor orden también se caracterizan por su función de transferencia, por ejemplo la función de transferencia de un

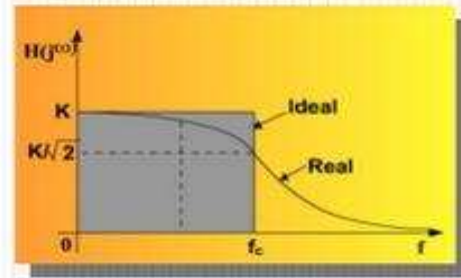
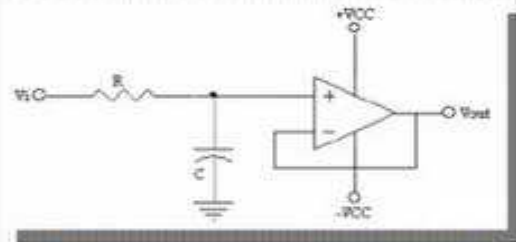
filtro paso bajo de segundo orden corresponde a $H(s) = K \frac{\omega_o^2}{s^2 + 2\xi\omega_o s + \omega_o^2}$, donde ω_o es la frecuencia natural del filtro y ξ es el factor de amortiguamiento de este.

Los filtros son usados para eliminar de cierta forma señales indeseadas. A continuación se presenta el diseño de un filtro paso bajo y paso alto con amplificadores operacionales.

Los **FILTROS PASO BAJO** son usados para dejar pasar como su nombre lo indica frecuencias bajas.

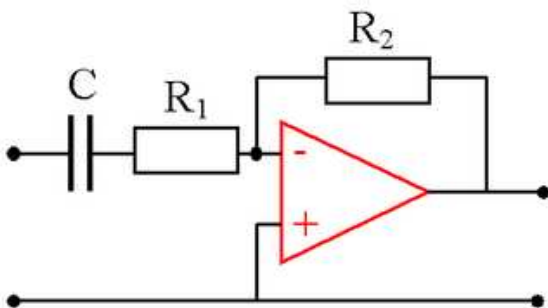
Sólo permiten el paso a frecuencias inferiores a la de corte f_c , las demás son atenuadas

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$



3.6 Filtro paso alto

Se trata de un filtro que permita el paso de las frecuencias superiores a una frecuencia conocida llamada frecuencia central (f_c) atenuando enormemente las frecuencias inferiores a dicha frecuencia central. En los gráficos inferiores se puede observar la respuesta ideal para un filtro de este tipo y la respuesta real lograda debido a las limitaciones de la electrónica; y es que ya se sabe: en electrónica no existe nada ideal. Su símbolo es el que se muestra en el dibujo de la derecha. Para este caso la frecuencia de corte estará establecida en $f_c = 1 \text{ KHz}$.



Un **filtro activo** es un filtro electrónico analógico distinguido por el uso de uno o más componentes activos (que proporcionan una cierta forma de amplificación de energía),

que lo diferencian de los filtros pasivos que solamente usan componentes pasivos. Típicamente este elemento activo puede ser un tubo de vacío, un transistor o un amplificador.

Un filtro activo puede presentar ganancia en toda o parte de la señal de salida respecto a la señal de entrada. En su implementación se combinan elementos activos y pasivos, siendo frecuente el uso de amplificadores, que permite obtener resonancia y un elevado factor Q sin el empleo de bobinas.

Actividad práctica No. 11

Diseño de filtros activos

OBJETIVOS.

- Practicar el diseño de filtros activos pasa bajos y pasa altos usando tablas.
- Observar el comportamiento de los filtro Butterworth y Chebyshev.

Filtro paso bajo Butterworth.

Los filtros Butterworth tienen una forma de respuesta a la frecuencia de tal manera que es plana en la banda de paso. En la frecuencia de paso f_p la ganancia disminuye 3 db.

La función de transferencia para un filtro pasa bajo normalizado con $W_P = 1$ rad/seg es de la forma:

$$H(s) = \frac{1}{B_n(s)}$$

En donde:

$$B_1(s) = s + 1$$

$$B_2(s) = s^2 + 1.414s + 1$$

$$B_3(s) = s^3 + 2s^2 + 2s + 1$$

En la práctica hemos realizado un filtro Butterworth de tercer orden, lo cual nos genera una atenuación de 60 dB/década. La respuesta en frecuencia obtenida en la simulación es muy similar a la de la práctica, solo que como los capacitores no son exactos la frecuencia de corte es un poco después de lo calculada.

Procedimiento de diseño

Dados A_p , A_s , f_p , y f_s .

1.- Determinar el orden del filtro

$$E_1 = \sqrt{10^{0.1A_p} - 1}$$

$$E_1 = \sqrt{10^{0.1A_s} - 1}$$

$$n = \frac{\log(E_2 / E_1)}{\log(f_s / f_p)} \quad \text{para el pasa bajo}$$

$$n = \frac{\log(E_2 / E_1)}{\log(f_p / f_s)} \quad \text{para el pasa alto}$$

2.- Determinar los valores normalizados de los componentes, a partir de la tabla 1.

Por ejemplo, para N = 5

Filtro	1er Etapa F. 3er orden	2da Etapa F. 2do Orden
Pasa Bajo	C1=1.753F C2=1.354F C3=0.4214F	C1=3.235F C2=0.3090
Pasa Alto	R1=1/1.753Ω R2=1/1.354Ω R3=1/0.4214Ω	R1=1/3.235Ω R2=1/0.3090 Ω

3.- Efectuar un escalamiento de frecuencia.

Consiste en dividir las capacitancias por $2\pi f_p$

$$C_i \Rightarrow \frac{C_i}{2\pi f_p} \quad \text{para } i = 1, 2, \text{etc}$$

4.- Efectuar un escalonamiento de impedancias.

Escoger un factor de escala K para llevar el valor de la R_i más pequeña a un valor razonable.

Después multiplicar las resistencias por ese factor y dividir las capacitancias por el máximo factor.

$$R_i \leftarrow R_i K$$

$$C_i \leftarrow \frac{C_i}{K}$$

Ejemplo de diseño

Diseñar un filtro pasa bajo que cumpla con las siguientes especificaciones:

$$A_p=3\text{dB} \quad \text{a} \quad f_p=500\text{Hz}$$

$$A_s=50\text{dB} \quad \text{a} \quad f_s=3\text{KHz}$$

Solución:

$$E1=.99$$

$$E2=316.22$$

$$n=3.21 \text{ tomar } n=4$$

Elementos del circuito (Dos etapas de 2do Orden)

1ra etapa

$$C1=1.082\text{F}$$

$$C2=0.9241\text{F}$$

2da etapa

$$C1=2.613\text{F}$$

$$C2=0.3825\text{F}$$

Escalamiento de frecuencia

$$W_p=2\pi f_p=2\pi(500)=1000\pi$$

1er etapa

$$C1=1.082/1000\pi=0.344\times 10^{-3}\text{F}$$

$$C2=0.9241/1000\pi=0.294\times 10^{-3}\text{F}$$

2da etapa

$$C1=2.613/1000\pi=0.83\times 10^{-3}\text{f}$$

$$C2=0.3825/1000\pi=0.121\times 10^{-3}\text{F}$$

Escalamiento de impedancias factor de escala $K=10^3$

1er filtro

$$R1=R2=1K\Omega$$

$$C1=0.344\mu F \text{ (.33}\mu F\text{)}$$

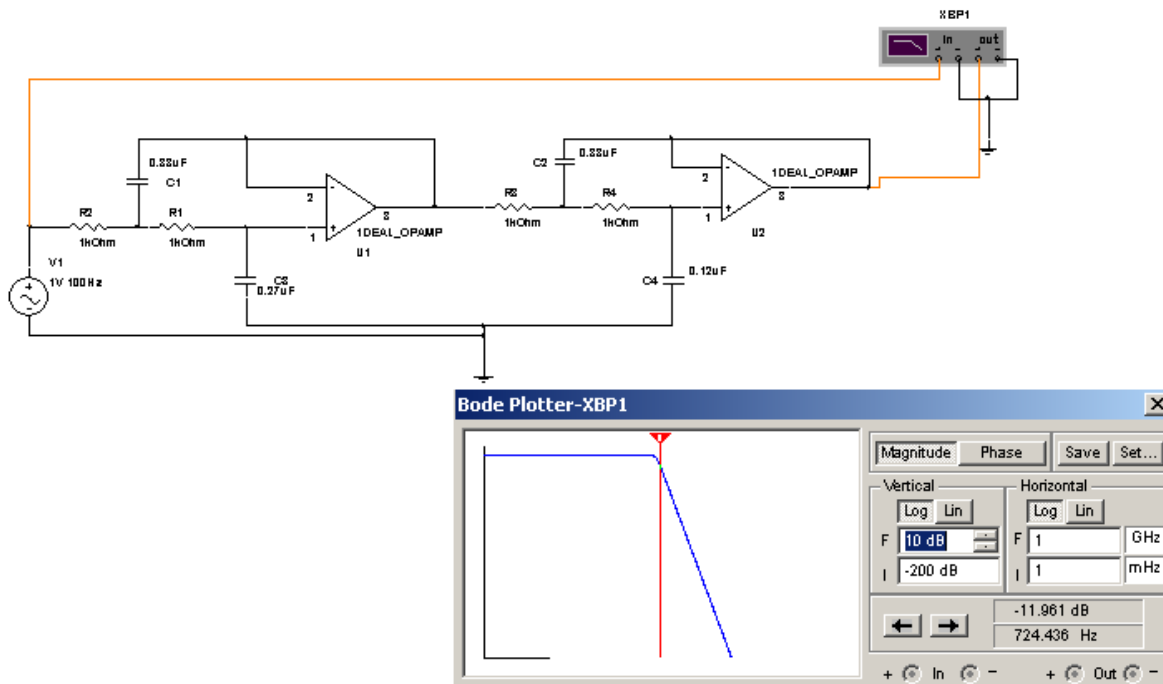
$$C2=0.294\mu F \text{ (.27}\mu F\text{)}$$

2do Filtro

$$R1=R2=1K\Omega$$

$$C1=0.83\mu F$$

$$C2=121\mu F \text{ (.12}\mu F\text{)}$$



Filtro paso alto Chebyshev

Los filtros Chebyshev tienen en su respuesta a la frecuencia un rizado en la banda de paso.

Es factible que para una máxima especificación de diseño, el orden del filtro sea menor que el de un filtro Butterworth.

Procedimiento de diseño

Dados A_p , A_s , f_p y f_s .

1.- Determinar el orden N del filtro para satisfacer las especificaciones; usar las curvas normalizadas de la figura 6, las cuales son para un rizado de 1db pero sirven para otros valores de rizados.

2.- Con el valor de N y el rizado permitido, determinar los valores normalizados de los componentes, a partir de la tabla 2, similar al diseño Butterworth.

3.- Efectuar un escalamiento de frecuencia.

$$R_i \leftarrow \frac{R_i}{2\pi f_p}$$

4.- Efectuar un escalonamiento de impedancias seleccionar factor de escala K y luego

$$R_i \leftarrow R_i K$$

$$C_i \leftarrow \frac{C_i}{K}$$

Ejemplo de diseño

Diseñar un filtro pasa alto Chebyshev con las siguientes especificaciones.

$A_p=3\text{dB}$ a $f_p=1000\text{Hz}$

$A_s=75\text{dB}$ a $f_s=250\text{Hz}$

Solución:

Razón de frecuencias $1000/250=4$; con este valor en la figura 6, se encuentra que un Filtro de orden $N=5$ tiene una atenuación de 80dB, por lo que satisface el requerimiento de 75 dB.

Considerando un rizado de 0.5 dB y $N=5$ de la tabla 2ª determinar los componentes normalizados para los circuitos de la figura.

1ra etapa

$$R_1 = \frac{1}{6.842} = 0.146\Omega$$

$$R_2 = \frac{1}{3.317} = 0.301\Omega$$

$$R_3 = \frac{1}{0.303} = 3.297\Omega$$

2da etapa

$$R_1 = \frac{1}{9.462} = 0.106\Omega$$

$$R_2 = \frac{1}{0.1149} = 8.741\Omega$$

Escalamiento de frecuencia

$$W_p = 2\pi f_p = 2000\pi$$

1ra etapa

$$R_1 = 2.32 \times 10^{-5} \Omega$$

$$R_2 = 4.79 \times 10^{-5} \Omega$$

$$R_3 = 52.5 \times 10^{-5} \Omega$$

$$R_i \leftarrow \frac{R_i}{2000\pi}$$

2da etapa

$$R_1 = 1.69 \times 10^{-5} \Omega$$

$$R_2 = 139.2 \times 10^{-5} \Omega$$

Escalamiento de impedancias

$$K = 10e8$$

$$R_1 = 2.32 K\Omega$$

$$1ra\ etapa \quad R_2 = 4.79 K\Omega \quad C_1 = C_2 = 1 \times 10^{-8} = 0.01 \mu F$$

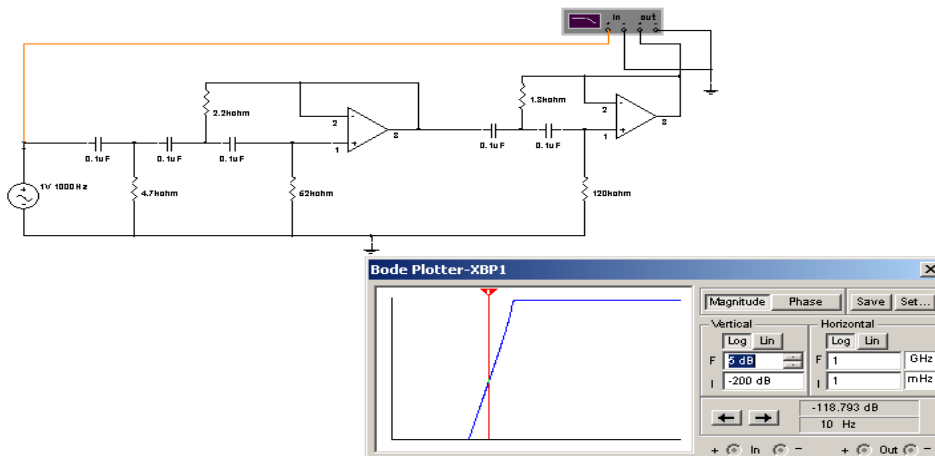
$$R_3 = 52.5 K\Omega$$

2da etapa

$$R_1 = 1.69 K\Omega$$

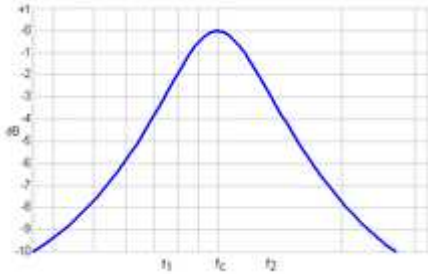
$$R_2 = 139.2 K\Omega \quad C_1 = C_2 = 1 \times 10^{-8} = 0.01 \mu F$$

Los elementos del circuito corresponden con los valores obtenidos en este ejemplo de diseño.



3.7 Filtro paso banda

Un filtro paso banda es un tipo de filtro electrónico que deja pasar un determinado rango de frecuencias de una señal y atenúa el paso del resto.



*Respuesta frecuencial de un filtro paso banda

Implementación

Un circuito simple de este tipo de filtros es un circuito RLC (resistor, bobina y condensador) en el que se deja pasar la frecuencia de resonancia, que sería la frecuencia central (f_c) y las componentes frecuenciales próximas a ésta, en el diagrama hasta f_1 y f_2 . No obstante, bastaría con una simple red resonante LC.

Otra forma de construir un filtro paso banda puede ser usar un filtro paso bajo en serie con un filtro paso alto entre los que hay un rango de frecuencias que ambos dejan pasar. Para ello, es importante tener en cuenta que la frecuencia de corte del paso bajo sea mayor que la del paso alto, a fin de que la respuesta global sea paso banda (esto es, que haya solapamiento entre ambas respuestas en frecuencia).

Un filtro ideal sería el que tiene unas bandas pasante y de corte totalmente planas y unas zonas de transición entre ambas nulas, pero en la práctica esto nunca se consigue, siendo normalmente más parecido al ideal cuando mayor sea el orden del filtro, para medir cuanto de "bueno" es un filtro se puede emplear el denominado factor Q. En filtros de órdenes altos suele aparecer un rizado en las zonas de transición conocido como efecto Gibbs.

Un filtro paso banda más avanzado sería los de frecuencia móvil, en los que se pueden variar algunos parámetros frecuenciales, un ejemplo es el circuito anterior RLC en el que se sustituye el condensador por un diodo varicap o varactor, que actúa como condensador variable y, por lo tanto, puede variar su frecuencia central.

Aplicaciones

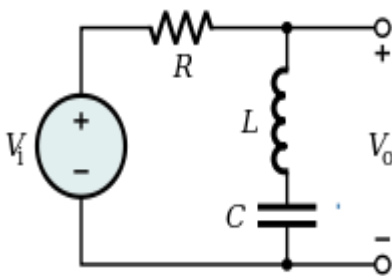
Estos filtros tienen aplicación en ecualizadores de audio, haciendo que unas frecuencias se amplifiquen más que otras.

Otra aplicación es la de eliminar ruidos que aparecen junto a una señal, siempre que la frecuencia de ésta sea fija o conocida.

Fuera de la electrónica y del procesamiento de señal, un ejemplo puede ser dentro del campo de las ciencias atmosféricas, donde son usados para manejar los datos dentro de un rango de 3 a 10 días.

3.8 Filtro rechazo de banda

El filtro suprime banda, también conocido como «filtro elimina banda», «filtro notch», «filtro trampa» o «filtro de rechazo de banda» es un filtro electrónico que no permite el paso de señales cuyas frecuencias se encuentran comprendidas entre las frecuencias de corte superior e inferior.



Esquema genérico de un filtro simple

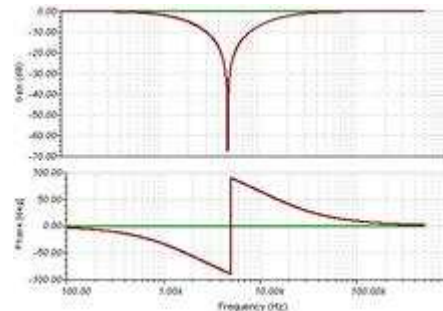


Diagrama de Bode

Tipos de implementación

Pueden implementarse de diversas formas. Una de ellas consistirá en dos filtros, uno paso bajo cuya frecuencia de corte sea la inferior del filtro elimina banda y otro paso alto cuya frecuencia de corte sea la superior del filtro elimina banda. Como ambos son sistemas lineales e invariantes, la respuesta en frecuencia de un filtro banda eliminada se puede obtener como la suma de la respuesta paso bajo y la respuesta paso alto (hay que tener en cuenta que ambas respuestas no deben estar solapadas para que el filtro elimine la banda que interesa suprimir), ello se implementará mediante un sumador analógico, hecho habitualmente con un amplificador operacional.

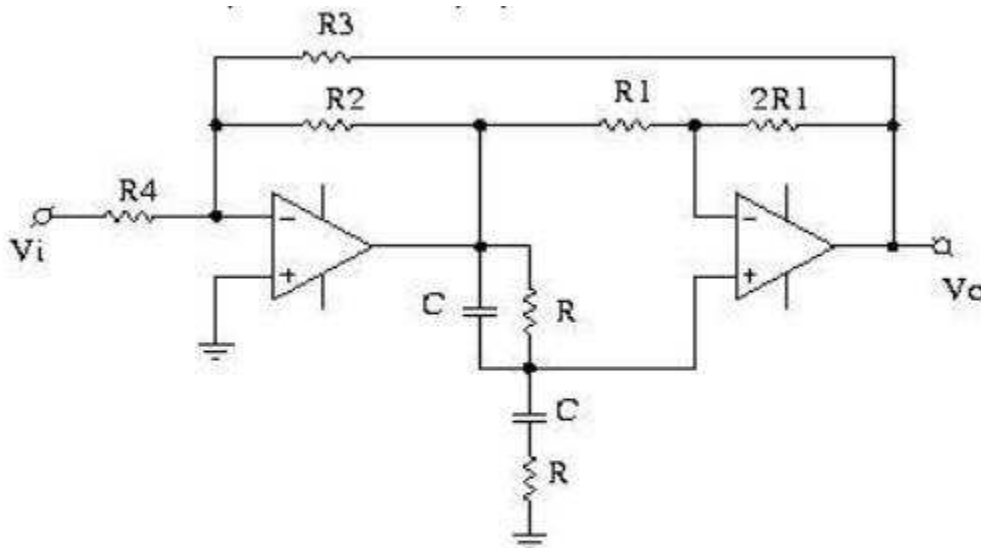
Otra forma más sencilla, si bien presenta una respuesta en frecuencia menos selectiva, sería la de colocar lo que se conoce como «circuito trampa». En efecto, si unimos los dos bornes (la considerada *activo* y la considerada *masa*) con un dipolo resonante LC serie o paralelo, la respuesta global sería la de un filtro elimina banda (el mínimo de la respuesta estaría en la frecuencia de resonancia del dipolo resonante).

Actividad práctica No. 12

Filtro rechazo de banda

*Introducción.

Cuando hay que realizar un filtro elimina-banda con un factor de calidad superior a 0.25, tenemos que echar mano de un filtro con amplificador operacional. Por otro lado, tendremos que utilizar un modelo especializado en este tipo de respuesta ya que las células Rauch o Sallen-Key combinadas no nos podrán dar la selectividad requerida sin ajustar muchos componentes después de realizar los cálculos. Es por ello por lo que utilizaremos un filtro Wien-Robinson que es uno de los que podría servirnos.



Este es el esquema del filtro que se rige por las ecuaciones siguientes:

$$R = \frac{1}{2\pi f_m C} \rightarrow \alpha = 3Q - 1 \rightarrow \beta = -A_0 \cdot 3Q \rightarrow R_3 = \frac{R_2}{\alpha} \rightarrow R_4 = \frac{R_2}{\beta}$$

En esta práctica se pide realizar lo siguiente:

a) Calcular los componentes del filtro para las siguientes frecuencias (depende del grupo):

1. 50Hz
2. 100Hz
3. 150Hz
4. 400Hz

5. 1Khz

6. 2Khz

7. 3Khz

8. 4Khz

En todos los casos el factor de calidad será $Q=10$

b) Simular el circuito comprobando el resultado con la curva de respuesta en frecuencia.

c) Montar el circuito y comprobar que a la frecuencia indicada se elimina la señal que introducimos a la entrada.

ETAPA 4 APLICACIONES CON OPAM

Competencia profesional

- Desarrollar circuitos que funcionen en fuentes electrónicas para la prevención y corrección de fallas de circuitos que utilizan fuentes de poder.

Elementos de la competencia profesional

- a1. Conocer los elementos fundamentales de electrónica para aplicarlos en prácticas dentro del taller.
- a2. Conocer tipos de técnicas sobre la creación de circuitos impresos para construir fuentes de poder.
- a3. Aplicar los instrumentos del taller electrónico, fuentes y medidores para medir los parámetros y señalamientos de los circuitos electrónicos.

Competencias genéricas RIEMS

- Escucha, interpreta y emite mensajes pertinentes en distintos contextos mediante la utilización de medios, códigos y herramientas apropiados
- Desarrolla innovaciones y propone soluciones a partir de métodos establecidos.
- Participa y colabora de manera efectiva en equipos diversos

Atributos:

- Expresa ideas y conceptos mediante representaciones lingüísticas, matemáticas o gráficas.
- Identifica las ideas clave en un texto o discurso oral e infiere conclusiones a partir de ellas.
- Maneja las tecnologías de la información y la comunicación para obtener información y expresar ideas.
- Sigue instrucciones y procedimientos de manera reflexiva, comprendiendo como cada uno de sus pasos contribuye al alcance de un objetivo.
- Construye hipótesis y diseña y aplica modelos para probar su validez.
- Sintetiza evidencias obtenidas mediante la experimentación para producir conclusiones y formular nuevas preguntas
- Utiliza las tecnologías de la información y comunicación para procesar e interpretar información.
- Asume una actitud constructiva, congruente con los conocimientos y habilidades con los que cuenta dentro de distintos equipos de trabajo.

Rasgos:

- Comunicación
 - Maneja y comprende las Tecnologías de la Información y Comunicación para aplicarlas de manera crítica y objetiva, en las diferentes áreas del conocimiento.
 - Usa códigos lingüísticos en distintos contextos lógicos y matemáticos que le permiten expresar ideas con sentido ético.
- Creatividad
 - Diseña, analiza y explica proyectos aplicando creatividad e innovación en la resolución de problemas tomando como base los principios, leyes y conceptos
- Cooperación
 - Participa en tareas asignadas, tanto de manera individual como grupal con respeto a la diversidad de ideas.

Competencias generales del ME

- Maneja las tecnologías de la información y la comunicación como herramienta para el acceso a la información y su transformación en conocimiento, así como para el aprendizaje y trabajo colaborativo con técnicas de vanguardia que le permitan su participación constructiva en la sociedad
- Utiliza los métodos y técnicas de investigación tradicionales y de vanguardia para el desarrollo de su trabajo académico, el ejercicio de su profesión y la generación de conocimientos.

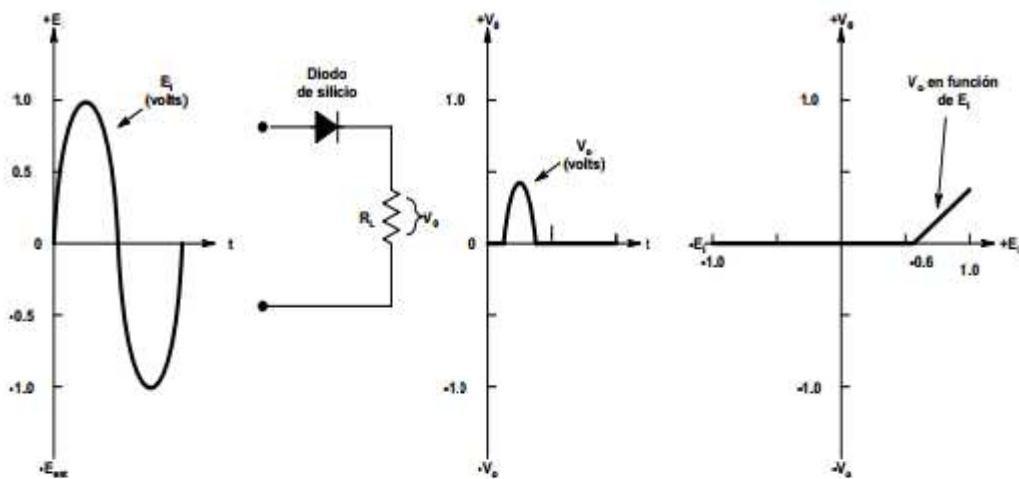
Atributos:

- Expresa conceptos e ideas, de manera correcta de forma oral y escrita en su lengua materna
- Elige los procedimientos adecuados en la resolución de un problema
- Procesa información utilizando las tecnologías de la información y comunicación
- Formula y concluye resultados a partir de las evidencias obtenidas
- Identifica los rumbos a seguir en el desarrollo de cualquier problema a través del trabajo colaborativo
- Propone sus puntos de vista a la vez que respeta los de sus compañeros

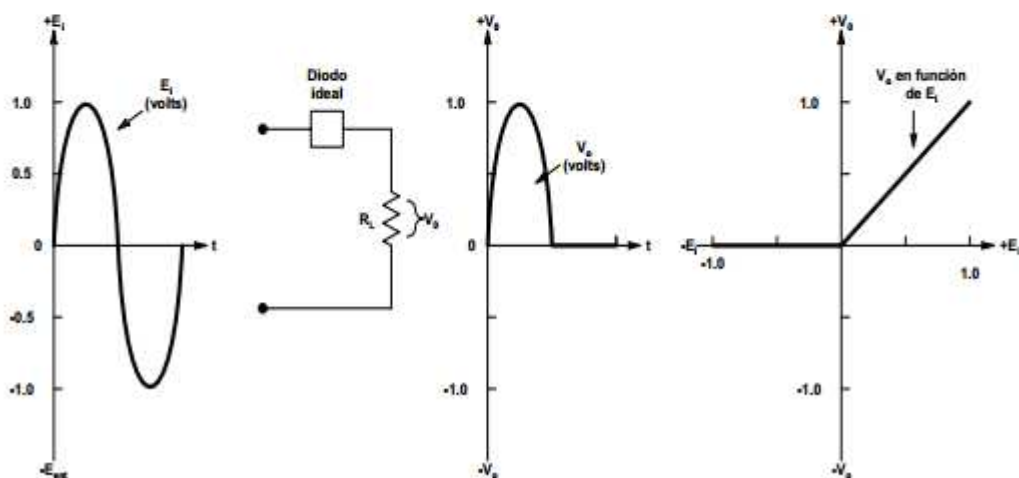
Trabaja y participa con una actitud positiva en los diferentes roles de las tareas asignadas.

4.1 Rectificador de precisión

La principal limitación de los diodos de silicio comunes es que no son capaces de rectificar voltajes por debajo de 0.6 V. Por ejemplo, en la figura 1(a) se muestra que V_o no responde a entradas positivas inferiores a 0.6V, para el caso de un rectificador de media onda construido con un diodo de silicio ordinario. En la figura 1(b) se muestran las formas de onda de un rectificador de media onda construido con un diodo ideal. Siempre que haya voltajes.



(a) Los diodos reales no son capaces de rectificar pequeños voltajes de ca debido a la caída de Voltaje del diodo de 0.6V.



Un circuito rectificador de media onda lineal, o de precisión, Rectifica con exactitud cualquier señal de ca, independientemente de la amplitud y se comporta como diodo ideal

Figura 1. Un diodo común de silicio necesita 0.6 V de polarización directa para poder conducir. Por lo tanto, no es capaz de rectificar voltajes de CA pequeños. Mediante un circuito rectificador de media onda de precisión se elimina esta limitación de entrada positivos se producirá un voltaje de salida, aun cuando dichos voltajes estén por debajo de 0.6 V. Para diseñar un circuito que se comporte como diodo ideal se utiliza un amplificador operacional y

dos diodos comunes, se obtiene así un poderoso circuito capaz de rectificar señales de entrada, incluso de unos cuantos milivolts.

El bajo costo de este circuito, equivalente a un diodo ideal, permite utilizarlo de manera sistemática en diversas aplicaciones. Estas pueden clasificarse de manera general en: rectificadores de media onda lineal y rectificadora de onda completa de precisión.

1. Rectificadores de media onda lineal. El circuito rectificador de media onda lineal produce una salida que depende de la magnitud y polaridad del voltaje de entrada. Más adelante se mostrará cómo se modifica el circuito rectificador de media onda lineal a fin de usarlo en diversas aplicaciones de procesamiento de señales.

Al rectificador de media onda lineal se le conoce también como rectificador de media onda de precisión y su comportamiento es el de un diodo ideal.

2. Rectificadores de onda completa de precisión. Mediante este circuito se obtiene una salida proporcional a la magnitud de la entrada, aunque no a la polaridad de ésta. Por ejemplo, hay salidas que son positivas a 2 V para entradas de +2V ó -2V. Dado que el valor absoluto de +2 V y de -2 V, al rectificador de onda completa de precisión también se le conoce como circuito de valor absoluto.

Entre las aplicaciones de los rectificadores lineales de media onda y de onda completa de precisión figuran:

1. Detección de señales de amplitud modulada.
2. Circuitos de zona muerta.
3. Circuitos recortadores o de límite preciso.
4. Interruptores de corriente.
5. Formadores de onda.
6. Indicadores de valor pico.
7. Circuitos de muestreo y retención.
8. Circuitos de valor absoluto
9. Circuitos promediadores
10. Detectores de polaridad de señal

11. Convertidores de ca a cd

4.2 Multivibradores con amplificador operacional

Un multivibrador es un circuito oscilador capaz de generar una onda cuadrada. Según su funcionamiento, los multivibradores se pueden dividir en dos clases:

- De funcionamiento continuo, estable o de oscilación libre: genera ondas a partir de la propia fuente de alimentación.
- De funcionamiento impulsado: a partir de una señal de disparo o impulso sale de su estado de reposo.
- Si posee dos de dichos estados, se denomina biestable.
- Si poseen uno, se le llama monoestable.

En su forma más simple son dos sencillos transistores realimentados entre sí. Usando redes de resistencias y condensadores en esa realimentación se pueden definir los periodos de inestabilidad.

Un circuito integrado multivibrador muy popular es el 555, que usa un sofisticado diseño para lograr una gran precisión y flexibilidad con muy pocos componentes externos.

Los multivibradores son en realidad osciladores, pero su forma de onda de salida no es una señal senoidal, sino que generan una onda cuadrada.

Existen dos clases de multivibradores:

-De funcionamiento continuo, también llamados libres, recurrentes o estables, mucho más conocidos por éste último nombre, que generan ondas sin la necesidad de más excitación exterior que la propia fuente de alimentación.

-De funcionamiento excitado, que requieren una tensión exterior de disparo o de excitación para salir de unas condiciones estáticas o de reposo.

Multivibrador estable.

Un multivibrador estable es un oscilador de relajación; su frecuencia de salida depende de la carga y descarga de condensadores. Estas cargas y descargas son provocadas por la conmutación de sendos transistores.

Si dividimos un multivibrador estable en dos verticalmente, se puede observar que es un circuito simétrico, desde el punto de vista geométrico. Si hacemos $T1=T2$, $R1=R4$, $R2=R3$ y

$C1=C2$, la forma de onda de cualquiera de las salidas será simétrica, es decir, la duración de ambos niveles de tensión de cada ciclo será idéntica.

La frecuencia de salida viene determinada por los valores de $C1$, $C2$, $R2$ y $R3$; si se rompe la igualdad, expuesta anteriormente, entre dichos componentes, la forma de onda de salida será asimétrica.

Las formas de onda de salida V_{o1} y V_{o2} están desfasadas 180° ; mientras una está en su nivel superior la otra está en el inferior. Esto es debido a la situación de $T1$ en corte y $T2$ en saturación, y viceversa.

Funcionamiento

Si consideramos un instante en el que $T2$ esté en saturación y $T1$ en corte, $C1$ se empezará a cargar a través de $T2$ y $R1$, y, como el punto de unión de $C1$ y $R2$ está conectado a la base de $T2$, llegará un momento en que la tensión en la base de $T2$ es insuficiente para que $T2$ permanezca saturado, con lo que al conducir menos la tensión V_{o2} aumentará, iniciando el proceso descrito anteriormente pero en sentido contrario, es decir, llevando a $T1$ a saturación y $T2$ al corte.

Mientras $C1$ adquiría carga para provocar tal cambio, $C2$ se va descargando.

Este proceso se mantiene mientras estemos suministrando tensión al circuito de esta forma:

Las condiciones iniciales son estas:

$C1$ estaba prácticamente descargado.

$C2$ estaba totalmente cargado.

$T1$ estaba en corte

$T2$ estaba en saturación

En estas circunstancias, $C2$ encuentra un camino de descarga a través de $R3$ y $T2$ y $C1$ se carga a través de la unión base-emisor de $T2$ y de $R1$.

Momentáneamente, la base de $T1$ se encuentra sometida a un potencial de $-V_{cc}$, aproximadamente, respecto a masa. Obsérvese la polaridad con que se había cargado $C2$, al conectar su terminal positivo a masa a través de $T2$, al inicio de la descarga, en la base de $T1$ se reflejan $-V_{cc}$ voltios, aproximadamente, que es la carga de $C2$.

A partir del instante en que $T2$ pasa a saturación, $C2$ se empieza a descargar; tardará un tiempo

$$T2 = 0.69 \cdot C2 \cdot R3$$

En un tiempo menor se habrá cargado C1, ya que

$$C1 = C2 \text{ y } R1 \ll R3$$

Una vez que C2 se ha descargado totalmente empezará a cargarse en sentido contrario, esto es, el punto de unión de C2 y R3 será ligeramente positivo, por lo que también se aplicará polarización directa a la base de T1, que provocará el basculamiento del circuito y que sitúa a T1 en saturación y a T2 en corte, comenzando entonces C2 a cargarse a través de su circuito de carga y C1 a descargarse a través de R2 y T1.

De forma análoga al proceso anterior, la base de T2 se encuentra en el instante de la conmutación sometida a un potencial negativo próximo a $-V_{cc}$ que va disminuyendo según se descarga C1; lo hará en un tiempo

$$T1 = 0.69 \cdot R2 \cdot C1$$

Por la razón expuesta anteriormente, C2 se cargará en un tiempo menor que T1.

Una vez extinguida la carga de C1, éste adquiere una pequeña carga en sentido contrario, que hará de nuevo conmutar al circuito, pasando T2 a saturación y T1 a corte, con lo que se inicia un nuevo ciclo.

Por todo esto se deduce que un ciclo tendrá un periodo

$$T = t2 + t1$$

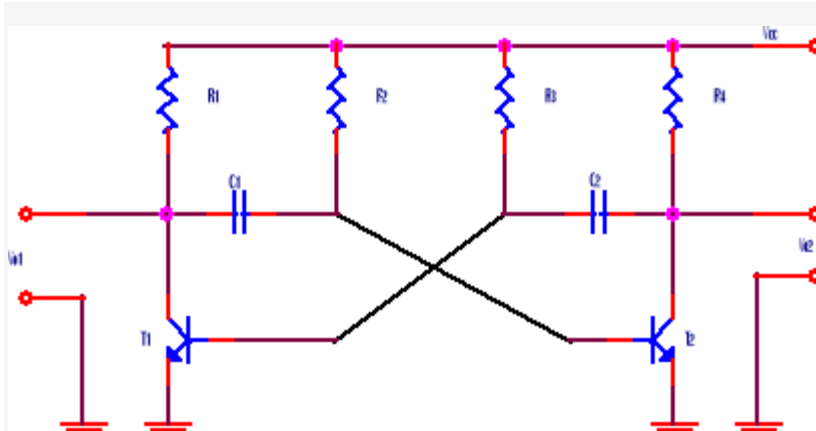
como $C1 = C2$ y $R2 = R3$, tendremos que

$$t = 2 \cdot (0.69 \cdot R2 \cdot C1) = 1.38 \cdot R2 \cdot C1$$

Esta expresión es cierta sólo en el caso de circuitos simétricos; en caso contrario, la duración de un ciclo será

$$T = t1 + t2 = 0.69 \cdot R2 \cdot C1 + 0.69 \cdot R3 \cdot R2$$

Por lo que, en cualquiera de los casos, la frecuencia de oscilación es conocida con facilidad.



Multivibrador astable.

Dentro de los multivibradores de funcionamiento excitado se distinguen dos tipos:

Monoestable, que permanecen en un estado determinado mientras no se les aplique una señal exterior que les haga cambiar al estado contrario para, posteriormente, regresar de nuevo al de reposo y permanecer en él hasta la presencia de un nuevo impulso de excitación.

Biestable, que pueden permanecer en cualquiera de los dos estados de forma indefinida, si no se les aplica una señal exterior que les haga cambiar al estado contrario.

El multivibrador monoestable no es estrictamente un oscilador, pero en determinadas circunstancias se puede comportar como tal, aunque siempre controlado por una señal exterior. El multivibrador monoestable es muy similar al astable, como podemos observar.

La sustitución del condensador C2 por la resistencia R3 es lo que le permite que el circuito permanezca en un estado concreto, esto es, T1 en corte y T2 en saturación, luego, $V_{o1} = V_{cc}$ y $V_{o2} = 0V$.

Cuando se aplica un impulso a V_d , T1 pasa a conducir y T2 al corte; en este estado estará un tiempo determinado por R2 y C1, y volverá de nuevo al estado primitivo.

Si la señal V_d es una señal que se repite a intervalos constantes, la señal de salida ofrecerá una frecuencia constante.

Funcionamiento

Si suponemos inicialmente T2 en saturación, debido a la ausencia de tensión en la base de T1, éste permanecerá en corte ya que $V_{o2} = 0$. En estas circunstancias, C1 se carga a través de R1 y de la unión base-emisor de T2 y el circuito permanece en esta situación indefinidamente.

Si aplicamos un impulso de amplitud suficiente en V_d , T1 pasará a saturación, por lo que V_{o1} se hará prácticamente 0 y en la base de T2 se reflejará una tensión negativa de valor próximo a $-V_{cc}$ que hará que T2 pase al corte; por ello V_{o2} tomará un valor próximo a V_{cc} y la base de T1 permanezca en saturación.

Desde el instante en que T1 pasa a saturación, C1 comienza a descargarse a través de R2 y T1 y lo hará en un tiempo

$$T = 0.69 \cdot R2 \cdot C1$$

Una vez descargado empezará a cargarse en sentido contrario, esto es, la placa conectada a la base de T2 se hará positiva y una vez alcanzada tensión suficiente en ese punto, T2 pasará a saturación, por lo que V_{o2} se hace 0 y, de nuevo, T1 pasa al corte hasta la aparición de un nuevo impulso de disparo en V_d .

Actividad práctica No. 13

Multivibrador biestable

Objetivos:

- Determinar los componentes básicos y las configuraciones típicas de un multivibrador biestable.
- Reconocer el mecanismo de funcionamiento y las formas de onda asociadas a la operación del biestable.
- Deducir las ecuaciones de diseño de un biestable con amplificador operacional.
- Diseñar un biestable con el operacional LM324
- Establecer las características de las señales de disparo y los circuitos usualmente empleados en la conmutación de biestables.
- Reconocer configuraciones típicas con dispositivos integrados.
- Establecer el mecanismo de funcionamiento e identificar tanto los componentes básicos, como las formas de ondas asociadas a las operaciones de un monoestable.
- Determinar las ecuaciones de diseño de un monoestable con un LM555.
- Comparar los resultados teóricos y prácticos e indicar posibles aplicaciones prácticas de los circuitos estudiados.

En la figura 1, se ilustra el esquema de un multivibrador biestable basado en un amplificador operacional del tipo LM324, alimentado dualmente con $V_{cc} = \pm 12V$ $V_{ref} = 5 V$. Si $V_o = \pm 11V$, $V_{z1} = V_{z2} = 9 V$ y la señal de disparo es un tren de pulsos rectangulares de 500 Hz, aplicada ya sea a la entrada V_s o V_r . Explique el funcionamiento del circuito y dibuje las correspondientes formas de onda.

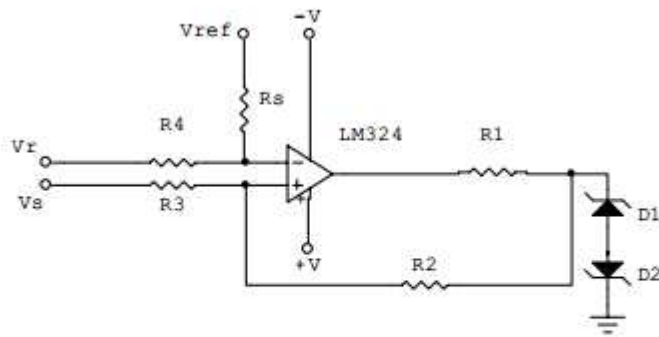


Fig 1. Multivibrador biestable con amplificador operacional

- Explique el papel de la tensión V_r y determine su valor límite.
- Deduzca las ecuaciones de diseño para determinar los valores de los componentes del circuito.

4.3 Generador de onda cuadrada y triangular

El siguiente circuito es un generador de onda triangular, está formado por una etapa (A1) donde hay un amplificador con realimentación positiva y una segunda etapa (A2) donde tenemos un circuito integrador.

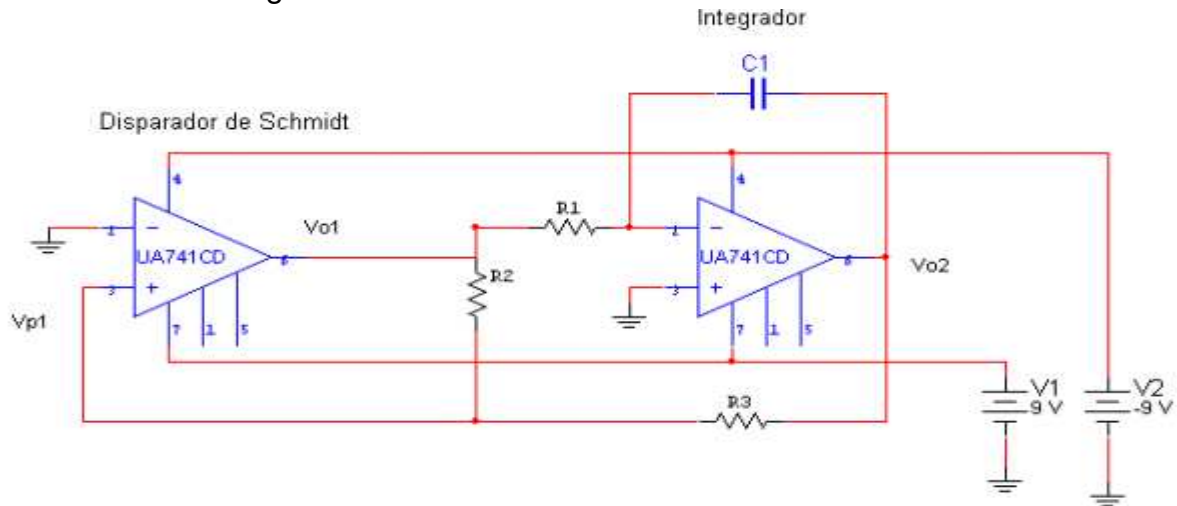
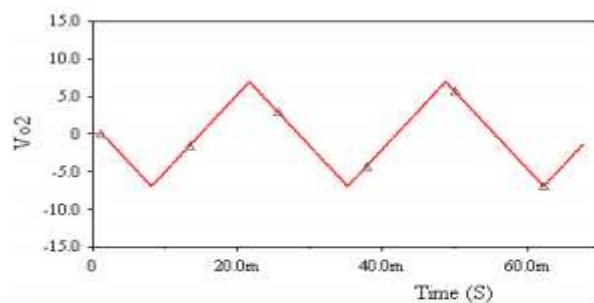
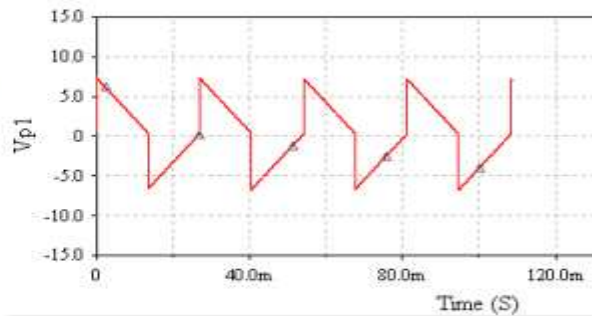
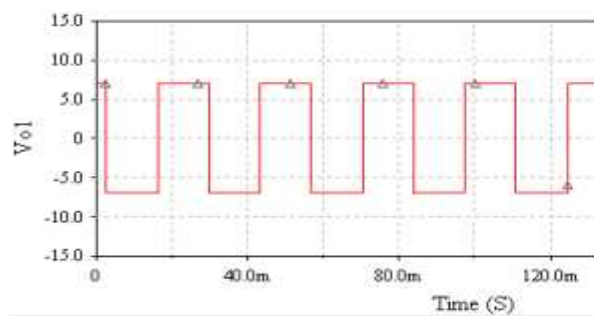


Figura 1. Circuito que permite obtener una señal triangular

El voltaje de salida para el circuito integrador como se ha estudiado está dado por:

$$v_{o2} = -\frac{1}{CR_1} \int v_{o1} dt \quad (1)$$



El período de la señal triangular es dos veces el tiempo necesario para producir una conmutación del primer amplificador, esto es:

$$t = \frac{2CR_1R_2}{R_3} \quad (4)$$

El siguiente circuito es un oscilador de relajación hecho con un amplificador operacional con realimentación positiva. La tensión en la entrada no inversora del amplificador operacional es el resultado de acoplar la tensión de salida a través de un divisor de resistencias compuesto de R1 y R2. La tensión en la entrada inversora se desarrolla como parte de una combinación RC. Si la entrada diferencial es positiva, la salida del amplificador operacional se satura cerca del valor positivo de la fuente de alimentación. Por el contrario, si la entrada diferencial es negativa, la salida se satura cerca del valor negativo de la fuente de alimentación.

Cuando la salida se halla en un valor positivo, el capacitor se carga hacia este valor en forma exponencial con una constante de tiempo RC. En algún punto, este crecimiento en la tensión de la entrada inversora hace que el amplificador operacional cambie al otro estado, donde la tensión de salida es negativa.

Entonces el capacitor empieza a descargarse hacia este valor negativo hasta que la entrada diferencial se vuelve negativa.

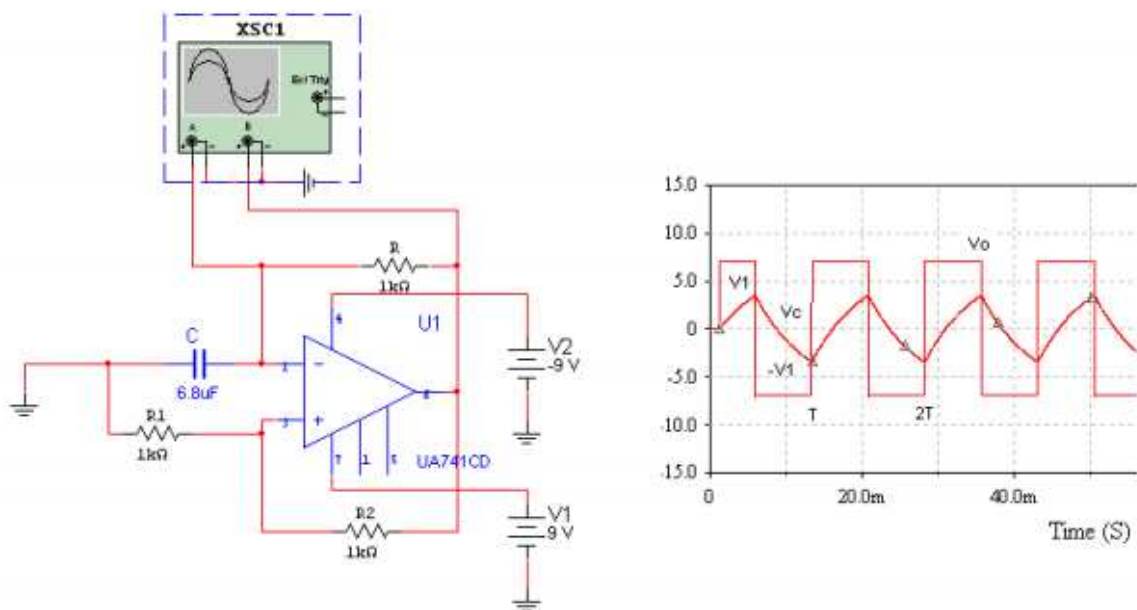


Figura 2 Circuito de relajación que permite obtener una señal cuadrada

Planteando la ecuación para el lazo no inversor tenemos:

$$\frac{0 - v_p}{R_1} = \frac{v_p - v_0}{R_2} \quad (5)$$

Actividad práctica No. 14

Generador de onda triangular

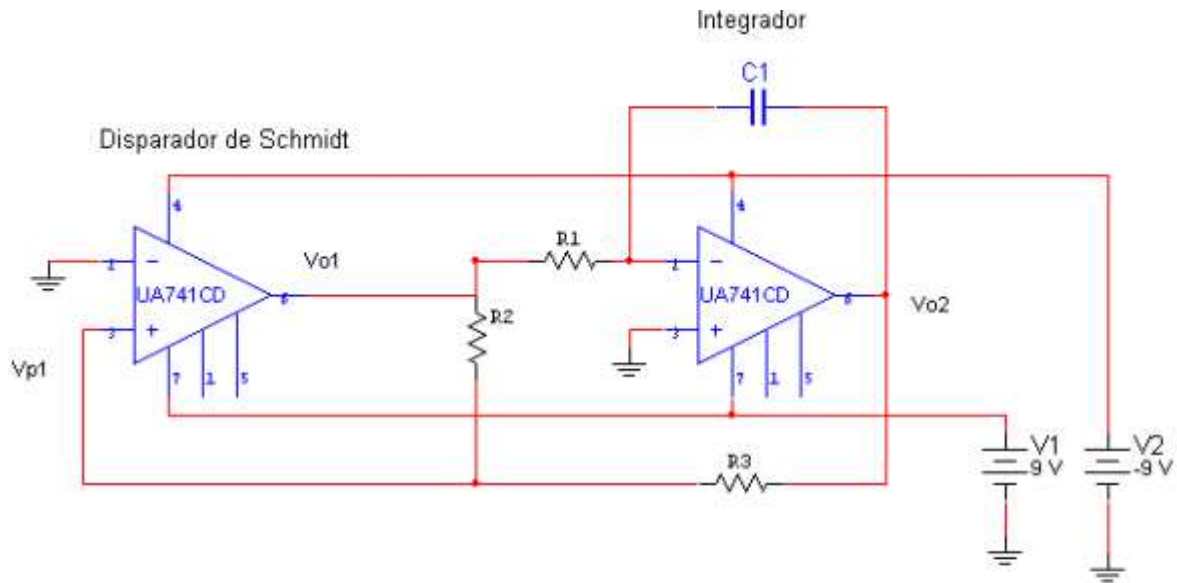


Figura 1. Circuito que permite obtener una señal triangular

El voltaje de salida para el circuito integrador como se ha estudiado está dado por:

$$v_{o2} = -\frac{1}{CR_1} \int v_{o1} dt \quad (1)$$

Análisis práctico

- Monte el circuito anterior con los siguientes valores:

$R1 = 10 \text{ k}\Omega$ $R2 = 33 \text{ k}\Omega$

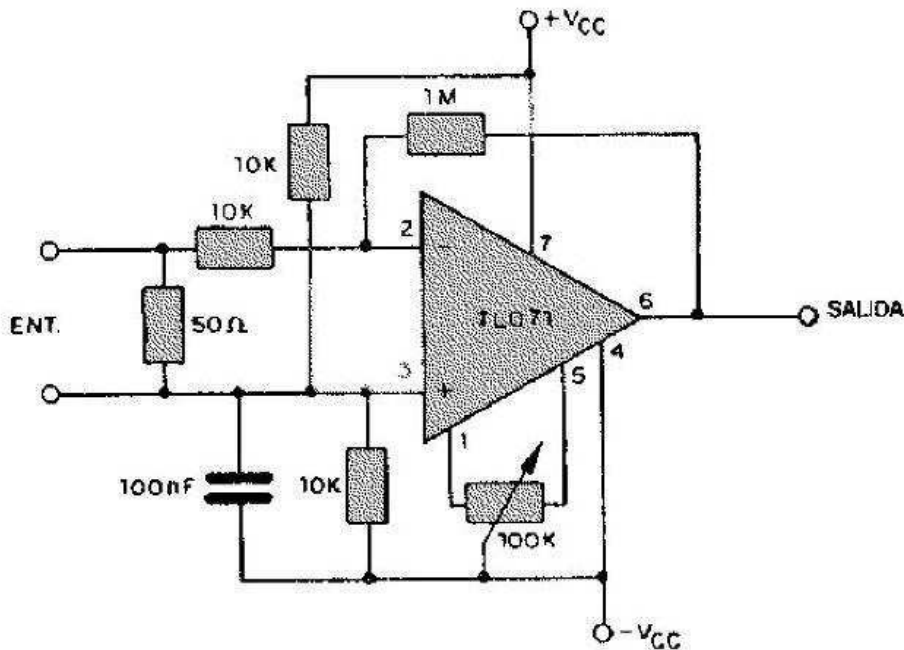
$R3 = 10 \text{ k}\Omega$ $C = 0.01 \text{ mF}$

- Dibuje las señales V_{o1} , V_{o2} y V_{p1} .
- Mida los voltajes de pico y la frecuencia de cada una de las señales obtenidas.
- Repita los numerales anteriores para un condensador mayor y otro menos a

$C = 0.01 \mu\text{F}$.

- Para el circuito donde obtuvo mejor la onda triangular. Cambie la resistencia de $33 \text{ k}\Omega$ por un potenciómetro de este valor o cercano a este valor. Grafique la amplitud de la señal triangular en función de la frecuencia.

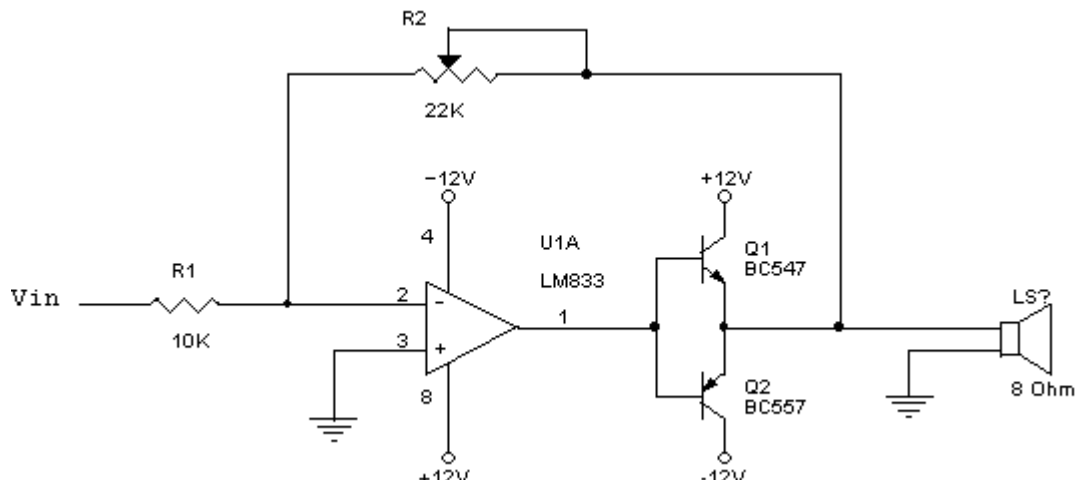
4.4 Amplificador de corriente alterna



Este amplificador opera con señal alterna y no hace uso de fuente simétrica. Presenta una impedancia de entrada de 50Ω y el punto de funcionamiento para mayor simetría de la señal se obtiene en el potenciómetro de 100kΩ.

4.5 Amplificador de audio

Un amplificador operacional no es capaz por si solo de entregar corrientes muy grandes por la salida, por lo que no podemos conectarles directamente un altavoz y oír música. Hemos visto hasta ahora que los amplificadores inversores y no inversores tienen una ganancia en tensión A_v . Este no es el problema, el problema está en la corriente (Amperios) que son capaces de entregar, necesitamos entonces añadir algún dispositivo que sea capaz de ampliar esa corriente. El dispositivo capaz de hacer esto es el transistor, y la forma más sencilla de utilizarlo es la siguiente:



En la figura puedes distinguir un amplificador inversor en el que hemos hecho algunos cambios.

El amplificador operacional empleado es un LM833, especial para audio. Puedes probar con otros operacionales y verás la diferencia.

La etapa de transistores formada por Q1 y Q2 tiene como única finalidad suministrar toda la corriente que no puede el operacional. Los transistores empleados son los BC547 y BC557, Estos no son de gran potencia por lo que tendrás que usar un altavoz pequeño.

Fíjate donde tiene puesta la realimentación, directamente en la salida pasando por encima de los dos transistores. Esto soluciona algunos problemas de falta de linealidad en la etapa de los transistores. Además, si analizas el circuito igual que hacíamos en el apartado del amplificador inversor verás que te sale exactamente lo mismo:

$$V_{out} = -V_{in} (R2/R1)$$

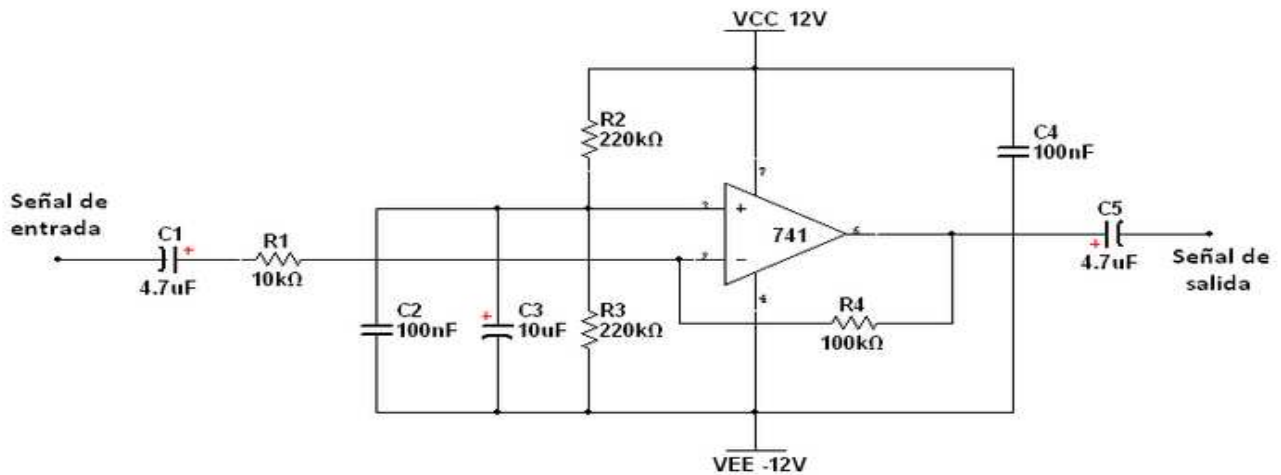
Además, R2 es una resistencia variable, que puede hacerlo de 0 a 22K. Esto hace que la ganancia en tensión (A_v) del circuito varía desde 0 hasta -2,2 variando así el volumen del altavoz, si quieres conseguir más volumen puedes cambiar R2 por una mayor.

Actividad práctica No. 15

Preamplificador de audio

Objetivo:

Implementar un circuito capaz de amplificar una señal de audio utilizando un amplificador operacional LM741.



Funcionamiento:

Utilizamos un amplificador operacional de uso general como el LM741 para amplificar una señal de audio.

La señal de audio se conecta a un capacitor electrolítico para filtrar la señal y desaparecer algún componente en alterna. Esta señal se conecta a la terminal inversora del amplificador.

Observamos que a la terminal no inversora está conectado un arreglo de resistencias que se presenta como divisor de voltaje y 2 capacitores en paralelo formando una red que actúa como filtro de frecuencias.

A la salida se conecta un capacitor electrolítico para purificar la señal. Esta señal puede ser aplicada a un amplificador de potencia.

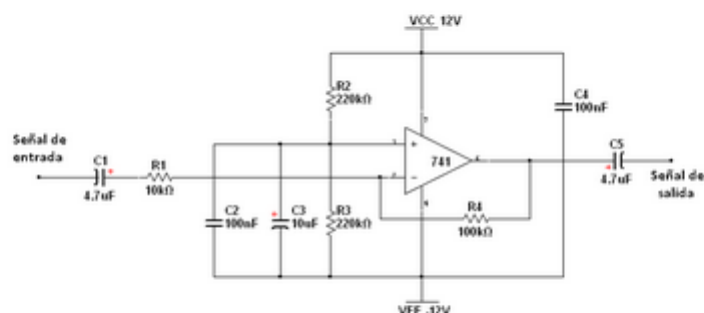
Entre las terminales de alimentación se coloca un capacitor cerámico para eliminar el rizo en la fuente de alimentación.

Procedimiento:

1. **Implementar el circuito mostrado.**
2. **Aplicar una señal de audio a la entrada del circuito.**
3. **Conectar a la salida del circuito una bocina o un altoparlante de 4Ω**

Objetivo:

Circuito:



Componentes y equipo utilizado:

Observaciones:

Conclusiones:

4.6 Convertidor tensión – corriente

A veces es deseable poder disponer de una corriente proporcional a una tensión cualquiera dada.

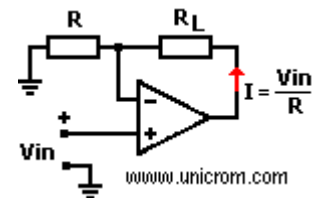
Si se utiliza la ley de Ohm se podría lograr un convertidor tensión corriente. Ver la fórmula: $I = V/R$, donde la relación entre la corriente y la tensión está dada por $1/R$. Pero en este caso la corriente dependerá de la resistencia de carga.

Lo ideal sería tener una fuente de corriente con la capacidad de entregar una corriente constante, sin importar la carga que se le ponga. (Característica de impedancia de salida infinita.)

Convertidor tensión a corriente con carga flotante

El siguiente circuito tiene una impedancia de salida muy alta (se puede suponer infinita). La corriente de salida tiene un valor dado por: $I = V_{in}/R$. Si la tensión de entrada V_{in} cambia, la corriente también, sin importar el valor de R_L .

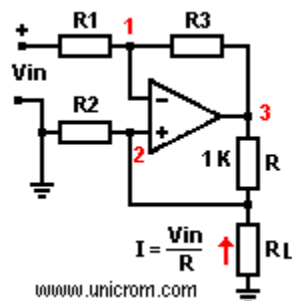
Este convertidor tensión corriente (gráfico de la derecha) tiene la desventaja de que los dos terminales de la carga “flotan”, ya que ninguno de los terminales de salida está a tierra.



En el circuito siguiente, este problema se ha eliminado.

Convertidor tensión a corriente con carga aterrizada

Suponiendo que una tensión desconocida (V) exista entre los puntos 1 y 2, la realimentación que tiene el circuito, mantiene estos puntos al mismo potencial (a la misma tensión).



Con los datos que se tienen se pueden obtener las corrientes en la resistencia R_1 y R_2 del lado izquierdo de los puntos 1 y 2 y la tensión en el punto 3. (Ver el gráfico)

Con esto se obtienen todas las corrientes que entran en el punto 3. La corriente en la carga R_L será: V_{in}/R donde $R = 1K$.

Bibliografía

Circuitos y señales. Introducción a los sistemas lineales y de acoplamiento. Autor: Thomas Rosa

Microelectronic Circuits Autor: Sedra/Smith Ed. Oxford University Press

Analog Mos IC for Signal Processing, Gregorian & Temes, John Wiley & Sons

Lucelly Reyes

Coughlin Robert F. y Driscoll Frederick/Amplificador Operacional y Circuitos Integrales Lineales

Millman y Taub Circuitos de pulsos digitales y de conmutación

Integrated Electronics

Operational Amplifier Circuit Design McGraw-Hill