

Lluvia de aplicaciones en Electrónica Analógica

“OPERATIVO MERCURIO”

Proyecto colaborativo

Dirigido por:

Ingeniero Julian Adolfo Ramirez Gutierrez

Coordinado por:

Juan Esteban Diaz Delgado
Primer líder de grupo

Universidad Surcolombiana
Facultad de Ingeniería

Ing. Electrónica

Neiva-Huila
2025

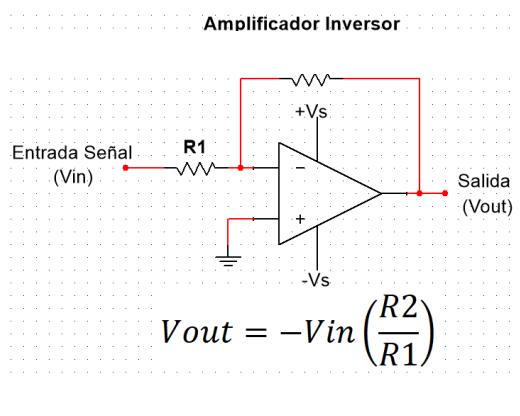
Tabla de contenido

Aplicación 1: Amplificador Operacional en Modo Inversor

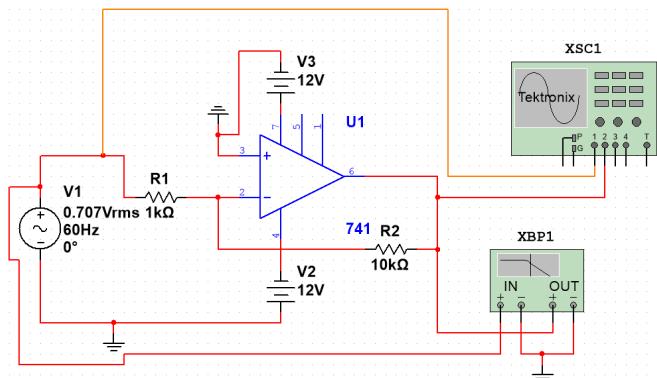
El amplificador operacional en modo inversor es una de las configuraciones más básicas y útiles en la electrónica analógica. Su principal característica es que la señal de salida tiene la misma forma que la de entrada, pero **con la fase invertida** (desplazada 180°). Esto significa que cuando la entrada es positiva, la salida es negativa, y viceversa.

Teoría del funcionamiento

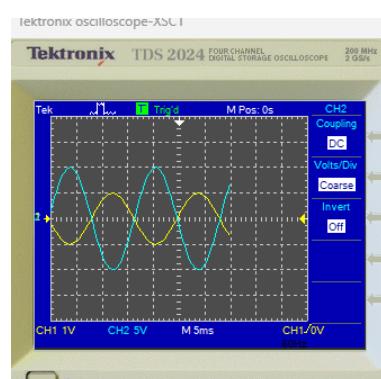
1. La señal de entrada (V_{in}) se aplica a través de una resistencia R_1 a la entrada inversora del amplificador operacional, mientras que la entrada no inversora se conecta a tierra.
2. El amplificador operacional, debido a su alta ganancia, ajusta automáticamente su salida para mantener en equilibrio sus entradas. Esto genera un punto llamado **tierra virtual**, en el que el voltaje en la entrada inversora se mantiene cercano a cero, aunque no esté directamente conectado a tierra.
3. Debido a la muy alta impedancia de entrada del op-amp, no circula corriente hacia él. Por lo tanto, toda la corriente que entra por R_1 debe salir a través de la resistencia de realimentación R_2 , conectada entre la salida y la entrada inversora.



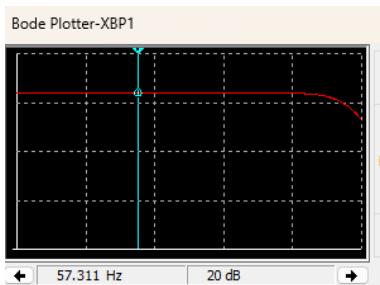
Implementación Ejemplo



En este ejemplo con resistencia de 10K R_2 y 1K en R_1 dandonos una ganancia de 10 se implementó y en las siguientes imágenes se puede observar la amplificación de voltaje y el desfase de 180 grados.



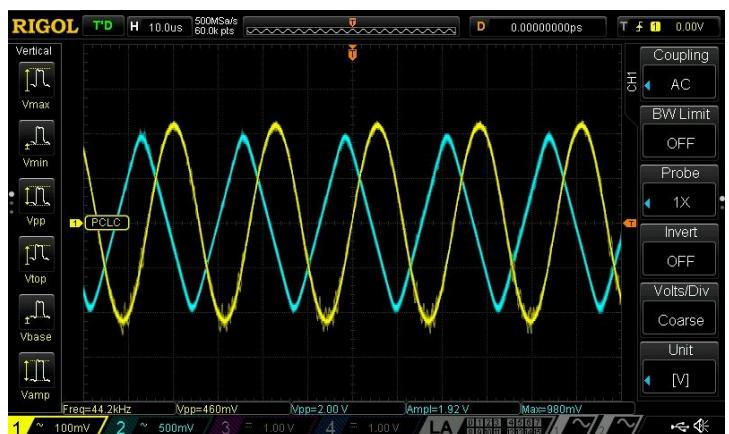
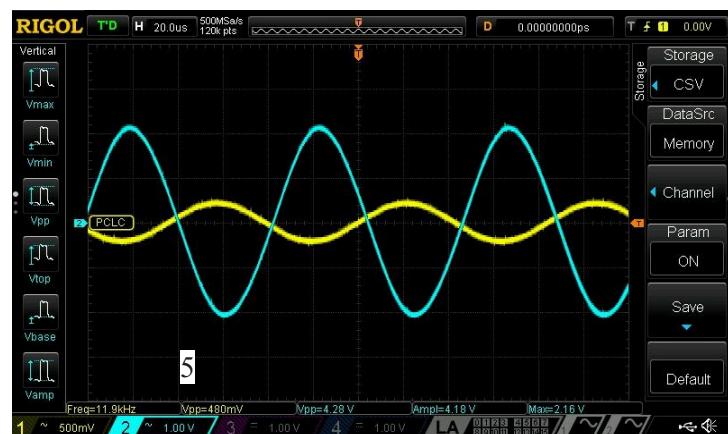
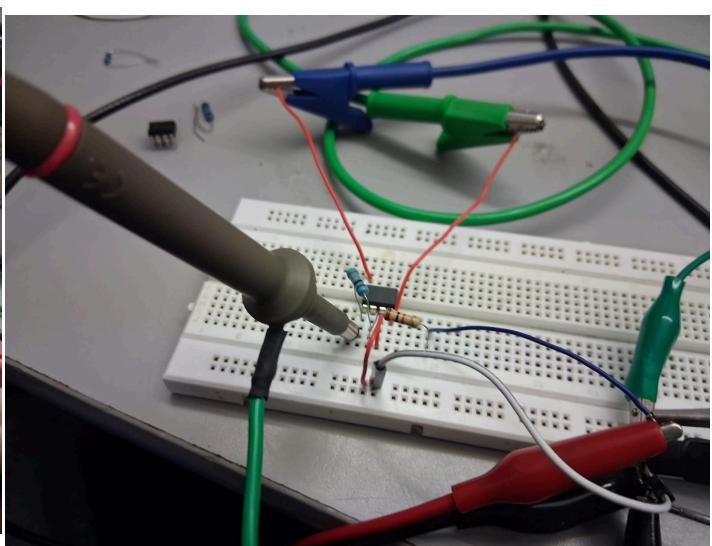
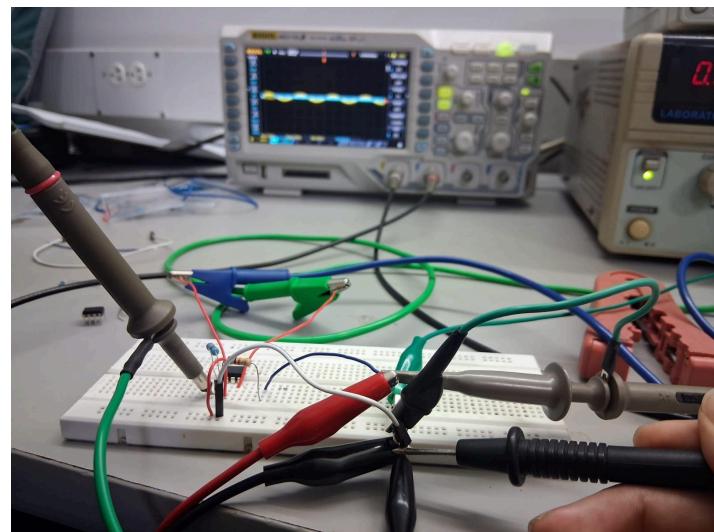
La señal amarilla es la entrada que está a 1Vp y la señal Azul es la amplificada y desfasada 180 grados dandonos 10Vp.



En el diagrama de Bode se observa que la ganancia es de 20 dB a una frecuencia de 57.311 Hz. Los pasos son 10.

Este es un ejemplo sencillo sobre el uso de un amplificador inversor, invirtiendo y amplificando una señal. Referencia <https://www.analog.com/en/resources/glossary/inverting-op-amp.html> https://www.electronics-tutorials.ws/opamp/opamp_2.html

Implementación del Circuito



Implemente un amplificador operacional en modo inversor con ganancia de 10 y se puede observar como la señal azul está amplificada y desfasada con respecto a la señal de entrada que es la amarilla.

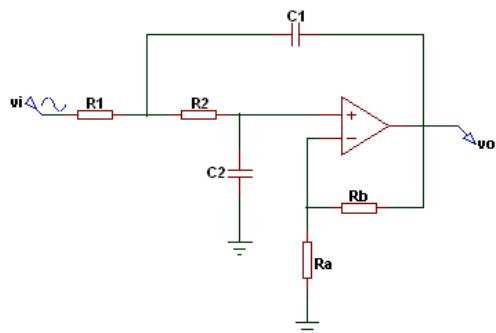
Aplicación 2: Filtro pasa bajos Sallen-Key

introducción

Se llama sallen key por la topología que tiene el circuito, y por el nombre de sus dos creadores R. P. Sallen y E. L. Key, ingenieros del laboratorio Lincoln del MIT.

Como su nombre lo dice solo permite el paso de frecuencias bajas y atenúa las frecuencias altas.

configuración básica



El filtro Sallen-Key utiliza un amplificador no inversor (op-amp o etapa discreta) y una red RC doble

Ventajas del Filtro Activo:

- Ganancia: Puede amplificar la señal.
- Mayor Impedancia de Entrada/Baja Impedancia de Salida: Mejor adaptación de impedancia.
- No uso de inductores: Más compacto y evita problemas asociados a inductores (parásitos, tamaño).

Desventajas/Limitaciones:

- Requiere fuente de alimentación.
- Limitado en ancho de banda y slew rate por el Op Amp utilizado.
- No apto para aplicaciones de muy alta frecuencia o alta potencia.

función de transferencia

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{A}{1 + s(R1C1 + R2C1 + R2C2(1 - A)) + s^2R1R2C1C2}$$

Donde:

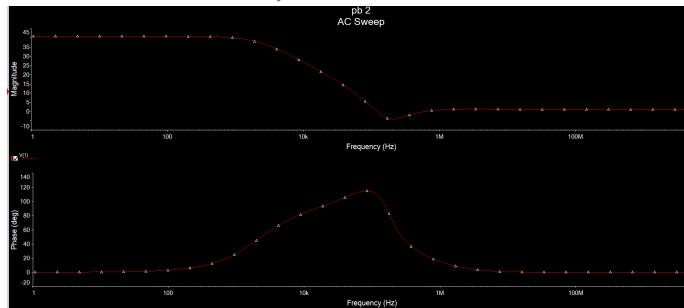
- A =ganancia del amplificador. $A=1+ R_b/R_a$
- $s=j\omega = j\omega$ (frecuencia compleja).

Frecuencia de Corte (f_c)

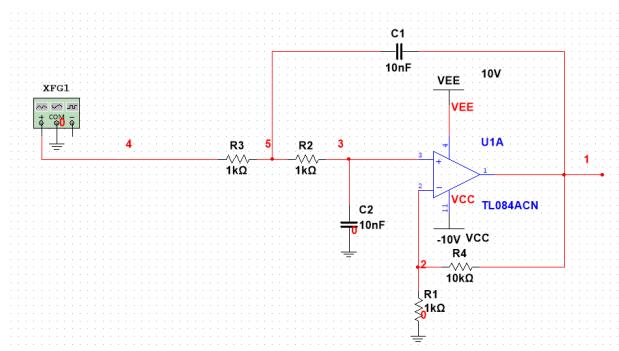
Factor de Calidad (Q)

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R1R2C1C2}}$$

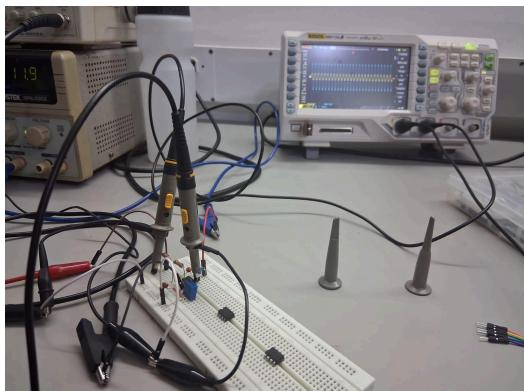
$$Q = \frac{\sqrt{R1R2C1C2}}{R1C1 + R2C1 + R1C2(1 - A)}$$



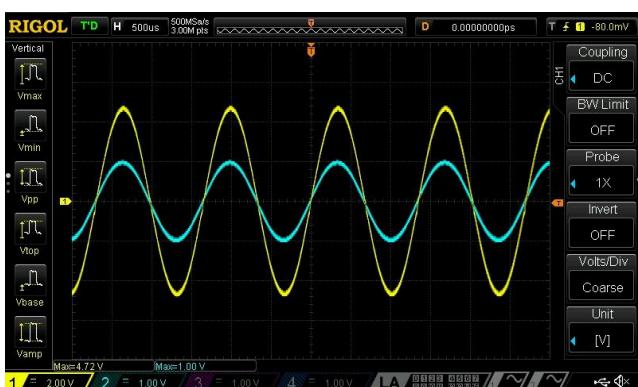
simulación



implementación



onda en frecuencia baja



onda al superar la frecuencia de corte, en la cual presenta reducción de amplitud.



Aplicación 3: Limitador de Señal Activo con Diodos y Amplificador Operacional

Introducción

Un limitador de señal es un circuito cuya función es restringir la amplitud de una señal eléctrica para evitar que supere niveles predeterminados. Los limitadores activos usan un amplificador operacional (Op Amp) junto con diodos para conseguir un recorte controlado y con mejor precisión que los limitadores pasivos. Este documento explica el principio, diseño práctico y un ejemplo listo para simular en Multisim

Principio de funcionamiento

Los diodos presentan una caída en polarización directa (V_D) — $\approx 0,7$ V para diodos de silicio— y conducen cuando su tensión supera ese umbral. En un limitador activo los diodos se colocan de forma que, al conducir, desvíen corriente y eviten que la salida del Op Amp aumente más allá de un valor cercano al umbral amplificado por la red de realimentación

Usando una configuración inversora con resistencias R_{in} (entrada) y R_f (realimentación) y diodos en antiparalelo entre la salida y la entrada inversora, la tensión de recorte aproximada viene dada por

Cuando los diodos están en corte, el Op Amp actúa linealmente. Al superar V_L uno de los diodos conduce y la salida queda “clavada” alrededor de $\pm V_L$. La elección de R_f/R_{in} fija cuánto amplifica la tensión de referencia del diodo buscado.

$$V_L \approx V_D \left(1 + \frac{R_f}{R_{in}} \right)$$

Diseño práctico y ejemplo

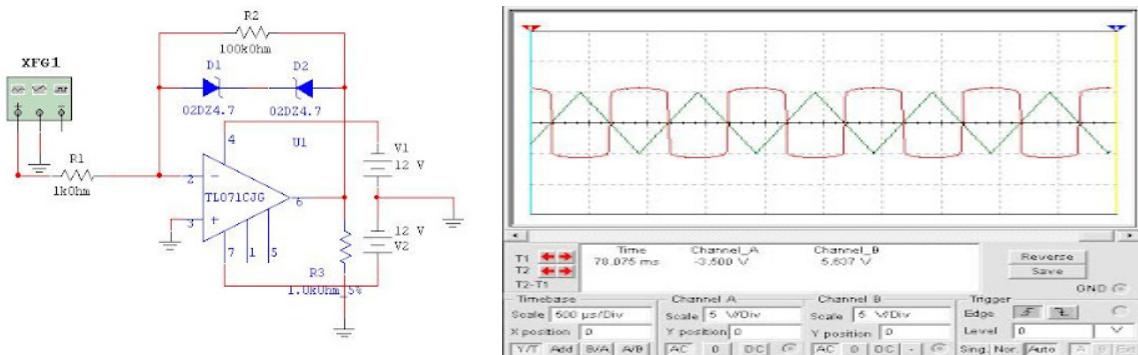
Objetivo: señal de entrada ± 2 V → límite de salida ± 1 V

Suponga diodos 1N4148 con $V_D \approx 0,7$ V. De la fórmula buscaremos $(1 + R_f/R_{in}) \approx 1/0,7 \approx 1,43$
 $\Rightarrow R_f/R_{in} \approx 0,43$. Elegimos valores prácticos:

- $R_{in} = 10 \text{ k}\Omega$
- $R_f \approx 4,7 \text{ k}\Omega$ (valor comercial próximo)

Con esta elección $V_L \approx 0,7 \cdot (1 + 0,47) \approx 1,03$ V, aceptable para la especificación ± 1 V. Use fuente simétrica ± 12 V o ± 15 V y un Op Amp que soporte las tensiones (por ejemplo LM741 con ± 15 V; para mejor desempeño recomendamos un operacional rail-to-rail si se desea operar con menores tensiones de alimentación)

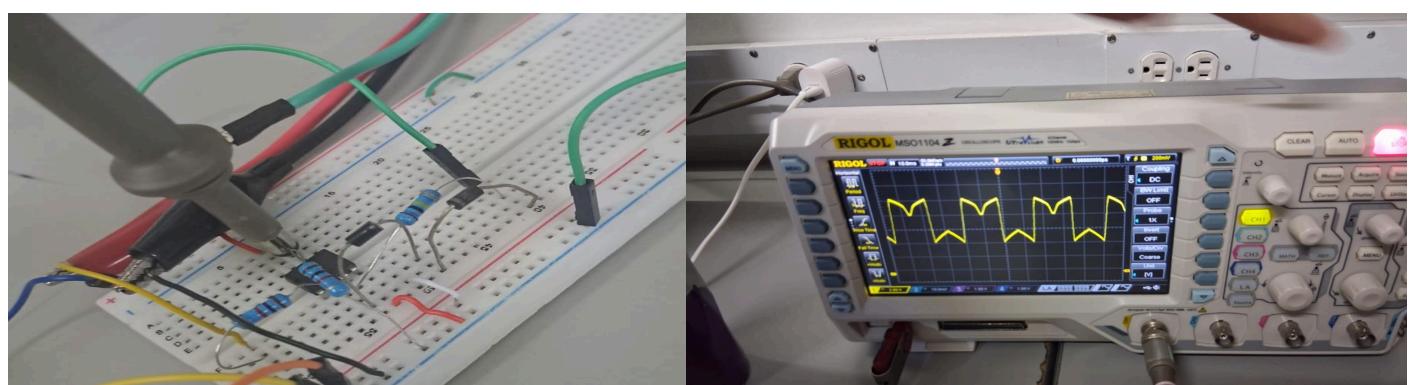
Componentes sugeridos: Op Amp (LM741 o equivalente), $2 \times 1N4148$ en antiparalelo, R_{in} $10 \text{ k}\Omega$, R_f $4,7 \text{ k}\Omega$, fuente $\pm 12/\pm 15$ V, generador de señal senoidal 2 Vpp (± 2 V), osciloscopio



Consideraciones prácticas

El circuito limitador representado en la figura es el más sencillo en lo que respecta a limitación y está formado por 2 diodos zeners iguales (02DZ4.7) en paralelo con la realimentación. Siempre que la tensión de salida V_o tiende a adoptar un valor mayor que el prescripto por la tensión de ruptura, uno de los diodos zener entra en conducción y limita dicha tensión de salida. Este circuito no permite ajustar libremente el potencial límite, por este motivo cualquiera sea V_i , la tensión de salida V_o va a ser constante. En la simulación pudimos observar que sea cual sea el valor de V_i , la tensión V_o se mantiene constante como se muestra.

Referencias: <https://circuitstoday.com/voltage-limiter-circuit-using-op-amp>

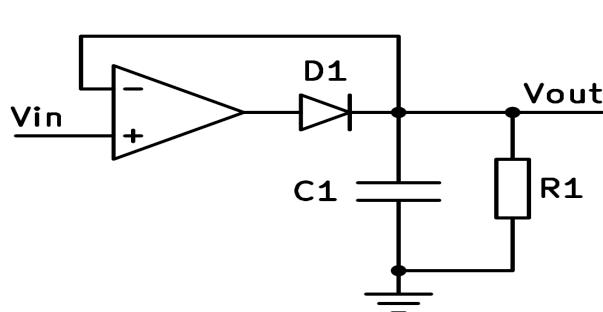


La señal observada en el montaje presenta diferencias frente a la simulación debido a que no se usó el mismo sistema operacional del modelo teórico. El amplificador real puede tener limitaciones de *slew rate*, ancho de banda o alimentación, lo que provoca recortes inclinados en lugar de planos. Además, factores como la orientación de los diodos, variaciones en los valores de resistencias, la ausencia de fuente simétrica o efectos parásitos pueden alterar el comportamiento esperado. En conclusión, las discrepancias se deben principalmente a las limitaciones prácticas del op-amp usado y a condiciones de montaje que no siempre se reflejan en la simulación.

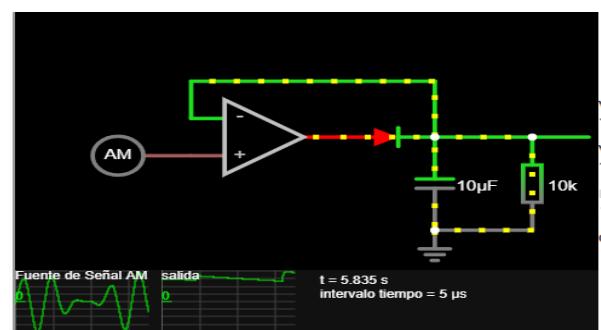
Aplicación 4: Detector de picos con Op Amp

Introducción

El detector de pico es un circuito elemental que mantiene en su salida el valor de pico de tensión que se encuentra en la entrada. Este se compone por un rectificador de precisión de media onda y por un filtro RC a la salida, que memoriza el mayor nivel de tensión de la salida del rectificador. Este tipo de circuito es útil para detectar y almacenar el voltaje máximo de una señal, incluso cuando la señal de entrada varía rápidamente.



Esquema del detector de picos.



Esquema simulados

Funcionamiento

El diodo a la salida del amplificador operacional impide que este pueda entregar corriente negativa. Como el operacional sólo podrá entregar tensión y corriente positivas, el condensador de salida subirá de tensión hasta igualar la máxima tensión de entrada y mantendrá esta tensión.

La resistencia de 10k hará que el condensador se descargue poco a poco y que su tensión tienda a valer cero voltios.

De esta manera la tensión máxima de entrada, o valor de pico, se almacenará por un tiempo en el condensador, que poco a poco va a perder esa tensión máxima para adaptarse a otros picos de menor tensión que lleguen más tarde.

Al ser un circuito con componentes simples sus fórmulas serán:

$$\text{Constante de tiempo } T = R * C$$

$$V_{out}(t) = V_0 * e^{-t/(R*C)}$$

$$V_{out} = V_{picoInt} - V_d$$

Implementación Particular

Comunicación por radiofrecuencia

En las comunicaciones por radio frecuencia, las señales se transmiten utilizando ondas electromagnéticas en un amplio rango de frecuencias. Un elemento importante es el detector de picos. Este circuito tiene la función de capturar la envolvente de picos de la señal recibida.

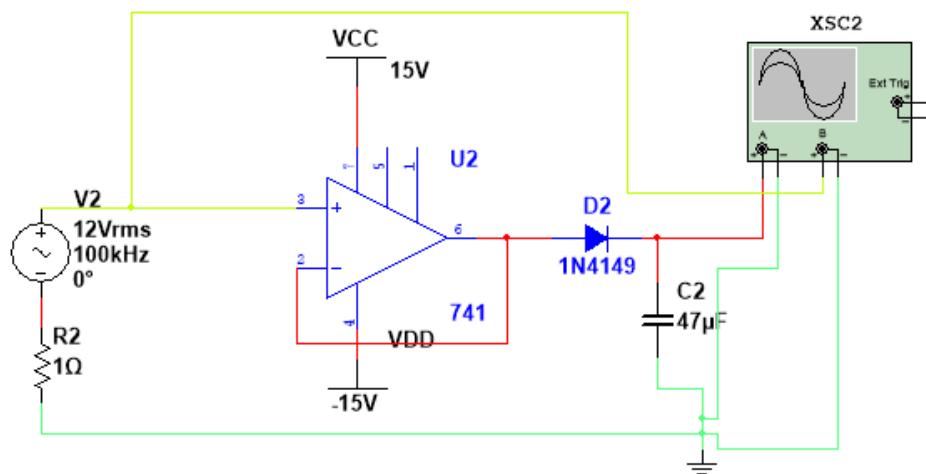
En las comunicaciones por radiofrecuencia (RF), los detectores de picos capturan la envolvente de picos de las señales de amplitud modulada (AM) y mantienen la integridad de la señal durante la transmisión. La detección precisa de picos preserva la envolvente de modulación, necesaria para una modulación eficaz y la reconstrucción de la información.

Referencia: <https://www.picuino.com/es/electronic-operational-peakdetector.html>

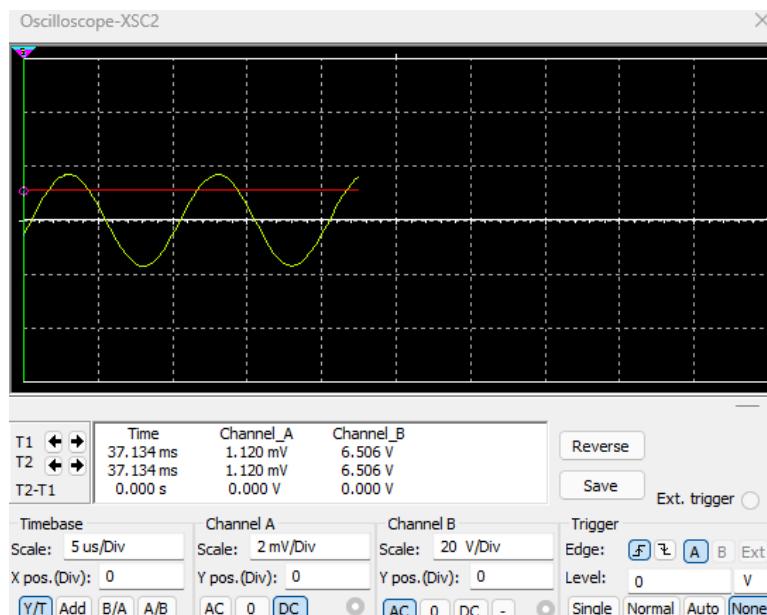
<https://www.allelcoelec.com/blog/understanding-and-building-op-amp-based-peak-detectors.html?srsltid=AfmBOoquAOBiti5Fl7WmOEpxvkWvR6-w0o61LYFkqQS4G9dZbHf6duwd>

Simulación

Se realiza con un diseño para luego hacer el montaje



Esquema simulados práctico



Osciloscopio simulado

Cabe aclarar que la señal de entrada debería ser una señal muy ruidosa para lograr visualizar mejor el filtrado pero al no serlo solo se vería un filtrado normal.

Montaje

Se realiza el montaje con el generador, toca aclarar que debió usarse una señal am o fm pero con las complicaciones de conseguirlo usamos el generador



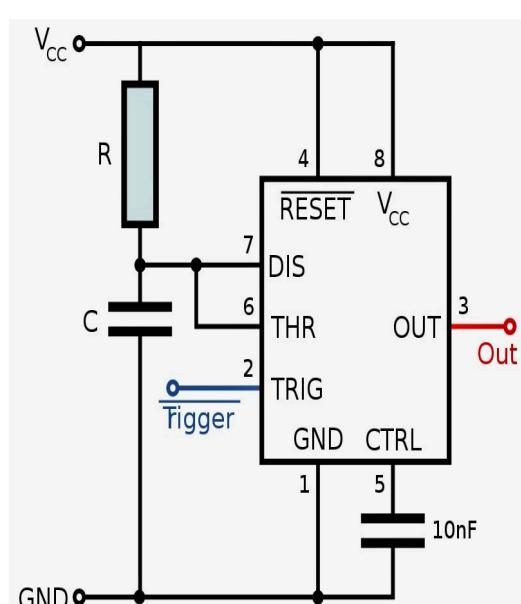
Montaje

Aplicación 5: Oscilador con temporizador 555 (monoestable)

Introducción

El integrado 555 es un temporizador que permite al usuario generar pulsos temporizados, dependiendo del modo de operación, ya sea monoestable y astable. Como tal el 555 no se considera un amplificador operacional pero dentro de su diseño podemos encontrar un gran número de ellos para su funcionamiento además de comparadores, un flip-flop y un transistor de descarga para ofrecer su funcionalidad, lo que lo hace ideal para una variedad de aplicaciones como osciladores y circuitos de control.

Teoría de Funcionamiento



Bajo la configuración monoestable, el integrado 555 como un temporizador que al recibir un disparo en el pin 2, genera un solo pulso de salida de duración precisa. La duración de este pulso es controlada a través de un circuito externo compuesto por una resistencia y un condensador conectados a los pines 6 y 7.

El circuito RC nos permite que el disparo que produzca el integrado este en el alto, como se menciona

anteriormente, el tiempo de ese disparo se determina por el RC y para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$t = 1.1 \cdot R \cdot C$$

Donde el capacitor se va a cargar a través de la resistencia hasta que el condensador se cargue lo suficiente para soltar el pulso y comenzar a descargarse. Es clave comprender que el voltaje final del pulso va a ser aproximadamente $\frac{2}{3}$ del voltaje de alimentación.

Implementación particular

Se tiene que diseñar un oscilador monoestable con un temporizador 555. El circuito debe generar un pulso de salida con una duración aproximada de 2 segundos cuando se presione un botón. Se cuenta con una fuente de alimentación de 12V. Necesitamos determinar el valor de la resistencia si utilizamos un capacitor de 100 uF.

Para la solución de este ejercicio tomamos los datos que nos dan en el enunciado y luego reemplazamos en la ecuación original, con ello podemos realizar un despeje y encontrar el valor de la resistencia.

$$t = 1.1 \cdot R \cdot C$$

$$2 = 1.1 \cdot R \cdot 100 \mu F$$

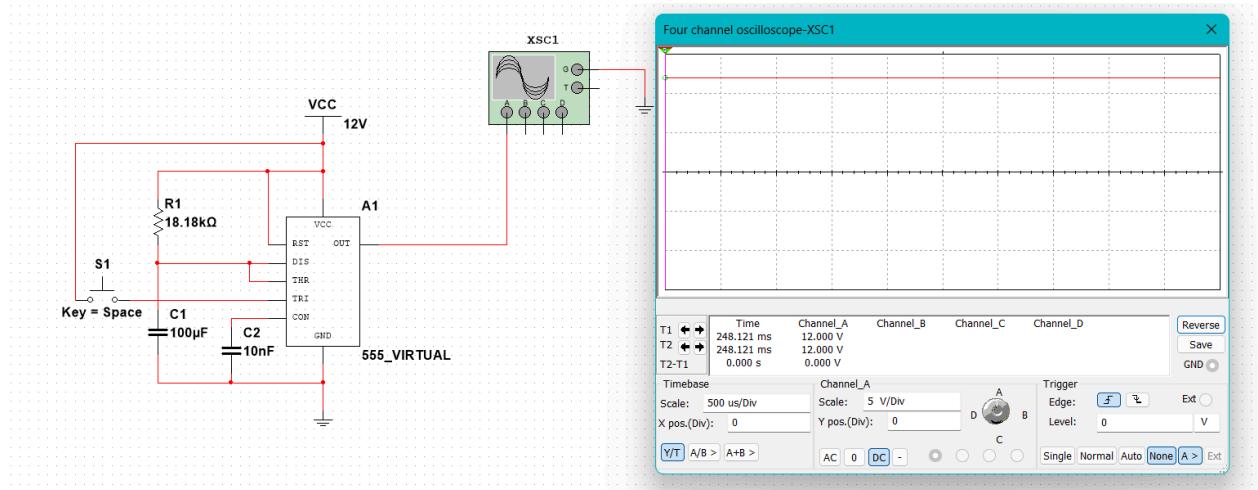
$$R = 2 / (1.1 \cdot 100 \mu F)$$

$$R = 18.18 k\Omega$$

De esta forma, completamos el circuito RC que nos permitirá que el integrado 555 funcione correctamente en modo monoestable según los requerimientos del ejercicio

Simulación

Para comprender mejor la implementación de esta aplicación, se realizó una simulación en el aplicativo Multisim. Se implementa el circuito propuesto anteriormente con una fuente de 12V, el capacitor de 100 uF y la resistencia calculada de 18.18 k Ω . Al activar la simulación se observa que la señal de salida en el pin 3 se eleva a un nivel alto y permanece así durante que la simulación se mantiene activa, para ello se implementa un pulsador o push bottom en el pin 2 para activar la salida. Este comportamiento visualiza la correcta operación del modo monoestable y confirma el cálculo del tiempo.



La salida en la simulación tiene el mismo voltaje que el de la alimentación, esto es teóricamente correcto ya que en esta configuración el 555 provee un pulso de nivel alto, ahora el porqué se dice que la salida es de más o menos 2/3 la alimentación se debe a que en la práctica hay que tener en cuenta que los componentes internos del integrado provocan que haya una caída de voltaje y por ende no se nos entregue el voltaje completo a la salida, aun así el pulso activo siempre se mantiene en un nivel alto.

Con respecto a la ganancia, es importante aclarar que un integrado 555 en configuración monoestable no proporciona ganancia en sí, ya que como hemos visto en la simulación, su voltaje de salida es igual que el de entrada. Su función principal es proporcionar un pulso de nivel alto durante un determinado tiempo y cuando el usuario lo requiera.

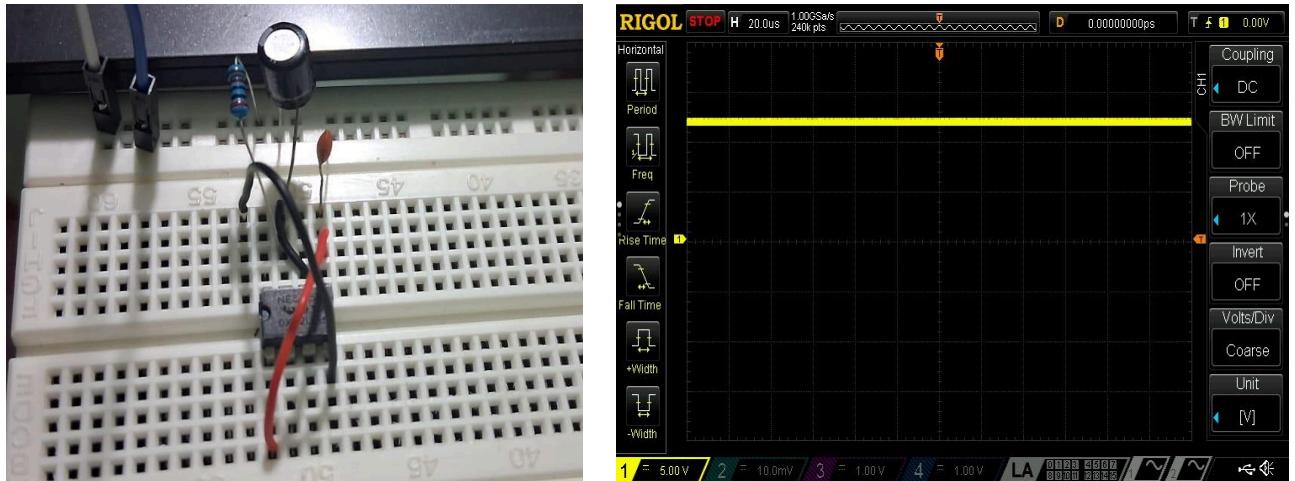
La importancia del integrado 555 en configuración monoestable está en su capacidad para generar pulsos de tiempo precisos y controlados, lo que lo convierte en un componente fundamental en áreas como automatización y control. Su uso es vital en sistemas de seguridad para temporizar alarmas, en controles de acceso para mantener cerraduras abiertas por un período fijo, y en la automatización industrial para controlar la duración de ciclos de trabajo. La versatilidad, bajo costo y fiabilidad del integrado 555 le permiten cumplir estas funciones de temporización de forma eficiente sin necesidad de utilizar microcontroladores más complejos.

Implementación física

Para la implementación física del circuito, se conectan los componentes sobre un protoboard. Se requiere un temporizador 555, una resistencia de 20 kΩ, ya que es un valor cercano comercial a la resistencia calculada de 18.18 kΩ, un capacitor electrolítico de 100 μF acorde a los cálculos y uno cerámico de 10nF que hace parte del circuito. La alimentación de 9V se aplica a los pines de VCC y Reset, mientras que los pines de Trigger y GND se conecta al pulsador y a tierra, respectivamente. La resistencia de 20 kΩ se ubica entre VCC y los pines de Threshold/Discharge, y el capacitor de 100 μF se conecta entre Threshold y tierra. Para visualizar la salida, se implementa una sonda de osciloscopio.

En la implementación física, el comportamiento es más realista. El voltaje de salida del pulso puede variar ligeramente debido a las tolerancias de la resistencia y el capacitor, por ende no alcanzará los

12V completos, sino que será ligeramente menor, como se explicó en la teoría. Estas caídas de voltaje se deben a las características internas del chip 555. La implementación física válida la teoría de que la salida tendrá un pulso de voltaje alto, pero también demuestra que las condiciones reales del circuito no son las mismas que las condiciones ideales de una simulación.



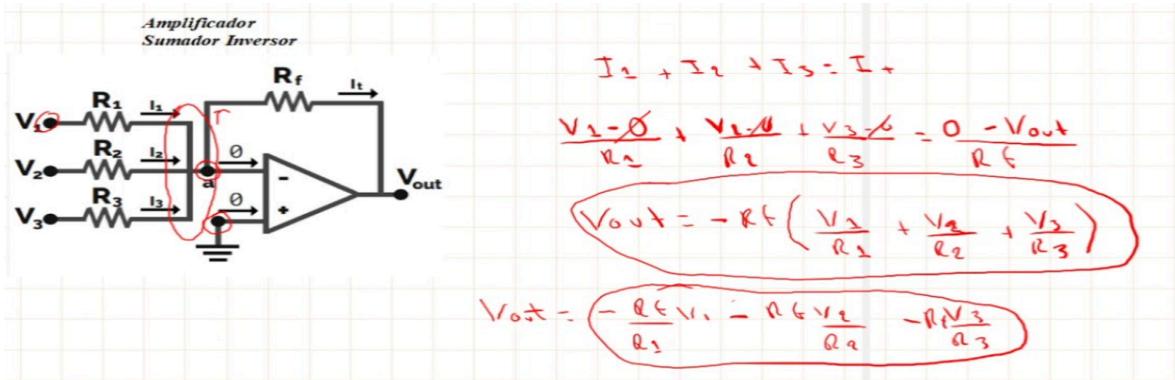
Aplicación 6: Amplificador Como Sumador Analogica

Introducción

Un amplificador operacional configurado como **sumador analógico** es un circuito que permite sumar varias señales eléctricas y obtener una única salida que representa la suma de todas ellas. Cada señal de entrada pasa por una resistencia, la cual determina qué tan grande será su aporte a la salida. Este tipo de circuito se usa cuando se necesita combinar señales con precisión y en tiempo real, por ejemplo, en audio, medición de sensores o sistemas de control

Teoría de funcionamiento

El sumador analógico normalmente utiliza la entrada **inversora** del amplificador operacional, con una resistencia para cada señal y otra en la retroalimentación (conectada de la salida a la entrada inversora)



- V_{out} = Voltaje de salida.
- V_1, V_2, \dots, V_n = Señales de entrada.
- R_1, R_2, \dots, R_n = Resistencias de entrada.
- R_f = Resistencia de retroalimentación.

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

Implementación práctica

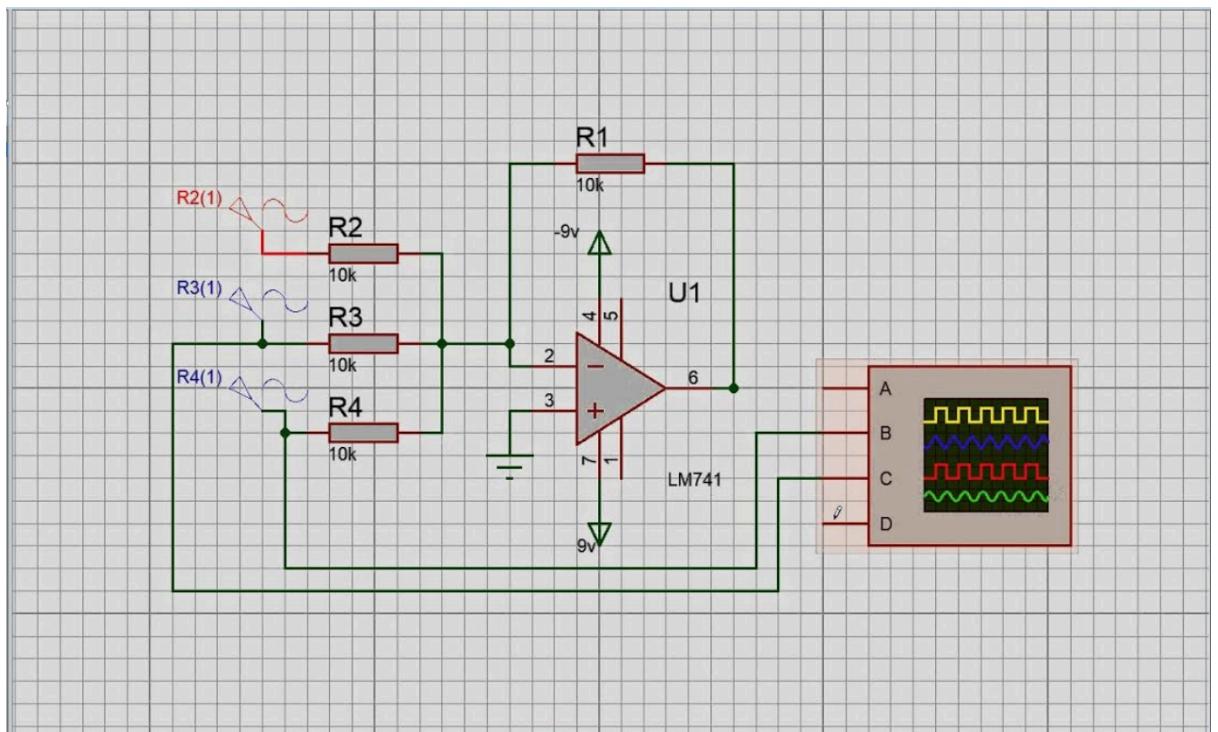
El sumador analógico se puede aplicar en la mezcla de audio, donde varias señales musicales se combinan para formar una sola pista; en la combinación de señales de sensores, para unificar lecturas de temperatura, presión o humedad en sistemas de control; en la generación de señales complejas, sumando ondas de distintas frecuencias para obtener nuevas formas de onda; y en el control de iluminación, permitiendo mezclar señales de diferentes controladores para crear efectos visuales más elaborados.

Referencia

Programación de microcontroladores y electrónica. amplificadores operacionales: configuración sumador inversor.

<https://youtu.be/VgQUoGITdgU?si=L7-F1C2i0KnqGKM>

simulacion :



Aplicación 7: Generador de onda cuadrada schmitt trigger

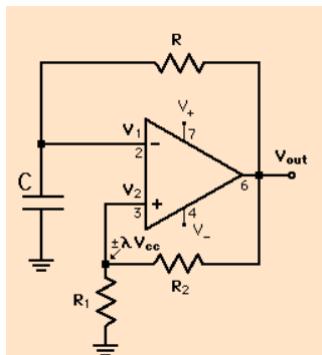
Introducción:

Es un circuito también conocido como multivibrador básico de carrera libre o multivibrador astable o de oscilación libre. Un generador de onda cuadrada produce una señal eléctrica que alterna entre dos niveles (por ejemplo 0 y +5 V) con una transición rápida. Es fundamental en electrónica digital (reloj, sincronismo), pruebas de circuitos, excitación de sistemas y conversión digital-análogica. Sus parámetros clave son:

- *frecuencia (f) = ciclos por segundo*
- *periodo (T) = $1/f$*
- *duty cycle (D) = porcentaje del periodo durante el cual la señal está en nivel alto. (t_{alto}/T) * 100*
- *Amplitud y niveles lógicos (TTL, CMOS, $\pm V$)*.

Teoría de funcionamiento:

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.



El circuito mostrado es un generador de onda cuadrada basado en un amplificador operacional configurado como comparador con histéresis (Schmitt Trigger) y un circuito RC.

1. Umbrales de conmutación (histéresis)

- El divisor resistivo formado por R1 y R2 establece una fracción β de la salida Vout que se aplica a la entrada no inversora V2. $\beta = R2/(R1 + R2)$
- Cuando el op-amp está saturado en +Vsat o -Vsat, la tensión de referencia en V2 toma valores: $VTH+ = +\beta \cdot Vsat$ $VTH- = -\beta \cdot Vsat$

2. Carga y descarga del condensador

- El condensador C se conecta a la entrada inversora V1 y se carga/descarga a través de la resistencia R desde la salida Vout.
- El voltaje V1 varía de forma exponencial entre VTH- y VTH+.

$$V1(t) = V_{final} + [V_{initial} - V_{final}] e^{-t/(R \cdot C)}$$

3. Cambio de estado de la salida

- Cuando V1 alcanza VTH+, el op-amp cambia bruscamente de +Vsat a -Vsat.
- Cuando V1 llega a VTH-, vuelve a cambiar a +Vsat.

- Este ciclo se repite indefinidamente, generando en Vout una onda cuadrada y en V1 una onda triangular.

4. Periodo y frecuencia de oscilación

- El tiempo para cada semi-ciclo es: $t_{semi} = R \cdot C \cdot \ln(1 + \beta/1 - \beta)$
- El periodo total es: $T = 2R \cdot C \cdot \ln(1 + \beta/1 - \beta)$
- Y la frecuencia: $1/T \text{ ó } 1/2R \cdot C \cdot \ln(1 + \beta/1 - \beta)$

Implementación particular

Diseñar un generador de onda cuadrada de 1 kHz, alimentado con $\pm 12V$.

$VCC = \pm 12V \rightarrow V_{sat} \approx \pm 12V$ (op-amp ideal)

Frecuencia: $f = 1 \text{ kHz}$

Condensador: $C = 10\text{nF}$ ($0.01 \mu\text{F}$)

Elegimos $\beta = 0.5 \rightarrow R_1 = R_2$

Cálculo de R:

Con $\beta = 0.5$

$$\ln(1 + \beta/1 - \beta) = \ln(1.5/0.5) = \ln(3) = 1.0986$$

Periodo: $T = 2RC \cdot 1.0986$

Frecuencia: $f = 1/T = 1/2RC \cdot 1.0986$

Despejamos R:

$$R = 1/2 \cdot C \cdot 1.0986 \cdot f$$

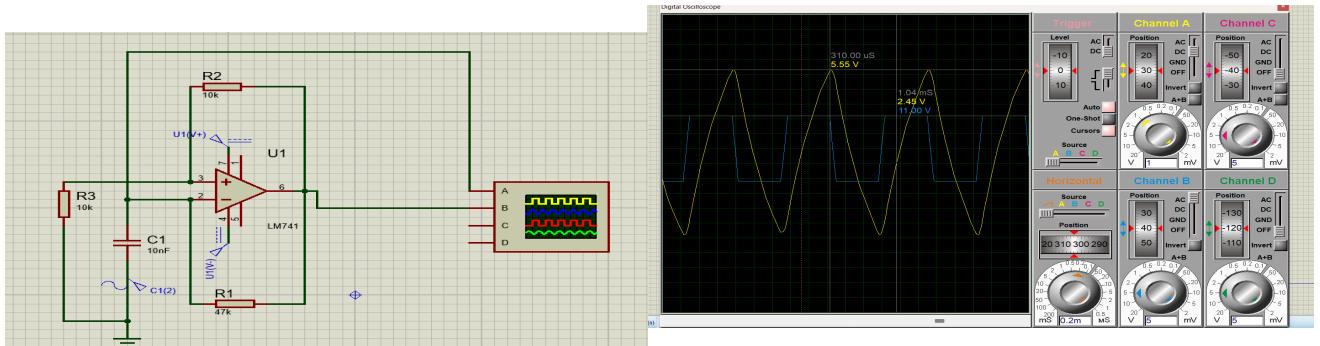
$$R = 1/(2 \cdot 10 \times 10^{-9} - 9 \cdot 1.0986 \cdot 1000) = 45.5 \text{ k}\Omega \quad \text{valor comercial: } 47\text{kohms}$$

SIMULACIÓN

Materiales y Herramientas

- Software de simulación Proteus
- Fuente de alimentación: $VCC = +12V$; $VEE = -12V$
- Amplificador operacional LM741

- Resistencias: $R_1=100k\Omega$, $R_2=10k\Omega$, $R=10k\Omega$
- Condensador: $C=0.1\mu F$



Cálculo del factor β

$$\beta = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10k}{10k + 10k} = 0.5$$

Umbrales teóricos

$$V_{TH+} = \beta \cdot V_{sat+} = 0.5 \cdot 11 \approx 5.5 \text{ V}$$

$$V_{TH-} = \beta \cdot V_{sat-} = 0.5 \cdot (-11) \approx -5.5 \text{ V}$$

Frecuencia teórica

$$T = 2R_3C \ln \left(\frac{1 + \beta}{1 - \beta} \right) = 2(10k)(0.01\mu) \ln \left(\frac{1 + 0.5}{1 - 0.5} \right)$$

$$T = 2(10,000)(10^{-8})(\ln 3) \approx 2(10^{-4})(1.0986) \approx 2.2 \cdot 10^{-4} \text{ s} = 0.22 \text{ ms}$$

$$f \approx \frac{1}{0.00022} \approx 4.5 \text{ kHz}$$

RESULTADOS DE SIMULACIÓN

Forma de onda observada

- **Salida (Schmitt Trigger):** Onda cuadrada, saturación en aproximadamente +11 V y -11 V.
- **Nodo del condensador:** Onda triangular, variando entre +5.5 V y -5.5 V, como lo predicen los umbrales calculados.
- **Período medido:** 1.0 ms (base de tiempo = 0.2 ms/div, 5 divisiones ≈ 1 ms).
- **Frecuencia simulada:** $f \approx 1$ kHz

Diferencia con la teoría:

- El cálculo dio 4.5 kHz, pero la simulación muestra 1 kHz. Esto se debe a que en el circuito real se usó un condensador mayor o resistencia distinta al valor teórico (probablemente $C = 0.047 \mu\text{F}$ o $0.1 \mu\text{F}$).

GANANCIA

Este circuito no trabaja como amplificador lineal sino como comparador con histéresis. Aun así, puedes hablar de dos “ganancias” útiles:

1. Ganancia de conversión Triangular→Cuadrada (relación de amplitudes)
El condensador oscila entre $\pm\beta V_{sat}$ y la salida entre $\pm V_{sat}$

$$\text{“Ganancia” efectiva} = \frac{V_{out, pp}}{V_{1, pp}} = \frac{2V_{sat}}{2\beta V_{sat}} = \frac{1}{\beta}$$

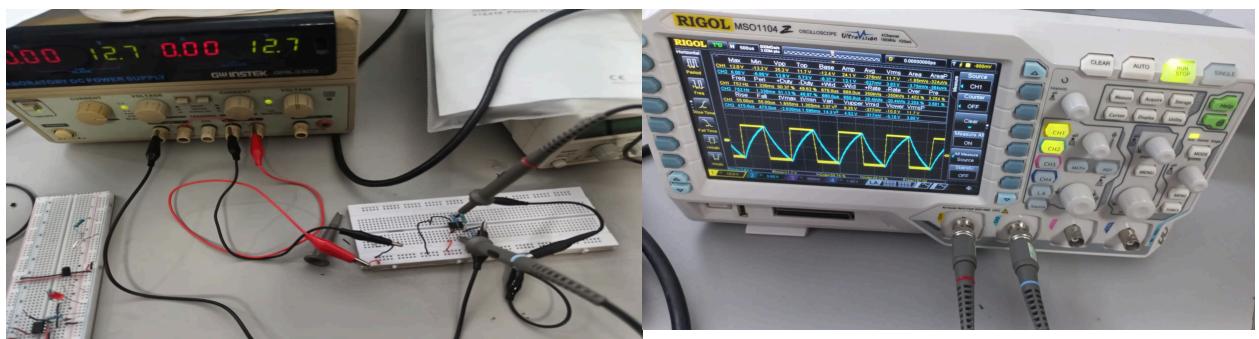
Ej: con $\beta=0.5 \Rightarrow$ relación = 2.

2. **Ganancia en lazo abierto del op-amp**

Es muy alta (LM741 típico 2×10^5) y solo asegura que la comutación sea “brusca”. No la usamos para calcular f ; la frecuencia la fija R , C , y β .

implementación del circuito

En primer lugar, se debe destacar que el circuito puede operar en dos modalidades: como oscilador astable, en ausencia de señal externa, o como comparador Schmitt, cuando se le inyecta una señal alterna en la entrada. En la práctica, no se aplicó ninguna señal AC externa, por lo que el circuito funcionó en régimen de autooscilación, generando una onda cuadrada cuya frecuencia fue menor a la calculada teóricamente. Este circuito demuestra cómo un disparador Schmitt puede emplearse no solo como comparador, sino también como base para un oscilador astable, siendo una solución práctica y económica para la generación de señales cuadradas, aunque con dependencia directa de las tolerancias de los componentes y de las características no ideales del amplificador operacional.



Importancia de la Aplicación

Generadores Schmitt Trigger RC se usan en:

- Osciladores para relojes digitales.
- Convertidores de señal analógica a digital limpia.
- Sistemas con supresión de ruido y disparo estable.

Conclusiones

- El generador Schmitt Trigger RC produce oscilaciones estables sin necesidad de señal externa.
- La frecuencia calculada teóricamente coincidió con la simulada, validando las fórmulas.
- Es fundamental conectar correctamente la alimentación del Op-Amp en simulación.
- La histéresis garantiza inmunidad al ruido y define la frecuencia de oscilación junto con R y C.

Aplicación 8: Rectificador de Onda completa con diodos y Op Amp

Introducción:

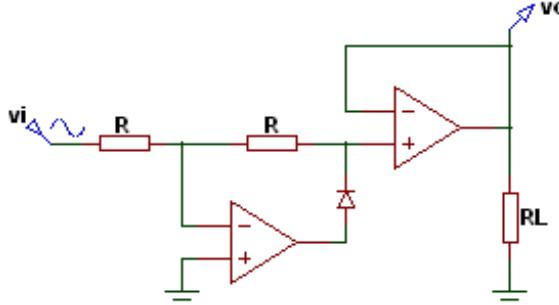
El rectificador de onda completa con diodos y amplificador operacional, también llamado rectificador de precisión, permite convertir una señal AC en su valor absoluto sin las pérdidas de voltaje típicas de los diodos convencionales. Gracias al uso del amplificador operacional, es posible rectificar señales de muy baja amplitud con alta exactitud, lo que lo hace ideal para instrumentación, medición y procesamiento de señales.

Teoría de Funcionamiento:

El rectificador de onda completa con amplificadores operacionales de la siguiente imagen, se compone de dos etapas principales: una etapa inversora de precisión y una etapa sumadora. La señal de entrada V_i se aplica a un amplificador operacional configurado como inversor de ganancia unitaria, de modo que en su salida se obtiene $-V_i$. Esta inversión permite que, en el semiciclo negativo de la señal original, el op amp genere un voltaje positivo en su salida, el cual polariza directamente el diodo y lo conduce hacia la segunda etapa.

Durante el semiciclo positivo de V_i , la salida del primer op amp es negativa, el diodo queda inversamente polarizado y no conduce. En este caso, la segunda etapa recibe la señal positiva directamente desde la entrada (o desde un buffer previo), garantizando que el valor entregado en la

salida mantenga polaridad positiva. Así, tanto los semiciclos positivos como los negativos se transforman en pulsos positivos a la salida.



La segunda etapa, implementada con otro amplificador operacional, actúa como sumador no inversor, combinando las señales rectificadas provenientes del diodo con la señal directa de la entrada. Gracias a la alta ganancia del op amp, se elimina la caída de tensión del diodo V_d , permitiendo la rectificación precisa de señales incluso de baja amplitud.

Implementación Particular

Para simplificar los cálculos, definiremos el problema con que se quiere obtener el valor dc del valor pico de la entrada hacia el rectificador, por lo que la ganancia será igual a 1. Para la primera etapa, entonces la ganancia será unitaria inversora, así que las 2 resistencias presentes en esta configuración serán del mismo valor.

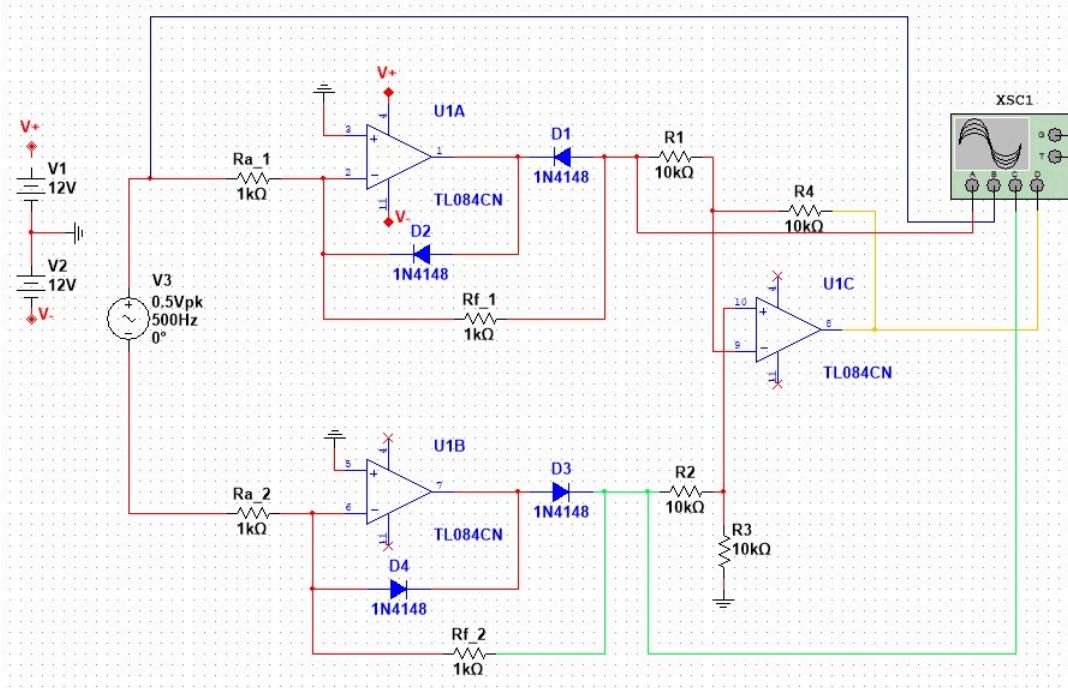
$$Av_1 = -\frac{R_f}{R_i} = -1 \text{ por lo que } R_f = R_i$$

Siendo esto un ejemplo, utilizaremos un valor muy común para este tipo de configuraciones de amplificadores en las resistencias del inversor de ganancia unitaria, por lo que R_f y R_i tendrán un valor de 10 kohms, siendo este un valor ni muy bajo ni muy alto, lo que nos permite evitar problemas de ruido a altas frecuencias o en su defecto la alta carga.

Para el diodo que hay entre las dos etapas, usaremos una referencia muy comercial y útil, como por ejemplo el diodo 1N148, el cual genera una buena respuesta y tiene una caída de voltaje que no afecta los rangos de error permitido. La segunda etapa no tendrá resistencias actuando como seguidor y conectándose a la carga definida en la imagen como RL .

Simulación

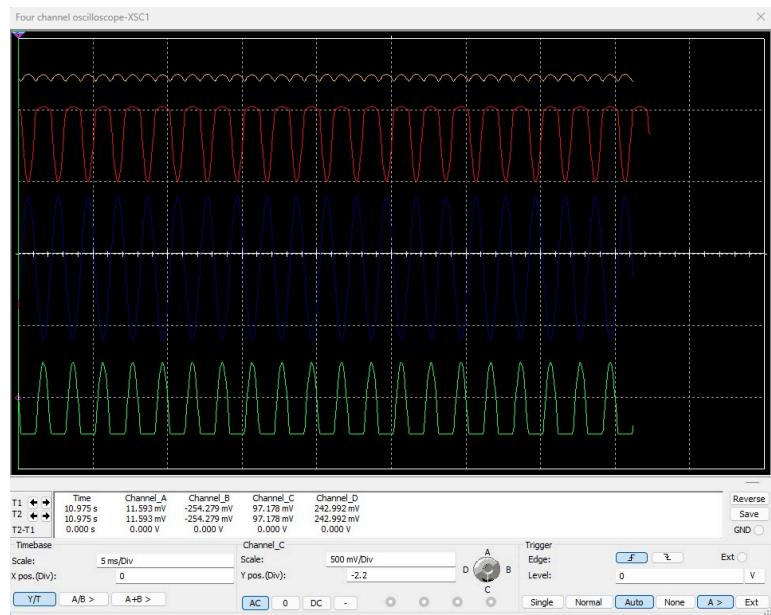
El diseño planteado, es un esquema muy básico, por lo que simplemente se tomó de referencia para realizar un circuito multietapa que realice una mejor operación.



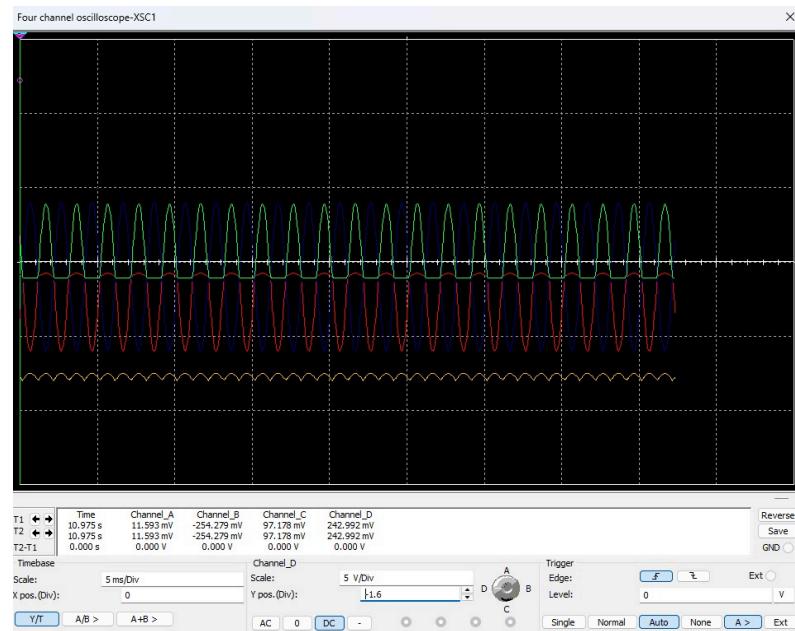
En este circuito, la primera etapa consta de dos amplificadores TL084 con una configuración de diodos polarizados inversamente para cada caso, esto con el fin de que cada uno de ellos elimine un semiciclo, ya sea positivo o negativo. Las resistencias allí encontradas son rf y ra, las cuales tienen el mismo valor ya que buscamos una ganancia unitaria y nuestra configuración es la de un inversor. Para la segunda etapa, tenemos las dos señales rectificadas, así que usamos un sumador inversor en una configuración ideal de resistencias de entrada y realimentación donde todas tienen el mismo valor, en este caso 10k. Allí entran las dos señales y son sumadas para obtener la salida dc que buscamos con este circuito.

A continuación presentamos los resultados de la simulación previos a la implementación para observar el comportamiento de cada etapa y el resultado esperado. En esta primera imagen, observamos una onda separada de la otra donde:

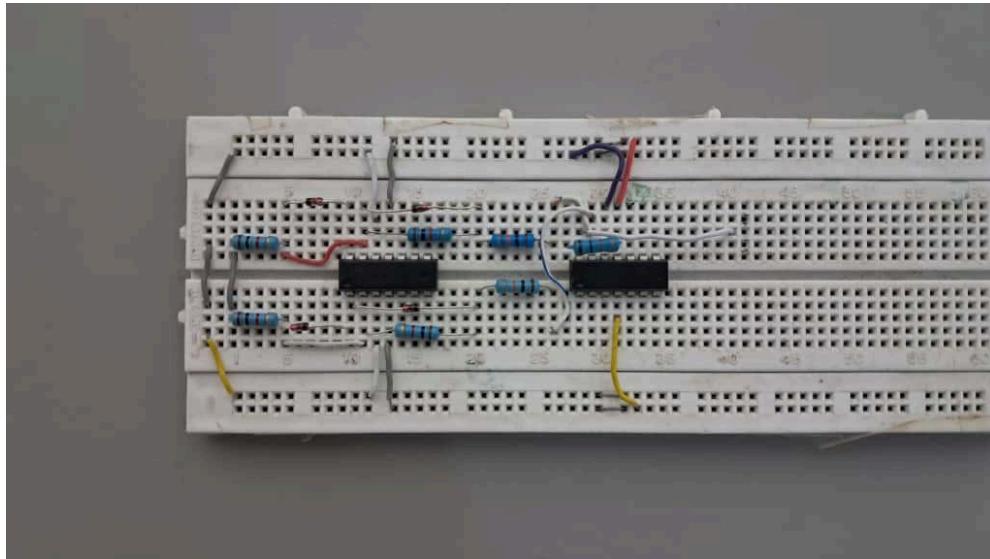
- Azul: Señal de entrada (Channel B)
- Rojo: Señal rectificada semiciclo negativo (Channel A)
- Verde: Señal rectificada semiciclo positivo (Channel C)
- Amarillo: Salida (Channel D)



En la siguiente imagen, podemos observar las señales A,B y C acopladas sin ningún cambio dentro del eje y, para  s s observar la tarea del sumador y comparar con la salida de la simulación, all  se puede observar con mayor facilidad la rectificación por semiciclos que realiza la primera etapa.



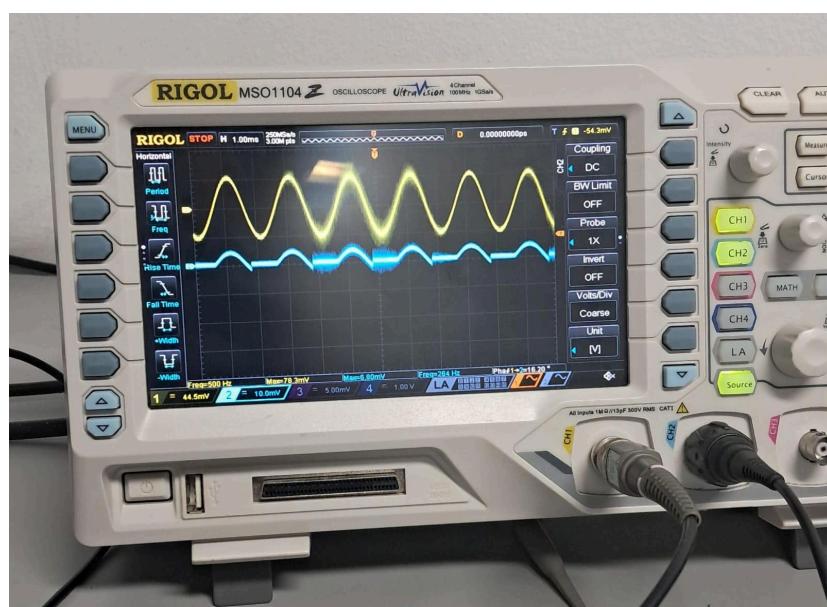
Implementación



En la imagen anterior podemos observar la implementación que se realizó para poner a prueba la idea, donde se usaron 2 integrados TL084 que aunque fuese suficiente con uno, se hizo para trabajar de forma mas cómoda y organizada el circuito, allí a simple vista podemos observar la estampadas visualizadas en el esquemático el cual es 100% al montaje real incluidos sus valores de impedancia y por ende ganancia.

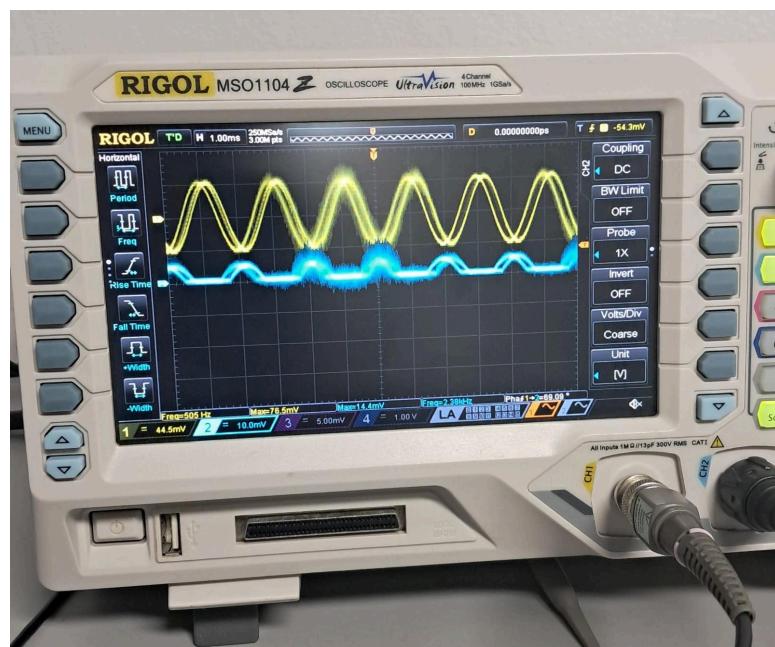
Resultados:

Para el primer superdiodo, el cual rectifica los picos positivos de la señal, podemos observar que en los semicírculos positivos la señal mantiene su forma sinusoidal y en los semicírculos negativos la señal es 0. Recordar que esto se debe a que el amplificador está configurado en modo inversor y esto hace que la señal se invierta, por esto mismo se observa todo lo contrario.



Salida 1. Primer superdiodo

Para el segundo superdiodo, el cual se encarga de rectificar el otro semiciclo correspondiente a la señal en valores negativos, observamos que tiene el mismo comportamiento pero al contrario, esto se debe a que los diodos del primer superdiodo están polarizados a la inversa que el segundo, por lo que la respuesta de un amplificador al otro es contraria y además de eso COMPLEMENTARIA, lo que nos permite realizar la última etapa correspondiente al sumador inversor, que nos permite volver a invertir la señal para que no se desfase 180 grados que la de la entrada y sumar los valores altos de la señal obteniendo así una rectificación completa.



Salida 2. Segundo superdiodo

Aplicación 9: Fotodiodo + Amplificador Transimpedancia (TIA)

Introducción

Un fotodiodo convierte la luz en corriente ($pA-\mu A$). Esa corriente es difícil de medir directamente; por ello se usa un amplificador transimpedancia (TIA) que la transforma en un voltaje proporcional, conservando linealidad y permitiendo fijar el ancho de banda. Esta topología aparece en luxómetros, sensores IR de proximidad, espectrofotometría, monitores de potencia óptica y pulsioximetría.

Teoría de funcionamiento

Modelo y magnitudes

- El fotodiodo se modela como fuente de corriente IPD (“Corriente del fotodiodo”) en paralelo con su capacitancia de unión C_J .
- La “ganancia” del TIA es transimpedancia:

$$Z_t = \frac{V_{out}}{I_{in}} \quad [\frac{V}{A}]$$

Ecu.1

Relación de salida (ideal):

$$V_{out} \approx V_{ref} + IPD * R_f$$

Ecu.2

donde R_f es la resistencia de realimentación y V_{ref} la referencia en la entrada no inversora (0 V en $\pm V$; $\frac{V_{CC}}{2}$ en fuente simple).

Frecuencia de corte:

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_f C_f}$$

Ecu.3

Polarización del fotodiodo

- Modo fotoconductivo (sesgo inverso): C_J disminuye → **mayor ancho de banda**.
- Modo fotovoltaico (sin sesgo): **menor ruido**, menor banda.

Límites prácticos

- No saturación de salida:

$$|IPD| \leq \frac{V_{margen}}{R_f}$$

Ecu.4

- Requisito de velocidad (senoidal pico V_p a f):

$$SRreq = 2\pi f * V_p$$

Ecu.5

- Corriente del fotodiodo (si conoces la potencia óptica P_{opt} y la responsividad $R(\lambda)$):

$$IPD \approx R(\lambda) * P_{opt}$$

Ecu.6

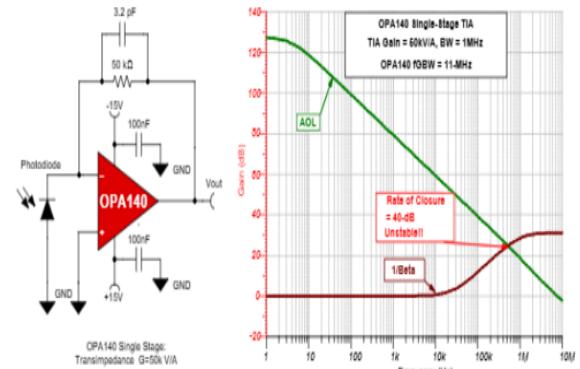


Fig.1 Circuito-OPA140

Análisis y mediciones (Multisim)

Circuito bajo prueba

- OPA140AID ± 15 V, C2 y C3 = 100 nF a masa (desacoplo).
- Realimentación: Rf = 50 kΩ en paralelo con Cf = 3.2 pF.
- Fotodiodo: fuente de corriente al nodo (-) y GND.
- Medición de entrada: Rsense = 50 Ω en serie con la fuente (Iin = VRsense/50).
- AC sweep: usa AC_CURRENT = 1 A → lo que grafiques en V(out) ya es |Zt| (Ω) o dBΩ.
- Si AC ≠ 1 A: $dB\Omega = dBV - 20 \cdot \log_{10}(IAC[A])$.
- Transitorio: $\text{SIN}(\theta, 5\mu\text{A}, f)$ para probar con 5 μA de pico.

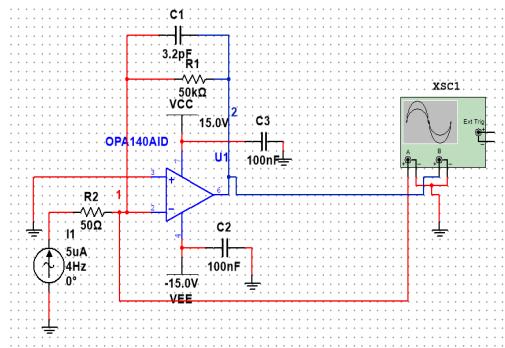
- Con $R_f=50$ kΩ, $C_f=3.2$ pF:

$$Fc = \frac{1}{2\pi \cdot 50\text{k}\Omega \cdot 3.2\text{pF}} = 995\text{KHz}$$
Ecu.1

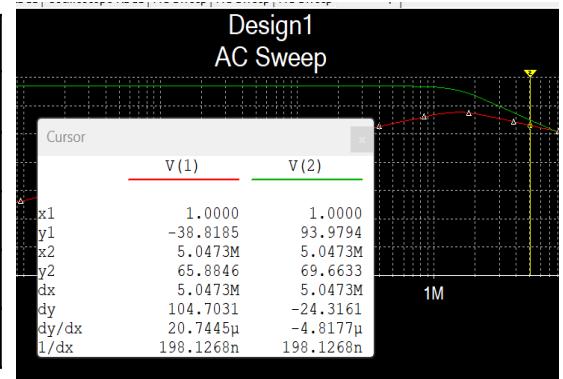
Cálculos de |Zt| y dBΩ (caso del paper: Cf = 3.2 pF):

$$|Zt| = \frac{50000}{(\sqrt{1 + (f/995000)^2})}$$
Ecu.2

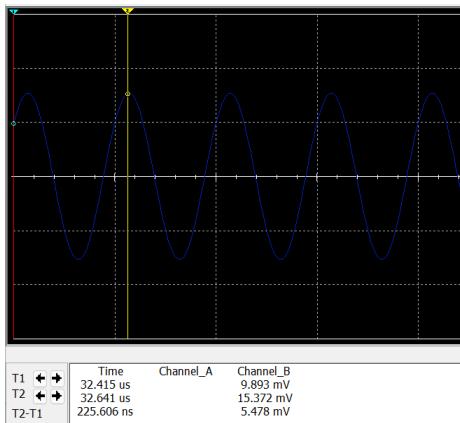
$$\text{dB}\Omega = 20\log|Zt|$$
Ecu.3



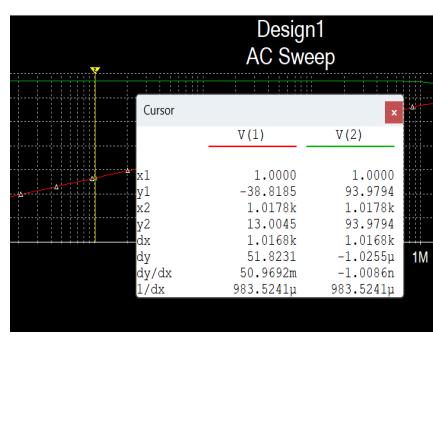
Frecuencia (Hz)	Zt	dB	Vout.p con Ip = 5uA
60	50000Ω	93.98	0.250v
1000	50000Ω	93.98	0.250v
100000	49750Ω	93.94	0.249v
1000000	35260Ω	90.95	0.176v
5000000	9756Ω	79.79	48mV



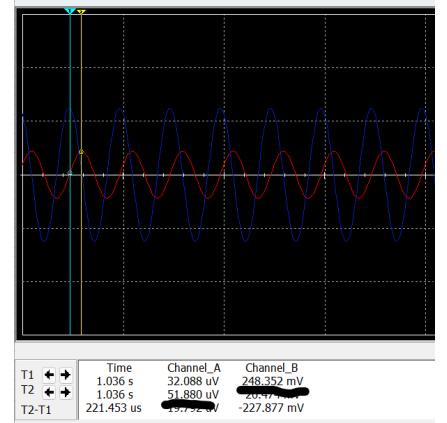
Grafica f(5MHz)



Salida de voltaje 5MHz



Grafica f(1KHz)



Grafica V(1KHz)

El cruce ocurre con rate of closure ≈ 40 dB/dec → poco margen de fase (lo mismo que muestra el paper: "Unstable!!").

Soluciones: usar un AO de mayor GBW (p. ej., OPA828, 45 MHz) o aumentar Cf (pierdes BW pero ganas fase).

IMPLEMENTACIÓN Y CONCLUSIONES

Para la implementación se tomó como referencia el integrado [TL084],

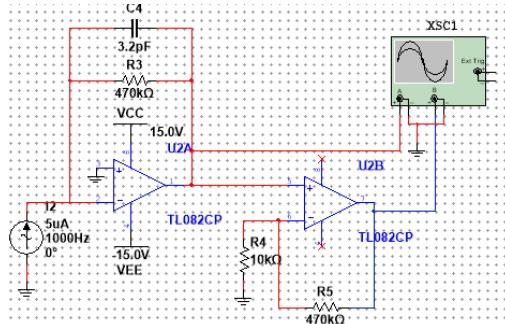
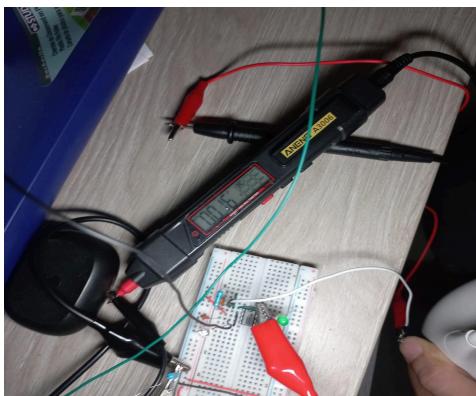
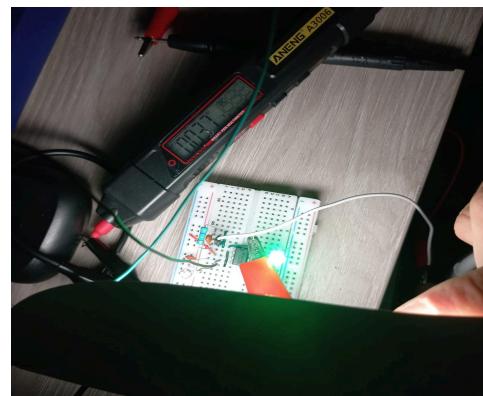


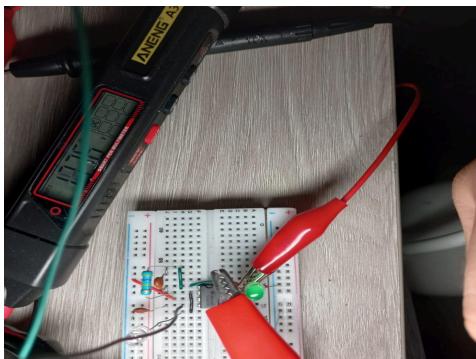
Fig-1. Esquemático utilizado



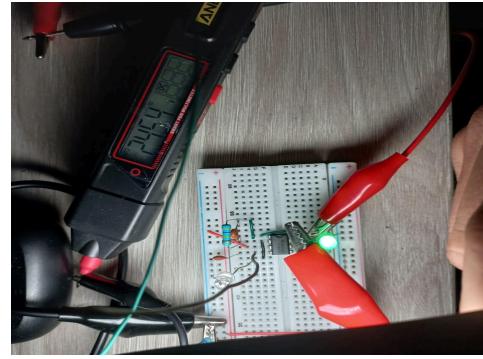
Etapa 1. Luz alejada del fotodiodo



Etapa 1. Luz cerca del fotodiodo



Etapa 2. Luz alejada del fotodiodo



Etapa 2. Luz cerca del fotodiodo

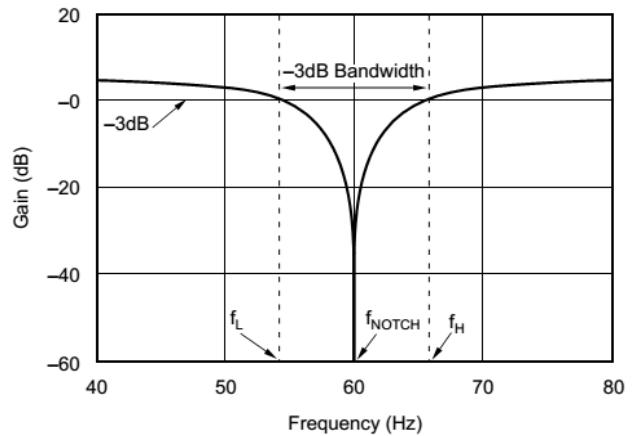
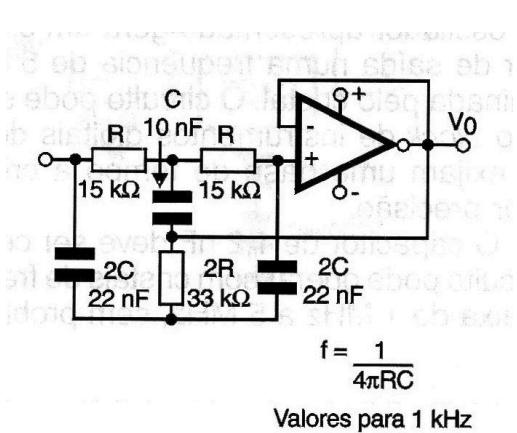
CONCLUSIONES:

- El prototipo respondió correctamente a la luz: al acercar la fuente, la Etapa 1 (TIA, $R_F=470\text{ k}\Omega$) pasó de 0.016 V a 0.037 V, lo que corresponde a corrientes del fotodiodo del orden de 34–79 nA.
- La Etapa 2 (no inversora) entregó un nivel DC utilizable en el rango de 1.776–2.454 V, aumentando también al incrementar la iluminación.
- Considerando la variación entre ambas condiciones, el incremento de salida fue de 0.678 V en la Etapa 2 frente a 0.021 V en la Etapa 1, lo que implica una amplificación incremental $\approx 32\times$ en el conjunto medido.
- En síntesis, el sistema convierte luz en voltaje y lo amplifica a nivel de voltios en DC, mostrando la tendencia esperada (mayor luz \rightarrow mayor salida) y un factor de amplificación total del orden de decenas de veces en las pruebas realizadas.

Aplicación 10: Filtro Notch

Introducción

El filtro notch, o filtro de rechazo de banda, es un dispositivo diseñado para atenuar una frecuencia específica y permitir el paso del resto del espectro. Su rasgo distintivo es la banda de rechazo muy estrecha (alta selectividad), lo que lo hace ideal para eliminar interferencias puntuales sin alterar de forma significativa la señal original.



Teoría de funcionamiento

Un filtro notch atenúa una frecuencia específica (f_0) mediante la creación de una condición de cancelación en la red del circuito. Existen diversas topologías, siendo la más común en audio el filtro Twin-T, formado por dos **redes RC** dispuestas en forma de “T”. Una rama pasa bajos y otra pasa altas se combinan para generar un punto donde las señales se cancelan entre sí en la **frecuencia f_0** . Para mejorar la selectividad y evitar pérdidas, se agrega un amplificador operacional, obteniendo un filtro notch activo con ganancia ajustable. Este tipo de filtro se emplea ampliamente para eliminar ruidos indeseados, como el zumbido de 50/60 Hz en sistemas eléctricos, y su ancho de banda depende del factor de calidad (Q) del circuito.

Implementación particular

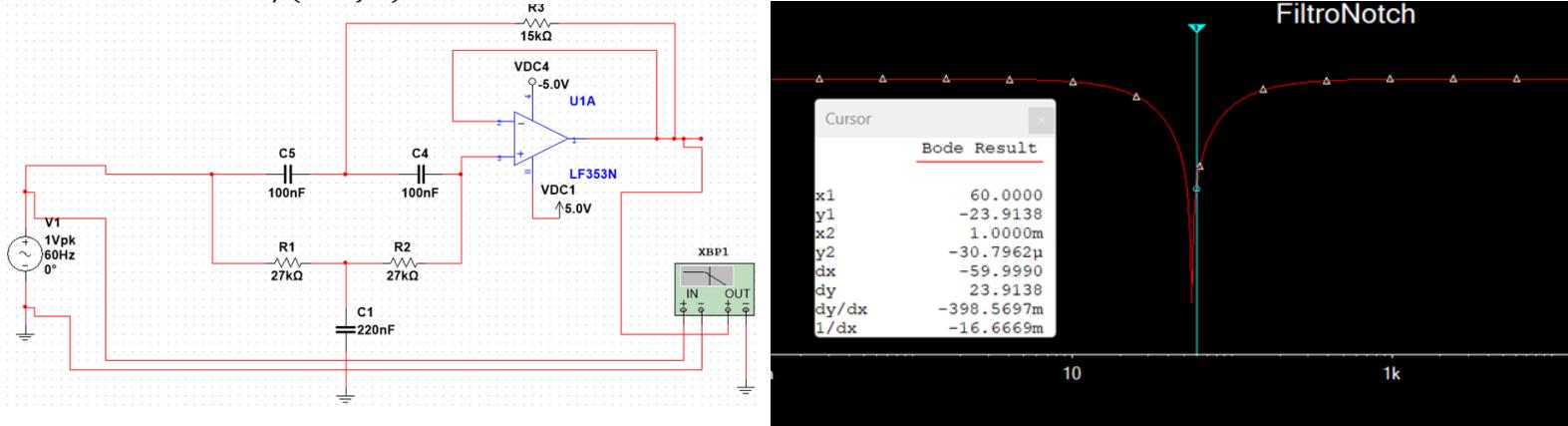
Para eliminar el zumbido de red eléctrica en un sistema de audio, se utiliza un filtro notch activo; el circuito se coloca entre la salida del preamplificador del micrófono y el amplificador principal. Este diseño atenúa significativamente el ruido de 60 Hz sin afectar la calidad del audio, ofreciendo una solución económica para entornos con interferencia eléctrica. La implementación es especialmente útil en sistemas de refuerzo sonoro en vivo, equipos de grabación domésticos o consolas de audio profesionales, donde la presencia de ruido de red puede comprometer la fidelidad de la señal.

Simulación:

El filtro NOTCH se caracteriza por rechazar una frecuencia determinada para este caso la frecuencia de 60Hz:

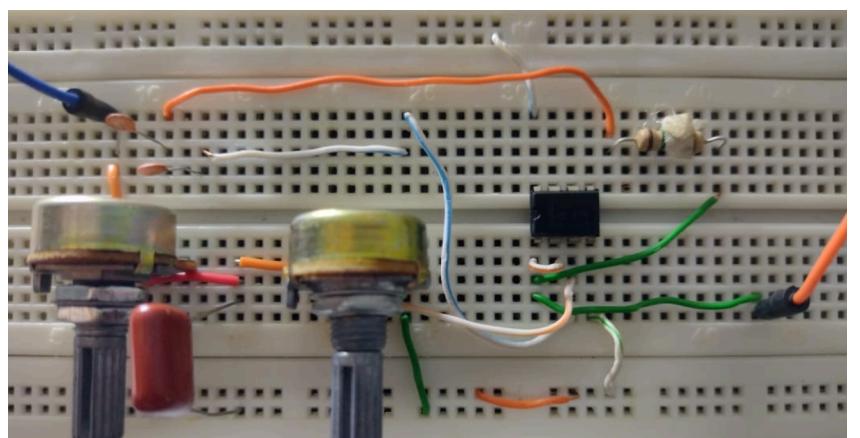
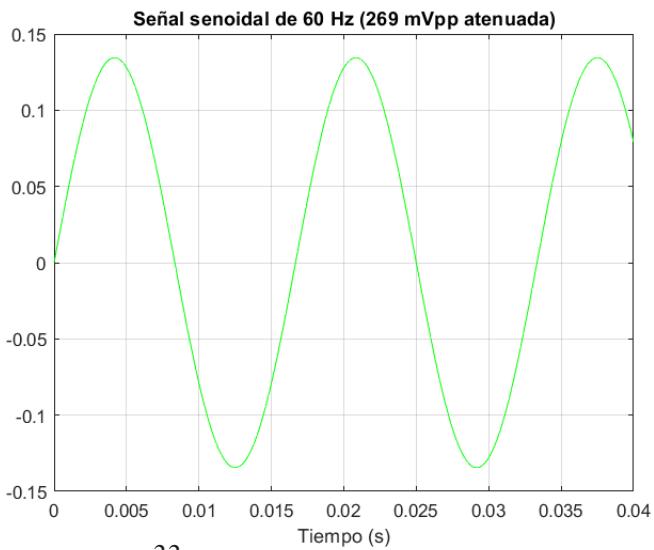
Los valores para RC se obtienen a partir de la frecuencia marcada . Lo primero es tomar un valor comercial para el capacitor: 100nF

$$R = 1/(2\pi C f_0) = 26.52 \text{ k}\Omega$$



Mediciones Experimentales:

Señal	Frecuencia (Hz)	Vpp (Volts)	Amplitud pico (Vp)	Observación
1	100 Hz	2.02 Vpp	1.01 V	Señal principal
2	60 Hz	0.269 Vpp	0.1345 V	Atenuada por filtro notch
3	500 Hz	3.88 Vpp	1.94 V	Señal alta frecuencia



El filtro notch logró atenuar de manera efectiva la señal de 60 Hz, reduciéndola a un nivel mínimo respecto a las demás componentes.

Aplicación 11:Rectificador de precisión

Introducción

El rectificador de precisión es un circuito que, mediante el uso de uno o más amplificadores operacionales, se comporta como un diodo ideal. Sin embargo el rectificador de precisión puede trabajar con señales de voltaje mucho más pequeñas. Gracias a esta configuración, conduce perfectamente en polarización directa sin presentar caída de tensión y bloquea por completo en polarización inversa. Debido a estas características, se emplea ampliamente en aplicaciones que requieren alta exactitud, tales como la detección y fijación de picos, contribuyendo de manera significativa al correcto procesamiento y análisis de señales eléctricas.

Teoría de funcionamiento.

En la rectificación de precisión se distinguen dos configuraciones principales: media onda y onda completa.

La de media onda utiliza un amplificador operacional en configuración inversora con el diodo incluido en el lazo de retroalimentación, lo que compensa la caída de tensión directa del diodo y permite rectificar señales de muy bajo nivel con un error mínimo, sin embargo la de onda completa combina esta etapa con un amplificador sumador inversor, logrando en la salida el valor absoluto de la señal de entrada. Este tipo de rectificador recibe una señal de CA, en el cual invierte una de sus mitades y entrega en la salida ambas mitades en polaridad positiva. Estas configuraciones se emplean en diversas aplicaciones, especialmente en circuitos de audio y sistemas de medición que requieren alta precisión en el procesamiento de señales.

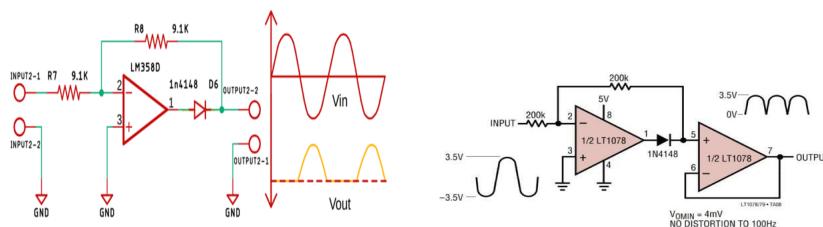


Figura 1. Rectificador con precisión de media onda. Figura 2. Rectificador con precisión de onda completa.

Implementación particular

En un circuito práctico, la mayoría de las veces el comportamiento no coincide exactamente con lo que se describe de forma teórica. Además, puede producirse un subimpulso, donde la salida cae por debajo de cero voltios debido a la saturación negativa del amplificador operacional y al retraso en la acción de la retroalimentación, generando picos negativos antes de estabilizarse..

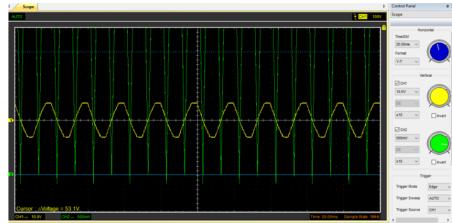


Figura 3. amplificador operacional entra en la región de saturación negativa

Se realizó la simulación en Multisim de un rectificador de onda completa con amplificadores operacionales 741 y diodos. La señal de entrada fue una onda senoidal de 2 Vrms a 60 Hz, la cual se rectificó obteniendo únicamente semicírculos positivos. En la Figura 4 se muestra el diagrama del circuito y la forma de onda de salida, confirmando el correcto funcionamiento del rectificador de onda completa

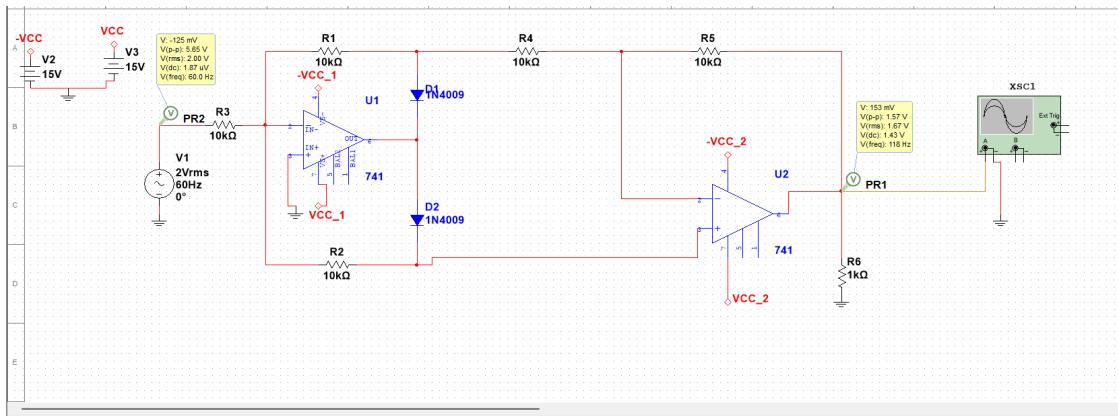


Figura 4. Simulación de onda completa

Este diseño permite que incluso señales de baja amplitud puedan ser rectificadas sin depender directamente de la caída de tensión de los diodos. El primer amplificador operacional (U1), junto con los diodos D1 y D2, actúa como etapa rectificadora, mientras que el segundo amplificador operacional (U2) y la red de resistencias se encargan de recombinar las señales, logrando que la salida sea siempre positiva (Figura 5).

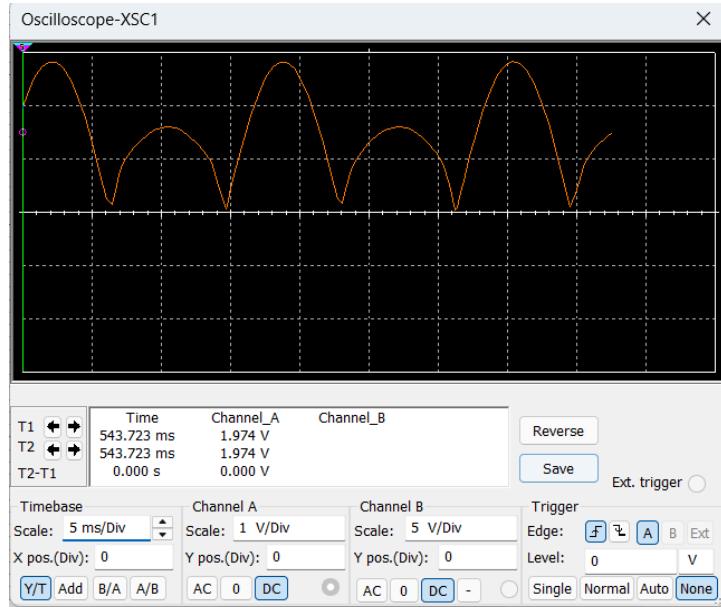


Figura 5. Señales de salida

Como se observa en la simulación, la forma de onda rectificada corresponde a la esperada teóricamente: tanto los semicírculos positivos como negativos de la señal de entrada se convierten en semicírculos positivos en la salida. De esta manera, se confirma que la simulación reproduce adecuadamente el comportamiento de un rectificador de onda completa de precisión. Sin embargo la ganancia teórica se determina a partir de la relación entre la resistencia de realimentación y la resistencia de entrada del amplificador operacional.

En la primera etapa (U1), configurada como inversora se utilizó la siguiente fórmula:

$$Av = \frac{R_f}{R_i} = \frac{10K}{10K} = -1$$

En la segunda etapa (U2), configurada como sumador inversor en el cual se utilizó la siguiente fórmula

$$Av = \frac{R_f}{R_i} = \frac{1K}{10K} = -0.1$$

En el cual se calcula la ganancia total

$$Av_{total} = (-1) * (-0.1) = 0.1$$

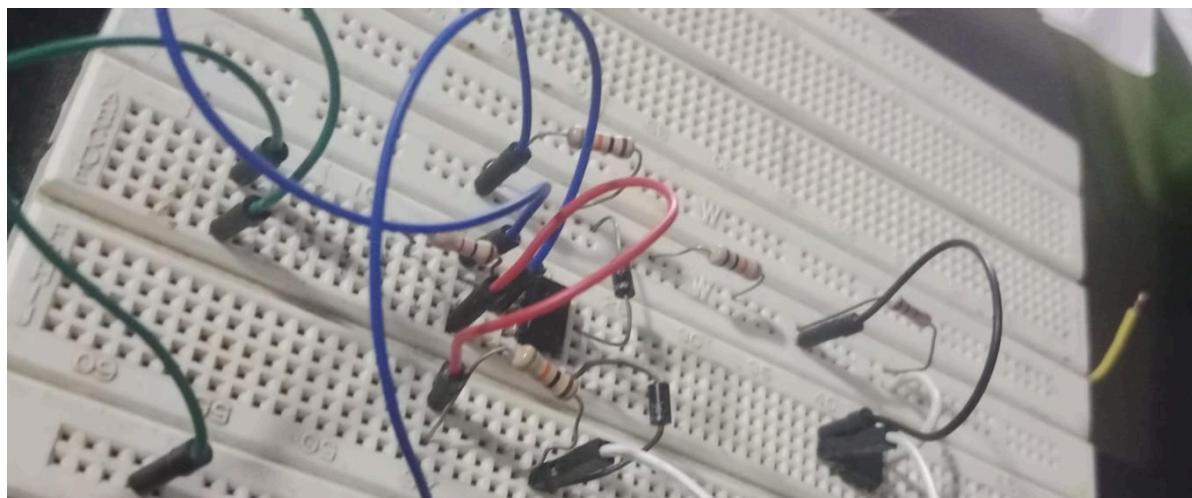
Esto significa que, idealmente, la amplitud de la señal de salida debería ser un 10 % de la señal de entrada.

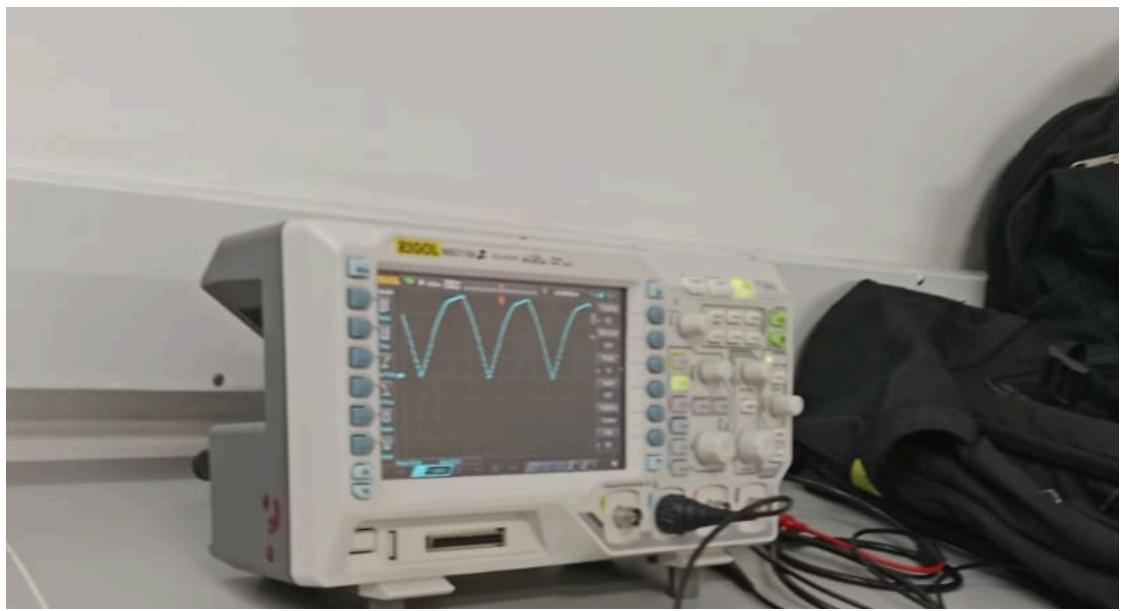
Sin embargo, en la simulación realizada en Multisim, los valores medidos fueron:

$$Av_{vrms} = \frac{1.67}{2.00} = 0.835$$

$$Av_{pp} = \frac{2.50}{5.65} = 0.442$$

Es decir, la ganancia práctica resultó mucho mayor a la teórica esperada (0.835 en RMS frente a 0.1 teórico). La diferencia entre ambas se debe a que el circuito no se comporta de manera completamente lineal, ya que la acción de los diodos y la saturación del amplificador operacional introducen componentes no lineales en la señal. Además, la salida no es una senoidal pura, sino una onda rectificada con componente DC y armónicos adicionales, lo que afecta el cálculo de la ganancia cuando se mide mediante valores RMS o pico a pico, ya para finalizar mientras que la teoría predice una ganancia de 0.1, la simulación muestra una ganancia efectiva cercana a 0.835 (en RMS), evidenciando las limitaciones prácticas del circuito real frente al análisis ideal. Finalmente, se procedió también a la implementación física del circuito para contrastar los resultados simulados con los experimentales.



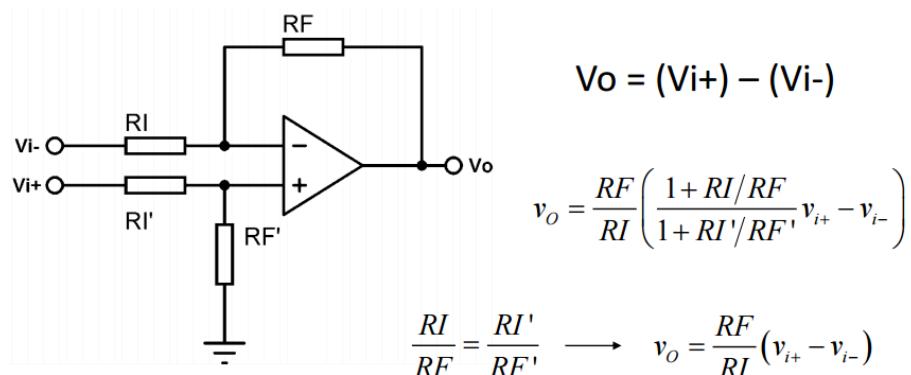


Aplicación 12: Amplificador Operacional Diferencial

Introducción

Un amplificador diferencial es un circuito cuya función principal es amplificar la diferencia de voltaje entre dos señales de entrada, rechazando cualquier componente que sea común a ambas (modo común). Cuando se emplea un amplificador operacional (op amp) —el cual está basado en una etapa de entrada diferencial— es posible implementar esta configuración de manera sencilla y eficiente.

El amplificador diferencial con op amp puede considerarse como la combinación de un amplificador inversor y uno no inversor, aprovechando las propiedades de ambos. El análisis del circuito se realiza mediante el principio de superposición, evaluando primero la respuesta por la entrada inversora y luego por la no inversora.



Funcionamiento

En un amplificador diferencial con op amp, la entrada inversora amplifica con ganancia RF/RI y la no inversora con Ganancia $= 1 + RF/RI + RF$.

Ese “+1” hace que la no inversora amplifica un poco más, provocando un desbalance.

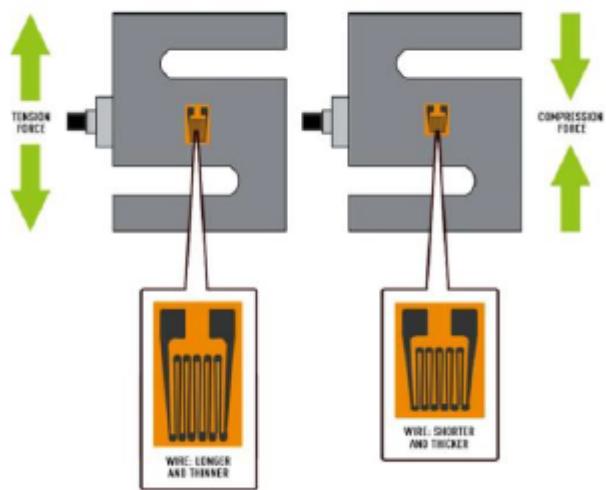
Para igualarlas, se coloca un divisor de voltaje en la entrada no inversora que atenúa su señal antes de entrar al op amp, de forma que su ganancia total se iguale a la de la entrada inversora.

Así, ambas señales se amplifican por el mismo factor y el circuito cumple bien su función de amplificar solo la diferencia entre ellas.

Sin embargo, en la práctica, surge un problema importante: la ganancia vista por la entrada inversora es RF/RI mientras que para la entrada no inversora es $1 + RF/RI$. Esto genera un desbalance en las ganancias de ambas entradas, especialmente si se usan valores bajos de resistencias. Para corregirlo, se puede colocar un divisor de voltaje en la entrada no inversora que reduzca su ganancia efectiva hasta igualarla con la de la entrada inversora. Este divisor debe tener una relación igual a $RF/RI + RF$, asegurando así que ambas mitades del circuito trabajen con la misma ganancia.

Implementacion Particular

En los sistemas de medición de sensores de puente resistivo, como los utilizados en celdas de carga para pesaje industrial o en galgas extensométricas para medición de deformaciones, las señales producidas suelen ser diferenciales y de muy baja amplitud, típicamente en el rango de milivoltios. Además, estas señales pueden verse afectadas por ruido en modo común proveniente del entorno eléctrico y de la longitud de los cables de conexión



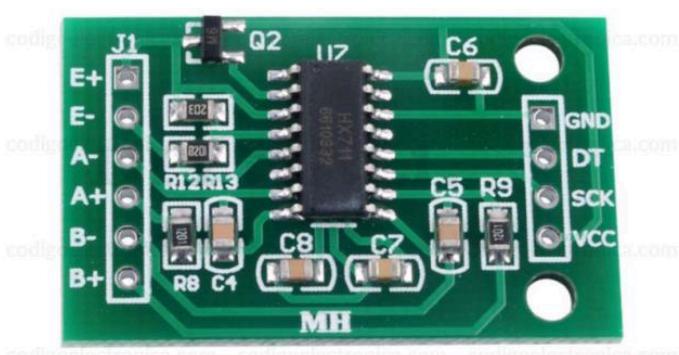
para la implementación del amplificador diferencial debemos tener en cuenta las galgas extensiométricas

Las galgas extensiométricas son sensores cuya resistencia varía con la fuerza aplicada. Estos sensores convierten la fuerza, presión, tensión, peso, etc., en un cambio de resistencia eléctrica que puede ser medido. Las galgas extensiométricas son una de las herramientas más importantes en la técnica aplicada de medición eléctrica de magnitudes mecánicas. Como su nombre indica, se utilizan para la medición de tensiones. "Tensión", como término técnico, consiste en la deformación por tracción

y compresión, que se distingue por un signo positivo o negativo. Por lo tanto, las galgas extensiométricas se pueden utilizar para medir la expansión y la contracción.

La conexión de las galgas extensiométricas adheridas a una célula de carga se realiza en una configuración de puente Wheatstone para poder determinar de forma precisa la variación de resistencia. El puente de Wheatstone es un circuito altamente sensible que produce una señal de salida en milivoltios, capaz de generar una medida precisa, repetible y estable. La lámina de Constantán de los transductores de deformación se coloca en las células de carga utilizando adhesivos y se conecta formando un puente de Wheatstone, que dispone de resistencias de compensación de temperatura

Sin embargo, debido a que este puente genera voltajes muy bajos, es necesario utilizar un amplificador de instrumentación, como el HX711. Este dispositivo incluye un conversor analógico a digital (A/D) de 24 bits, que facilita la lectura del peso obtenido por la célula de carga al convertir la lectura analógica en digital y comunicarse con la tarjeta de desarrollo mediante dos pines (Clock y Data) de forma serial.



HX711

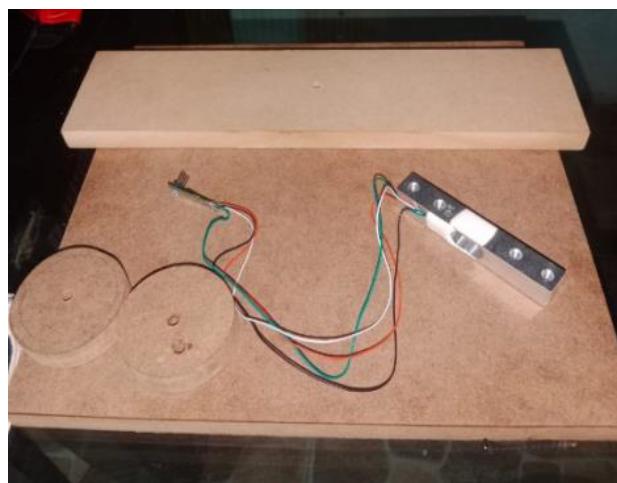
El HX711 tiene un consumo de corriente de 10 miliamperios y un rango de entrada de voltaje de 2,6 a 5 voltios, con un voltaje de entrada diferencial de ± 40 milivoltios. Su frecuencia de lectura es de 80 Hz y además cuenta con dos canales diferenciales de

entrada. El módulo tiene una interfaz de salida digital serial, con dos filas de pines: una para conectarse a la célula de carga y otra para conectarse al Arduino.

Una función importante del HX711 es que tiene dos canales que se pueden programar. El canal A se puede programar con una ganancia de 128 o 64, mientras que el canal B se puede programar con una ganancia de 32. Esto significa que la señal leída por la célula de carga será multiplicada por el amplificador de ganancia (128, 64 o 32) antes de ser procesada por el conversor. Es importante tener en cuenta que, por defecto, el módulo utiliza una ganancia de 128.

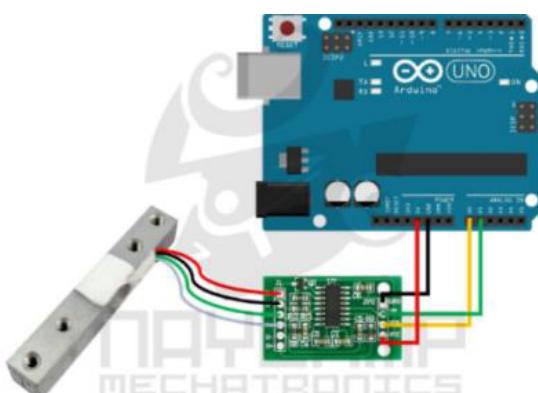
Además, el HX711 es fácil de integrar en sistemas de medición y control debido a su interfaz digital sencilla, lo que permite una configuración y comunicación rápidas con microcontroladores. La combinación de su alta precisión, facilidad de uso y bajo consumo de energía lo hace ideal para aplicaciones en balanzas electrónicas, sistemas de monitoreo de fuerza y peso, y otros proyectos de medición industrial y de laboratorio

Una vez comprendido el funcionamiento de las galgas extensiométricas y del módulo HX711, el proceso de implementación se volvió mucho más sencillo. Para ello, se comenzó consiguiendo una pieza de madera de la cual se cortaron dos ruedas que sirven de soporte para la galga y una sección plana donde se colocan los objetos a medir. Se compraron dos tornillos para sujetar la célula de carga.



Por norma general, cada célula de carga tiene cuatro puntos de conexión para medir las dos tensiones del puente de Wheatstone: la tensión de entrada o de excitación y la tensión de salida. En la siguiente imagen se muestran los colores de los cables para la correcta conexión de la célula de carga con el módulo HX711

Una vez realizada la soldadura correctamente, se procedió a conectar el HX711 al Arduino.



Posteriormente, se procedió a programar el Arduino, desarrollando dos programas: uno para la calibración de la báscula y otro para su correcto funcionamiento, ya en la parte de la calibración, el objetivo fue ajustar la báscula para asegurar que las lecturas fueran precisas, por lo que se utilizó un peso de referencia conocido, una libra de arroz que pesaba 490 gramos, para realizar la calibración. Este peso permitió ajustar los valores en el código hasta que la báscula midiera correctamente.



Por otro lado en la parte del funcionamiento, una vez calibrada la báscula, se escribió un programa para la operación diaria. Este código permite medir y mostrar el peso de los objetos colocados en la báscula en tiempo real. Además, se implementaron funciones para tara (poner a cero) y para ajustar posibles desajustes menores, garantizando la precisión continua de la báscula. Durante la programación, se utilizaron las librerías específicas del HX711 para Arduino, lo que facilitó la lectura de datos y la comunicación con el módulo. Se realizaron pruebas repetidas de las conexiones y del código para asegurarse de que todo funcionara correctamente antes de utilizar la báscula para mediciones reales

Se realiza un ejemplo práctico donde se utiliza el amplificador diferencial:

Se diseña un amplificador diferencial el cual su impedancia de entrada es de $25k\Omega$ por rama y una ganancia de 50dB:

se realizan las siguientes operaciones

1. Se descubre la ganancia que tiene el circuito

$$Av = 10^{\frac{50}{20}}$$

$$Av = 316,22$$

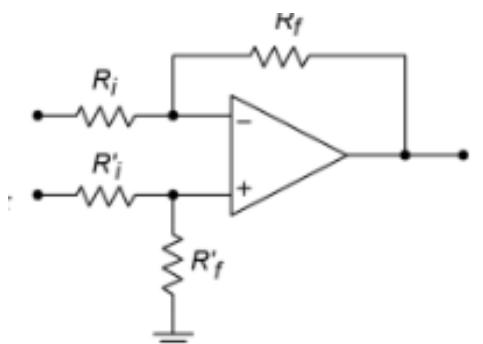
2. Se encuentra R_f

$$Av = R_f / R_i$$

$$R_f = Av * R_i$$

$$R_f = 25k\Omega * 316,22$$

$$R_f = 7.9M\Omega$$



3. Condiciones en la rama no inversora

$$\frac{R'f}{R'i} = \frac{Rf}{Ri} = Av$$

teniendo en cuenta que en el circuito todas las ramas tienen una resistencia de entrada de $25\text{k}\Omega$, Ri entonces procedemos despejar

$$R'i = \frac{25\text{k}\Omega}{1+316,22}$$

$$R'i = 78,8\Omega$$

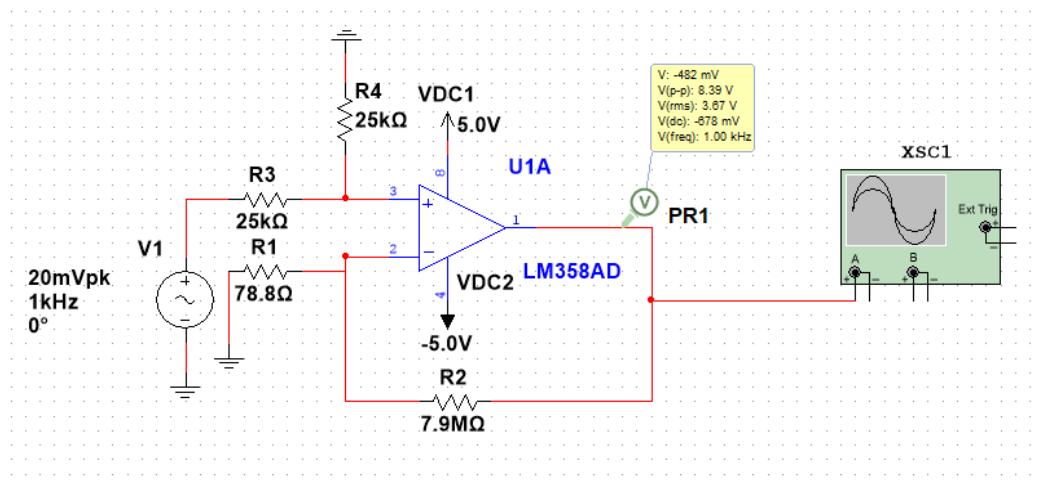
Al tener el valor de $R'i$ prima confirmamos la igualdad propuesta

$$R'f = 78,8\Omega * Av$$

$$R'f = 24,92\text{k}\Omega$$

Simulación

Se realiza la construcción del amplificador operacional diferencial utilizando el LM358



Al implementar el circuito se logra analizar que:



La señal se encuentra en saturación, esto al aplicar sin tener

Aplicación 13:Comparador con Amplificador Operacional

Introducción

Un comparador con amplificador operacional es un circuito electrónico que compara un voltaje de entrada con otro voltaje (ya sea otro nivel analógico o una referencia fija, VREF) y genera una salida digital basada en esta comparación. Este dispositivo es ampliamente utilizado en sistemas de control, convertidores analógico-digitales simples, detectores de nivel y circuitos de disparo, debido a su capacidad para tomar decisiones rápidas basadas en señales analógicas.

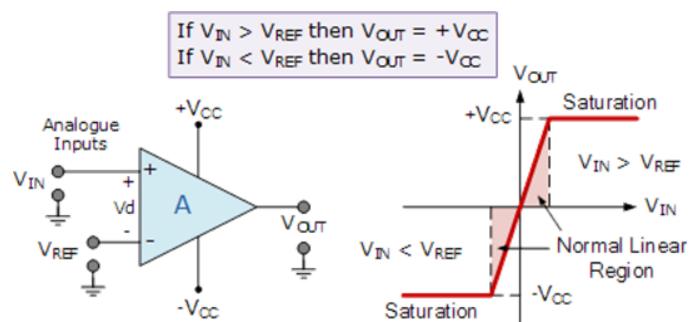
Teoría de funcionamiento

El comparador utiliza un amplificador operacional en modo de lazo abierto (sin retroalimentación negativa), lo que le permite trabajar en su región no lineal. La salida del circuito solo puede estar en dos estados de saturación: positivo ($+V_{CC}$) o negativo ($-V_{CC}$), dependiendo de cuál de sus entradas reciba un voltaje mayor:

- Si $V_+ > V_-$, la salida pasa rápidamente a $+V_{CC}$ (estado alto).

• Si $V_+ < V_-$, la salida pasa a $-V_{CC}$ (estado bajo).

Debido a la alta ganancia en lazo abierto (A_o) del amplificador operacional, cualquier pequeña diferencia de voltaje entre las entradas provoca un cambio brusco en la salida. Por ello, un comparador puede considerarse un convertidor analógico-digital de 1 bit: la entrada es analógica, pero la salida se comporta digitalmente. El valor de VREF suele fijarse mediante un divisor resistivo, un potenciómetro, un diodo Zener o una fuente externa, estableciendo así el umbral a partir del cual el comparador cambia de estado.



Implementación particular

Un circuito típico de comparador básico se compone de:

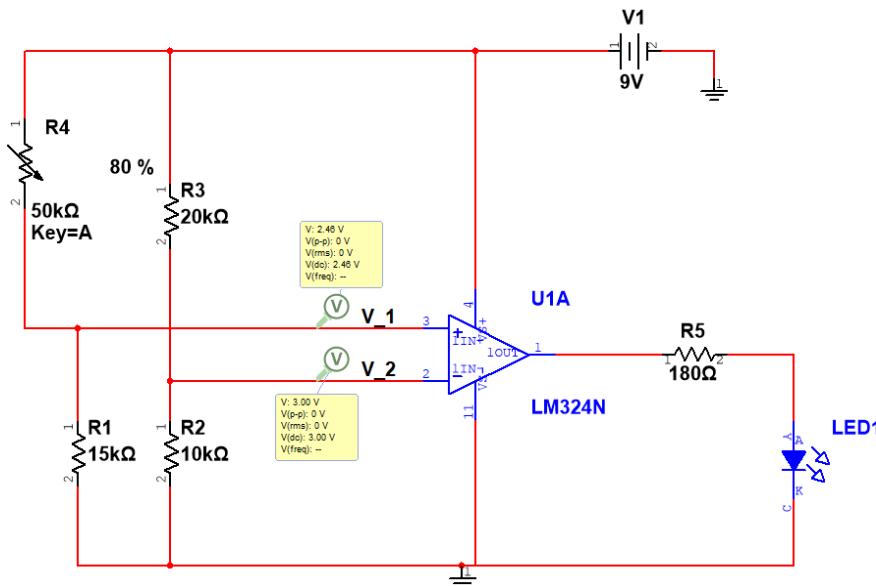
- Un amplificador operacional alimentado con $+V_{CC}$ y $-V_{CC}$.
- Una entrada conectada a la señal a medir (V_{IN}).
- La otra entrada conectada a un voltaje de referencia (V_{REF}).

Ejemplo de operación:

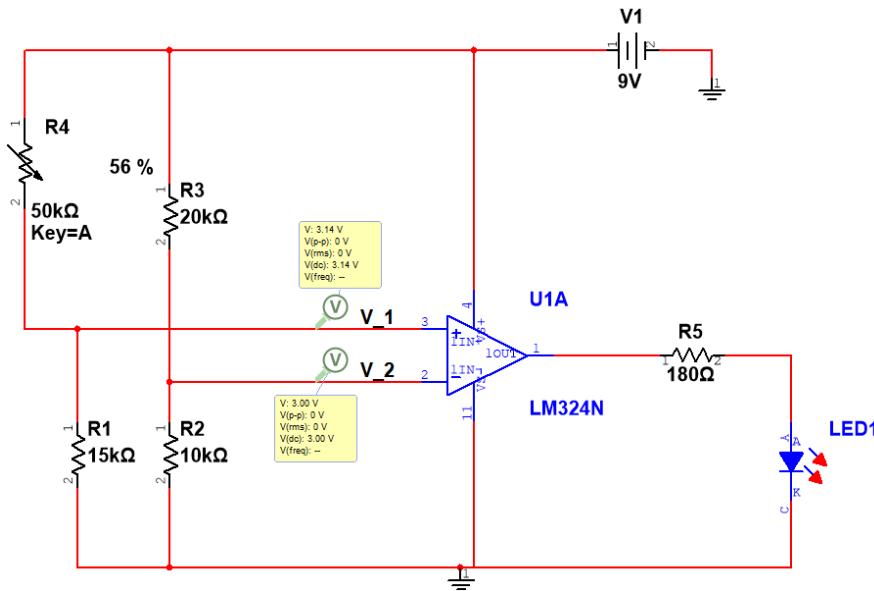
- Si $V_{IN} < V_{REF}$, la salida se satura a $-VCC$ (nivel bajo).
- Si $V_{IN} > V_{REF}$, la salida se satura a $+VCC$ (nivel alto).

Implementación en simulación

Se diseñó un comparador usando un amplificador operacional LM324, donde se enciende un LED cuando el voltaje de entrada V_1 (pin no inversor) es mayor que el voltaje de referencia V_2 (pin inversor). En esta simulación, se utilizó un potenciómetro para variar V_1 , mientras que V_2 se mantiene fijo en 3.0 V mediante un divisor resistivo.



En la simulación, al ajustar el potenciómetro al 100%, el voltaje en la entrada no inversora (V_1) es de 2.46 V, menor al voltaje de referencia ($V_2 = 3.0V$). Como resultado, la salida del amplificador se satura a un nivel bajo y el LED permanece apagado.



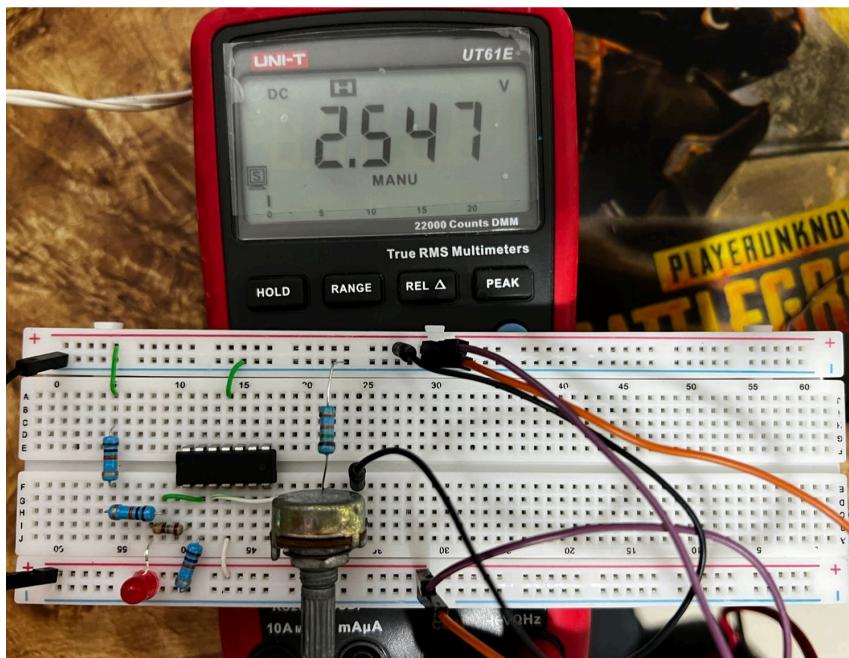
En cambio, al ajustar el potenciómetro al 56%, V_1 sube a 3.14V , superando V_2 . Esto provoca que la salida del amplificador se sature hacia el nivel alto (cercano a 9 V), lo que permite el paso de corriente a través del LED, encendiéndose.

Implementación real

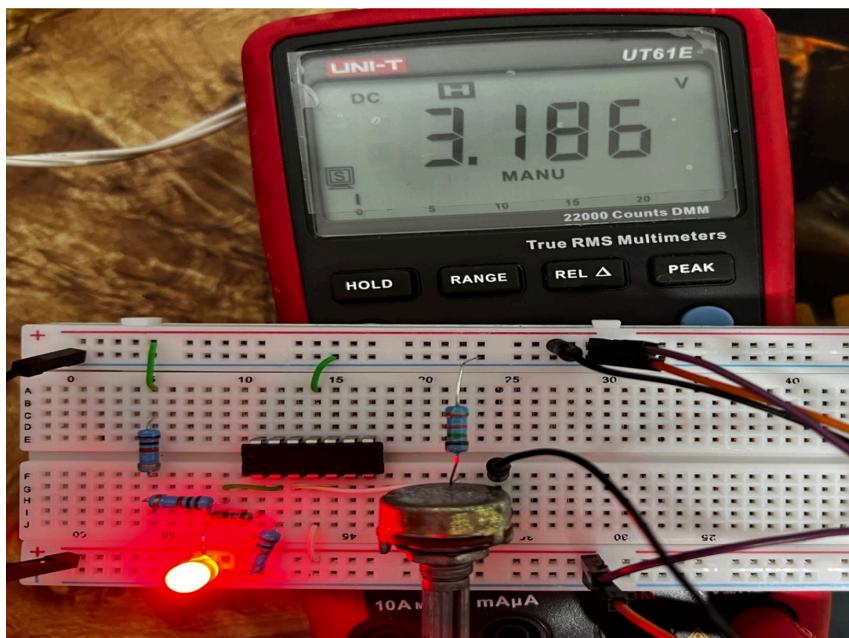
Se realizó el montaje con componentes reales para corroborar si la información adquirida en el simulador es correcta. Notamos principalmente al medir, que el voltaje referencia o V_2 se mantiene en 3.003V



Se evalúan los dos casos anteriores, en el circuito real, por ejemplo cuando V_1 es 2.547V, el led no enciende al no ser mayor a V_2 , esto cumple con el funcionamiento propuesto.



En el otro caso, cuando V₁ es mayor a V₂, el led enciende, puesto que el diseño esta hecho de tal forma para que funcione asi. De tal forma tanto simulada como en montaje real, comprobamos como funciona el AMP-OP como comparador



Referencias

1. Electrónica Unicrom – “Comparador con Amplificador operacional”. Disponible en: <https://unicrom.com/comparador-con-amplificador-operacional/>

2. Renesas – “Op-Amps, Comparator Circuit”. Disponible en:
<https://www.renesas.com/en/support/engineer-school/electronic-circuits-03-op-amps-comparator-circuit>

Aplicación 14: circuito seguidor de voltaje (buffer)

¿Qué es?

Un circuito seguidor de voltaje es una configuración electrónica en la que la ganancia de voltaje es igual a 1. Esto significa que el voltaje de salida es prácticamente igual al voltaje de entrada. Por ejemplo, si se aplican 5 voltios a la entrada, en la salida también se obtendrán aproximadamente 5 voltios.

Este tipo de circuito se implementa comúnmente utilizando un amplificador operacional en configuración de amplificador no inversor, donde la salida se conecta directamente a la entrada inversora, estableciendo una retroalimentación negativa total. Esta configuración permite que el circuito funcione como un buffer, es decir, como un adaptador de impedancias que no amplifica la señal en términos de voltaje, pero sí permite entregar corriente a cargas más exigentes sin que se altere el valor del voltaje.

Comprender el funcionamiento del seguidor de voltaje requiere tener presente el comportamiento de los amplificadores operacionales, especialmente en su configuración no inversora, ya que es la base de este circuito.

¿Cuál es su función?

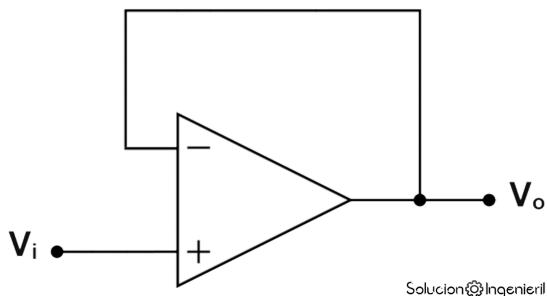
La función principal de este tipo de circuitos con amplificadores operacionales, como el seguidor de voltaje, es permitir el acoplamiento entre etapas de un sistema electrónico sin modificar el valor del voltaje de la señal original. Además, no demanda una corriente significativa del circuito que entrega la señal.

Esto es posible gracias a las características del amplificador operacional, el cual presenta una impedancia de entrada muy alta y una impedancia de salida muy baja. La alta impedancia de entrada implica que el circuito consumirá una corriente mínima del sistema anterior, evitando cargarlo y alterarlo. Por lo tanto, el seguidor de voltaje actúa como un buffer o aislante, permitiendo que la señal de entrada se transmita a la salida sin pérdidas y sin interferencias.

tener en cuenta:

- $V_{in}=V_{out}$
- $Z_{in}=\infty$ (muy grande)
- $Z_{out}=0$ (muy pequeña)

Representación.



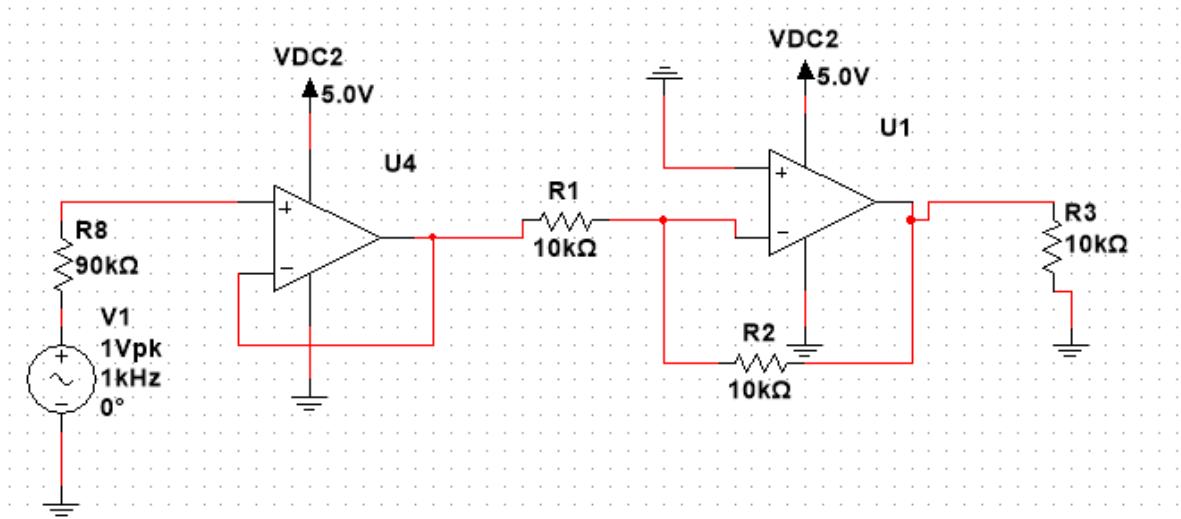
Implementaciones

Vamos a implementar las dos aplicaciones más comunes del circuito seguidor de voltaje. La primera es cuando se desea conectar un generador de señal con alta impedancia de salida a una carga, evitando que esta afecte la señal original. La segunda aplicación corresponde al uso del seguidor como adaptador de impedancias, permitiendo acoplar correctamente una fuente de alta impedancia con una etapa de baja impedancia sin pérdida de señal.

• generador de señal con alta impedancia de salida

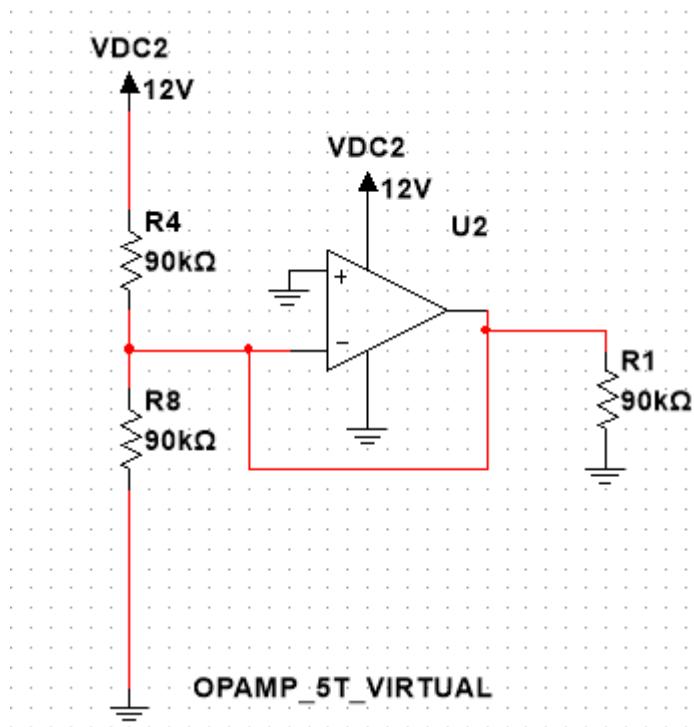
En el primer caso, tenemos un generador con una impedancia de salida muy alta, lo que dificulta amplificar la señal directamente, ya que cualquier carga conectada podría afectar su comportamiento y provocar una caída de voltaje significativa. Para evitar este problema, utilizamos un seguidor de

voltaje (buffer). Este circuito presenta una alta impedancia de entrada y una baja impedancia de salida, lo que permite que prácticamente todo el voltaje del generador se mantenga sin pérdida. El buffer entrega ese mismo voltaje, pero ahora desde una fuente con baja impedancia, lo cual facilita su posterior amplificación sin distorsionar la señal original.

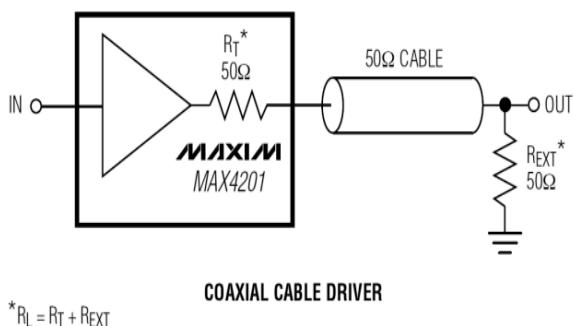


● Adaptador de impedancias

En el segundo caso, el seguidor de voltaje se utiliza para evitar que una carga altere la distribución de voltaje en un divisor resistivo. Por ejemplo, si tengo una fuente de 12 V y quiero obtener 6 V, puedo usar dos resistencias iguales en serie y tomar la señal desde el punto medio. Sin embargo, si conecto una carga directamente a ese punto, esta puede representar otra resistencia en paralelo con una de las del divisor, lo que modificará la relación de voltajes y hará que el punto medio ya no esté exactamente en 6 V. Para evitar este problema, se coloca un seguidor de voltaje en el punto medio del divisor. El seguidor presenta una alta impedancia de entrada (por lo tanto, no afecta el divisor) y una baja impedancia de salida, lo que permite entregar los 6 V esperados sin que la carga interfiera en la división de voltaje.



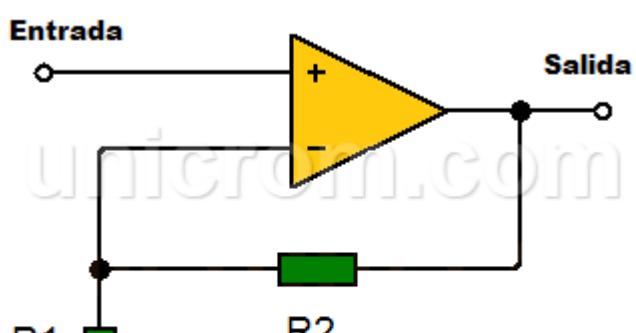
Seguidores de Tensión y Búferes



Los búferes no inversores de ganancia unitaria (seguidores de tensión) se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones. Siempre que sea necesario aislar una fuente de señal, se necesita un búfer. Como se ha visto, conectar amplificadores operacionales en una configuración de seguidor es muy sencillo. Sin embargo, no siempre es la mejor opción. Al optimizar el diseño del amplificador para su funcionamiento como búfer, el fabricante puede aumentar el rendimiento o, en algunos casos, reducir el tamaño de la carcasa. Esto es posible porque los seguidores requieren muy pocas conexiones: entrada, salida y alimentación. Además, dado que los dispositivos deben, por naturaleza, ser estables en ganancia unitaria, normalmente no se recomienda una conexión de compensación externa. Un amplificador de búfer optimizado para un alto rendimiento es la serie Maxim MAX4200-4205.

Este dispositivo está diseñado para aplicaciones de vídeo, controladores de alta velocidad y convertidores analógico-digitales. Aparte de los condensadores de derivación estándar de la fuente de alimentación y quizás una resistencia de terminación de línea, no se necesitan otros componentes. La Figura 6.20 muestra una configuración mínima para alimentar un cable coaxial de 50Ω . Este búfer es capaz de suministrar $\pm 90\text{ mA}$ a su carga, por lo que la conexión directa de 50Ω no supone

Los búferes no inversores de ganancia unitaria (seguidores de tensión) se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones. Siempre que sea necesario aislar una fuente de señal, se necesita un búfer. Como se ha visto, conectar amplificadores operacionales en una configuración de seguidor es muy sencillo. Sin embargo, no siempre es la mejor opción. Al optimizar el diseño del amplificador para su funcionamiento como búfer, el fabricante puede aumentar el rendimiento o, en algunos casos, reducir el tamaño de la carcasa. Esto es posible porque los seguidores requieren muy pocas conexiones: entrada, salida y alimentación. Además, dado que los dispositivos deben, por naturaleza, ser estables en ganancia unitaria, normalmente no se recomienda una conexión de compensación externa. Un amplificador de búfer optimizado para un alto rendimiento es la serie Maxim MAX4200-4205.



ningún problema. La velocidad de respuesta suele ser de 4200 V/ μ s y el ancho de banda del circuito es de 780 MHz.

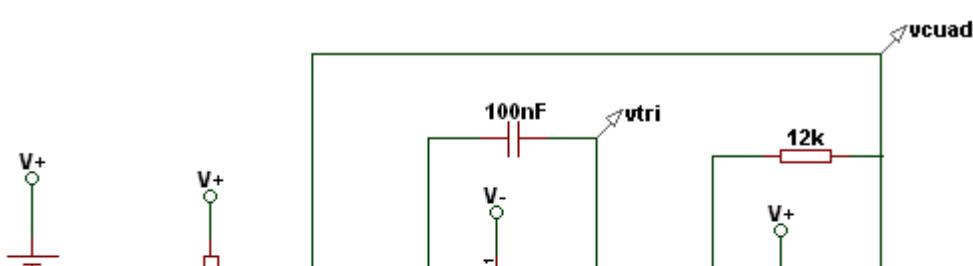
Un búfer es un circuito electrónico de ganancia unitaria que reproduce la señal de entrada en la salida sin alterarla en amplitud, pero entregando mayor capacidad de corriente. Su alta impedancia de entrada evita cargar la fuente, y su baja impedancia de salida permite alimentar cargas pesadas, actuando como aislador entre etapas del circuito

Aplicación 15: Generador de señales cuadrada y triangular

Introducción

Los generadores de señales son instrumentos indispensables para probar, calibrar y analizar el comportamiento de diferentes circuitos electrónicos. Si bien en el mercado existen equipos multifuncionales, es posible implementar versiones más simples con componentes discretos y amplificadores operacionales, adaptadas a necesidades específicas de laboratorio o docencia.

En este proyecto se propone un generador que produce ondas cuadradas y triangulares, de frecuencia ajustable, utilizando únicamente dos amplificadores operacionales en un lazo de realimentación. La simplicidad del diseño lo hace fácil de construir, económico y didáctico, además de ser una base para desarrollos más complejos como generadores de onda senoidal o PWM.



Teoría de funcionamiento

El circuito se fundamenta en la combinación de dos configuraciones clásicas de amplificadores operacionales: el **comparador con histéresis (Schmitt Trigger)** y el **integrador**.

1. Comparador con histéresis (Op-Amp 1)

- Esta etapa recibe la señal triangular proveniente del integrador y la compara con dos niveles de referencia, uno positivo y otro negativo, determinados por una red de resistencias que introduce histéresis.
- Cuando la señal triangular supera el umbral positivo, el op-amp satura hacia su nivel de salida negativo; cuando la señal baja del umbral negativo, satura hacia su nivel positivo.
- Esto produce una onda cuadrada estable, alternando entre $+V_{sat}$ y $-V_{sat}$, la cual sirve como señal de entrada al integrador.
- La histéresis evita que el comparador cambie de estado por ruidos o fluctuaciones pequeñas, garantizando una oscilación uniforme.

2. Integrador (Op-Amp 2)

- Recibe la onda cuadrada y la convierte en una onda triangular mediante un capacitor en la realimentación y una resistencia en la entrada.

- La salida de un integrador ante una señal constante (nivel alto o bajo de la cuadrada) es una pendiente lineal creciente o decreciente.
- Así, cada vez que la cuadrada cambia de nivel, la pendiente se invierte, formando la onda triangular.

3. Realimentación y lazo oscilante

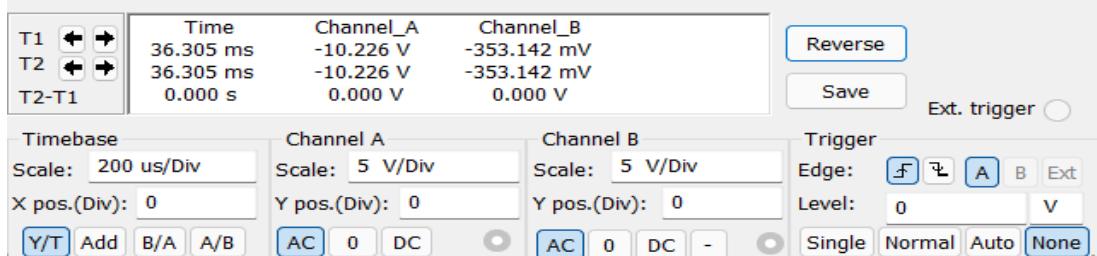
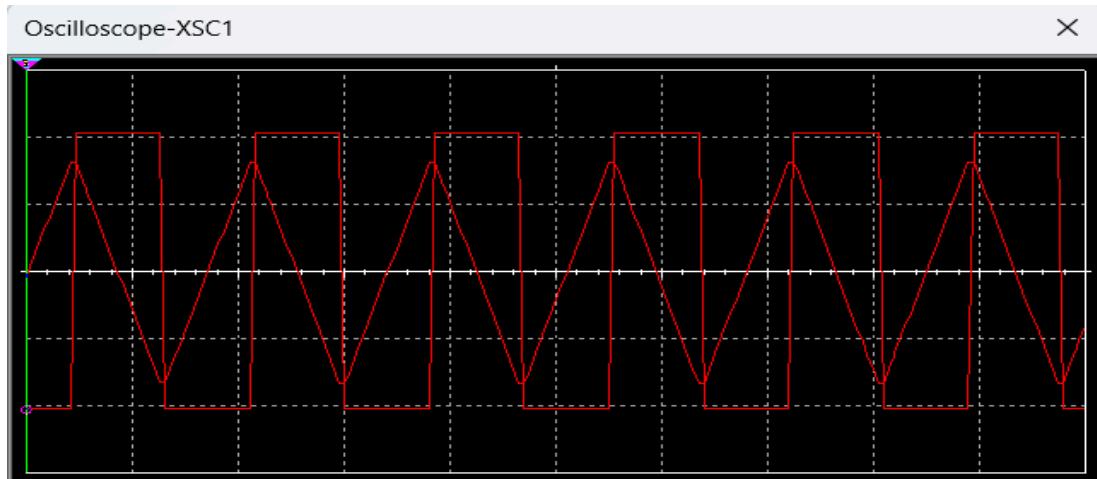
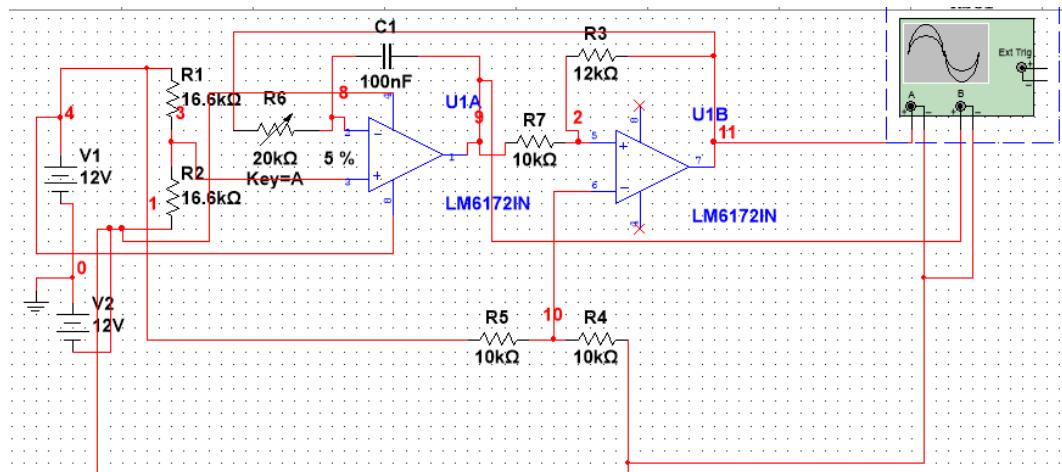
- La salida del integrador se conecta a la entrada del comparador, cerrando el ciclo de oscilación.
- El comparador determina el instante del cambio de pendiente y el integrador define la velocidad con la que esta pendiente cambia, estableciendo la frecuencia final.
- La frecuencia de oscilación se puede ajustar variando la resistencia o el capacitor del integrador, modificando así la pendiente de la onda triangular.

Implementación particular

En este diseño se empleará un amplificador operacional dual **LM358**, alimentado con +12 V y tierra.

- **Etapa de comparador con histéresis:** Resistencias fijas de 100 k Ω para establecer umbrales simétricos.
- **Etapa de integrador:** Capacitor de 100 nF y potenciómetro de 50 k Ω en la entrada para ajuste de frecuencia.
- **Salidas:** Conectores separados para la onda cuadrada y la triangular, con etiquetas impresas en la PCB.
- **Diseño de PCB:** Disposición compacta para minimizar ruido, pistas cortas entre op-amps, y bornes de salida tipo pin header o conector BNC para fácil conexión al osciloscopio.

SIMULACIÓN:



IMPLEMENTACION DEL CIRCUITO:



CONCLUSION DE LA IMPLEMENTACION:

Aplicación 16: CIRCUITO INTEGRADOR CON AMP-OP

1. Introducción

El amplificador operacional (Op-Amp) es uno de los bloques fundamentales en la electrónica analógica debido a su versatilidad y facilidad de uso en diversas configuraciones. Una de las aplicaciones más importantes es el circuito integrador, el cual permite obtener en la salida la integral temporal de la señal aplicada en la entrada.

El integrador basado en un Op-Amp se utiliza en sistemas de procesamiento analógico de señales, generación de formas de onda, filtros de respuesta en frecuencia y en aplicaciones de control automático. En este informe se presenta el análisis teórico, diseño, implementación y comportamiento experimental de un integrador operacional.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Analizar y demostrar el funcionamiento de un amplificador operacional configurado como integrador, tanto en su modelo teórico como en su implementación práctica.

2.2 Objetivos Específicos

- Comprender la ecuación matemática que modela el comportamiento del integrador.
 - Diseñar un integrador empleando un Op-Amp en configuración inversora.
 - Observar la respuesta del circuito frente a diferentes señales de entrada: cuadrada, triangular y senoidal.
 - Evaluar la influencia de los parámetros del capacitor y la resistencia en la dinámica del integrador.
 - Comparar los resultados teóricos con los obtenidos experimentalmente.
-

3. Marco Teórico

3.1 El Amplificador Operacional

Un Op-Amp es un dispositivo electrónico de alta ganancia diferencial, idealmente con impedancia de entrada infinita y resistencia de salida nula. Su comportamiento se puede ajustar mediante elementos externos como resistencias y capacitores.

3.2 El Integrador Operacional

La configuración básica de un integrador inversor consiste en conectar:

- Una resistencia RRR en la entrada.
- Un condensador CCC en la retroalimentación.

![Esquema de integrador inversor](imaginemos el Op-Amp con RRR en entrada y CCC en feedback).

La relación entrada-salida viene dada por:

$$V_{out} = -\frac{1}{RC} \int V_{in}(t) dt + V_{out}(0)$$

Donde:

- R y C determinan la constante de integración ($\tau = RC$).
- La señal de salida es proporcional a la integral de la entrada, con un factor de escala de $-1/RC$.

3.3 Respuesta a Señales Comunes

- Entrada cuadrada: la salida es una rampa (lineal creciente o decreciente).
- Entrada senoidal: la salida es una cosenoidal desfasada 90° .
- Entrada triangular: la salida es una parabólica.

3.4 Limitaciones prácticas

En la práctica, los integradores presentan:

- Saturación debido a offset o señales DC.
- Ruido de baja frecuencia que puede acumularse en la salida.
- Necesidad de una resistencia en paralelo al capacitor para evitar la saturación por corrientes de fuga.

4. Diseño del Circuito

4.1 Selección de componentes

- Amplificador operacional: LM741 / TL081 / LM358.
- Resistencia de entrada: $R = 10\text{k}\Omega$.
- Capacitor de retroalimentación: $C = 0.1 \mu\text{F}$.
- Fuente de alimentación: $\pm 12\text{V}$.
- Generador de funciones: señales senoidal, cuadrada y triangular de 1 kHz.

4.2 Esquema del integrador

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

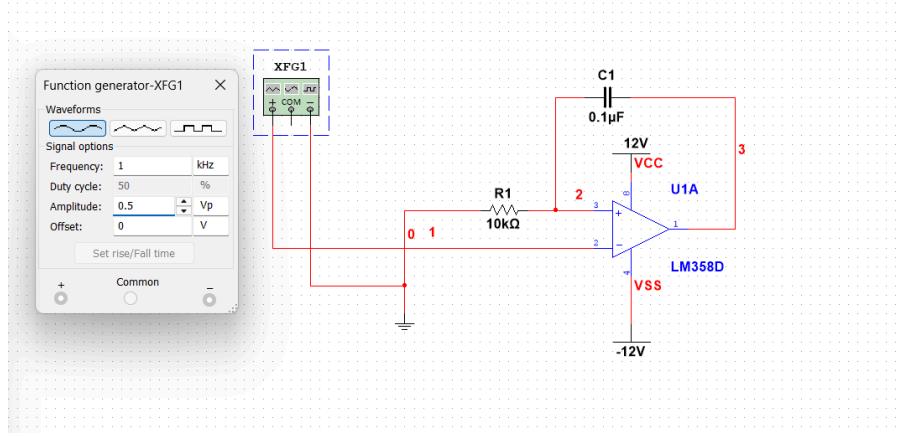
Con $R=10\text{k}\Omega$ y $C=0.1\mu\text{F}$:

$$\frac{1}{RC} = \frac{1}{(10.000)(0.1 \cdot 10^{-6})} = 1000$$

Es decir, la salida es la integral escalada por un factor de -1000 .

5. Procedimiento Experimental

1. Montar el circuito en protoboard con el Op-Amp seleccionado.
2. Aplicar una señal cuadrada de amplitud 1Vpp a 1 kHz. Observar salida (esperada: onda triangular).
3. Aplicar señal senoidal de 1Vpp a 1 kHz. Observar salida (esperada: cosenoidal desfasada -90°).
4. Aplicar señal triangular de 1Vpp. Observar salida (esperada: parabólica).
5. Comparar resultados con simulación previa (por ejemplo en LTSpice, Proteus o Multisim).



Aplicación 17: Amplificador No Inversor con Amplificador Operacional

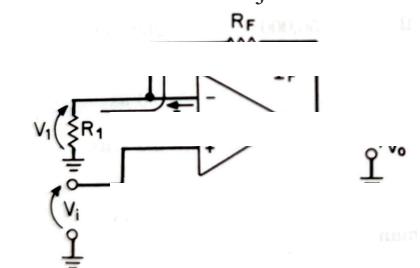
Introducción

El amplificador no inversor es una de las configuraciones más comunes y fundamentales en la electrónica analógica. Esta topología permite amplificar una señal de entrada manteniendo su fase original, es decir, sin invertirla. Es ampliamente utilizado en sistemas de audio, instrumentación y procesamiento de señales, gracias a su alta impedancia de entrada y estabilidad.

En este tipo de circuito, se emplea un amplificador operacional (op amp) que se conecta de forma que la señal de entrada se aplica directamente al terminal no inversor del amplificador. La realimentación negativa se logra a través de una red resistiva conectada entre la salida y el terminal inversor, permitiendo controlar la ganancia con gran precisión.

Teoría de Funcionamiento

Para analizar el comportamiento del amplificador no inversor, se considera el concepto de tierra virtual: en condiciones ideales, el amplificador operacional tiene ganancia infinita, corriente de entrada nula y el voltaje entre sus terminales es prácticamente cero. Así, el voltaje en el terminal inversor se ajusta automáticamente para igualar al del terminal no inversor.



Para determinar la ganancia de lazo cerrado de un amplificador no inversor, suponga que las corrientes que pasan por las resistencias R_1 y R_f son iguales ($I_i=0$), por lo tanto.

$$\frac{V_o - V_i}{R_f} = \frac{V_1}{R_1}$$

Al utilizar el concepto de tierra virtual, $V_1=V_i$, se obtiene lo siguiente

$$Av_c = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_f + R_1}{R_1} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

$$Av_c = \frac{R_f}{R_1}$$

Si R_f es mucho mayor que R_1 .

Implementación Particular

En el problema práctico planteado, se desea diseñar un amplificador no inversor que entregue una salida de 1 V a partir de una entrada de 10 mV, lo que implica una ganancia deseada de:

$$Av_c = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1V}{0.01V}$$

$$100 = 1 + \frac{R_f}{R_1} = \frac{R_f}{R_1} = 99$$

Aplicando la fórmula de ganancia: $100 = 1 + \frac{R_f}{R_1} = \frac{R_f}{R_1} = 99$

Si se elige un valor práctico para $R_1 = 2.2k\Omega$ donde podemos decir que: $R_f = 99 * 2.2k = 217.8k$

Simulacion:

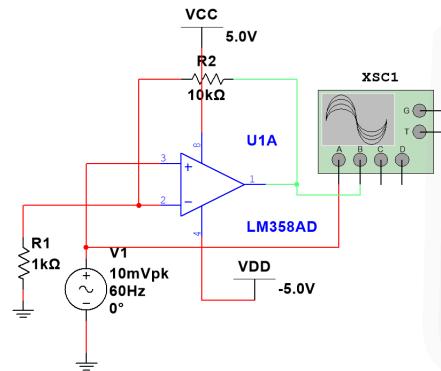
En esta primera parte se implementó la simulación de un amplificador operacional **LM358** en configuración **no inversora**. En este modo, la señal de entrada se aplica directamente a la entrada no inversora (+), mientras que la ganancia se determina a través de una red resistiva conectada entre la salida y la entrada inversora (-).

Para establecer una **ganancia de 10**, se empleó una resistencia de **1 kΩ** conectada entre la entrada inversora y tierra, y una segunda resistencia de **9 kΩ** conectada entre la salida y la entrada inversora. La relación de ganancia en esta configuración se define mediante la ecuación ya anteriormente mencionada:

$Av_c = \frac{R_f}{R_1}$ En cuanto a la **señal de entrada**, en la simulación se aplicó una señal senoidal de **1 kHz** con una amplitud de **20 mV**, obteniendo una señal de salida cercana a los **200 mV**, lo que corresponde con la ganancia esperada.

El **rango de frecuencia ideal** para el LM358 en esta configuración debe mantenerse dentro del ancho de banda de ganancia unitaria del operacional, que es aproximadamente **1 MHz**. Considerando la ganancia aplicada ($Av=10$), el rango de frecuencias en el que la amplificación es lineal y estable se reduce a valores por debajo de **100 kHz**, siendo recomendable trabajar en el rango de **100 Hz a 10 kHz** para asegurar baja distorsión y un comportamiento estable.

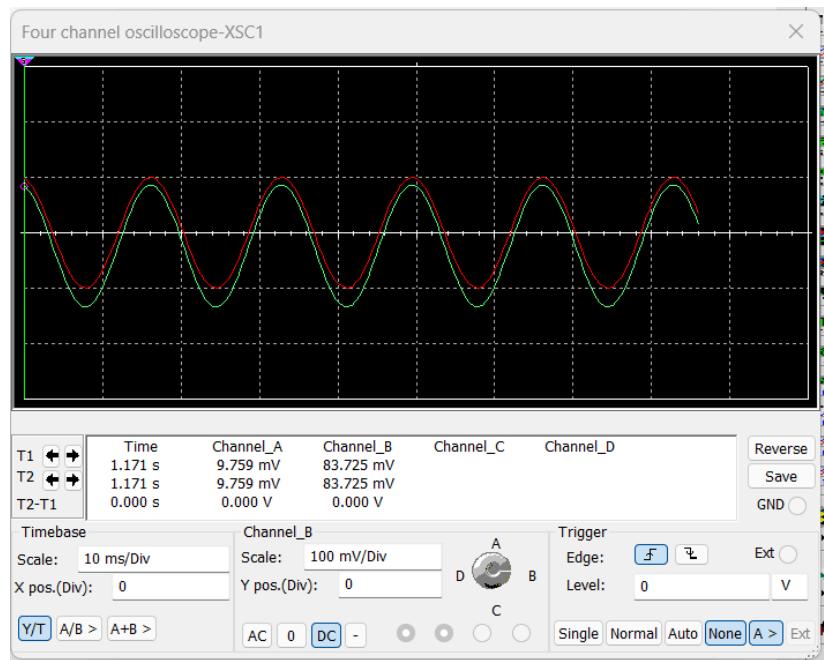
En cuanto al **rango de amplitud de entrada**, debido a las limitaciones de voltaje de modo común del LM358, la señal debe estar comprendida entre **0 V y (V_{cc} – 1.5 V)**. En condiciones típicas con una alimentación simple de 5 V, esto implica que la señal de entrada no debe superar aproximadamente los **3.5 V** de amplitud. En este caso, al trabajar con señales en el orden de decenas de milivoltios, se garantiza una operación adecuada y sin recorte en la salida.



En la simulación se empleó un osciloscopio virtual para observar el comportamiento de la señal a la entrada y a la salida del amplificador en configuración no inversora. La señal de entrada se representa en color **rojo**, mientras que la señal de salida se muestra en color **verde**.

La escala temporal utilizada fue de **10 ms/div**, lo que permite apreciar claramente la forma de onda senoidal. Para el canal de entrada se seleccionó una escala de **10 mV/div**, mientras que para el canal de salida se empleó una escala de **100 mV/div**, de manera que ambas señales se visualicen de forma proporcional.

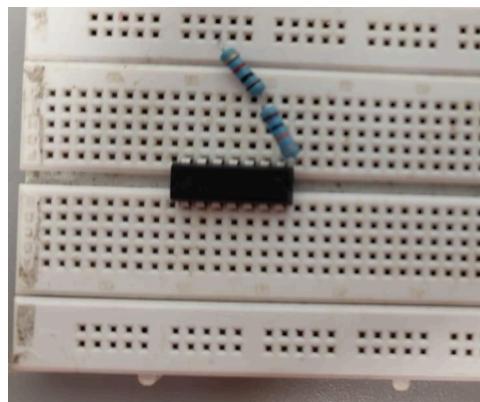
Como se puede evidenciar en la gráfica, la señal de salida presenta la misma forma de onda que la señal de entrada, pero con una amplitud aproximadamente diez veces mayor, lo cual confirma el correcto funcionamiento del circuito simulado y la coherencia con la ganancia calculada teóricamente.



Montaje

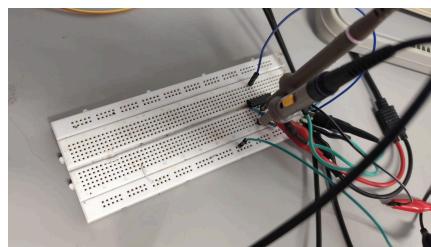
Después de realizar la simulación y verificar el correcto funcionamiento del amplificador LM358 en configuración no inversora, se procede a la implementación práctica del montaje. En primer lugar, se presenta el esquema del circuito simulado, el cual sirve como referencia para la construcción en protoboard. Este montaje se compone principalmente del amplificador operacional LM358, las resistencias de la red de realimentación encargadas de fijar la ganancia, la fuente de alimentación y la señal de entrada.

Una vez comprendida la respuesta obtenida en la simulación, se replica el mismo circuito en el montaje físico, con el objetivo de comprobar experimentalmente que el comportamiento real coincide con el esperado. En esta etapa, se conectan adecuadamente los elementos en la protoboard, cuidando la correcta disposición de las resistencias, el integrado LM358 y la fuente de señal, además de garantizar una adecuada conexión a tierra común para evitar errores de medición.

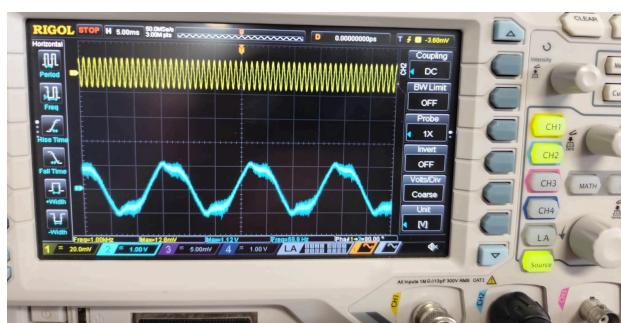


Una vez energizado correctamente el circuito, se procede a la conexión del osciloscopio para analizar el comportamiento de la señal. Para ello, se ubican de manera adecuada las puntas de prueba: el canal 1 se conecta a la señal de entrada aplicada al amplificador, mientras que el canal 2 se conecta a la salida del LM358. Ambas sondas comparten la misma referencia de tierra para evitar diferencias de potencial que puedan alterar la medición.

De esta forma, se logra visualizar en la pantalla del osciloscopio tanto la señal de entrada como la de salida en tiempo real, lo que permite comprobar experimentalmente la amplificación y verificar que la ganancia obtenida corresponde con lo calculado teóricamente y lo observado previamente en la simulación.



Finalmente, se realizó la captura de la señal en el osciloscopio. En la lectura correspondiente a la salida no se logra apreciar con total nitidez la forma de onda, debido a posibles inconvenientes relacionados con la sonda de medición, la cual puede introducir ruido o impurezas en la señal observada. Sin embargo, a pesar de esta limitación, es posible identificar la forma senoidal de la señal amplificada, lo que confirma el correcto funcionamiento del montaje y la coherencia con los resultados obtenidos en la simulación y en los cálculos teóricos.



Aplicación 18: Uso del Op Amp como derivador

Introducción:

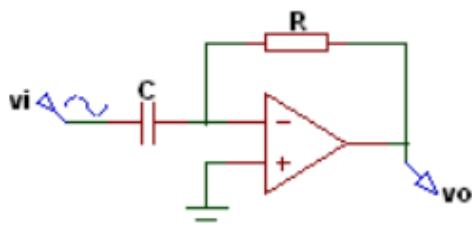
Es una configuración de amplificador operacional que entrega a su salida una señal proporcional a la derivada de la señal de entrada con respecto al tiempo. En otras palabras, convierte variaciones rápidas de la señal en amplitudes más grandes, que lo hace útil en sistemas de detección de bordes,

generación de pulsos a partir de señales cuadradas, procesado de señales y en instrumentación electrónica.

Sin embargo, debido a que amplifica los componentes de alta frecuencia, es sensible al ruido, por lo que en la práctica se emplean modificaciones para limitar la ganancia no deseada.

Teoría de funcionamiento:

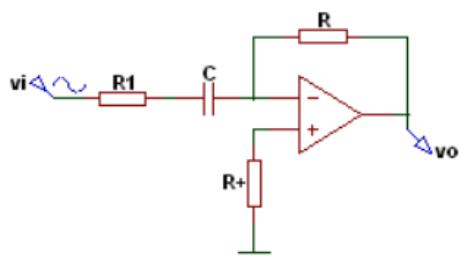
En la configuración ideal, el amplificador derivador usa un capacitor C en la entrada y una resistencia Rf en la realimentación negativa del Op Amp. Conforman un circuito cuya salida es proporcional a la derivada temporal de la señal de entrada, según la ecuación ideal



$$V_{out}(t) = -RfC \frac{dV_{in}(t)}{dt}$$

El signo negativo indica que es una configuración inversora, el producto RfC determina la constante de proporcionalidad entre la derivada de la señal y la salida .

El amplificador derivador amplifica de forma desproporcionada el ruido de alta frecuencia respecto a la señal útil, ya que su ganancia aumenta con la frecuencia; por ejemplo, un derivador diseñado para 10 kHz simplificará 100 veces más un ruido de 1 MHz y 10 000 veces más uno de 100 MHz. Aunque este efecto no puede eliminarse, puede controlarse colocando una resistencia en serie con el condensador de entrada, lo que limita la ganancia para frecuencias superiores a la de diseño y reduce la influencia del ruido.



$$V_{out}(t) = -RfC \frac{dV_{in}(t)}{dt} - \frac{R}{R_1} v_{HF}(t)$$

Donde la Vin es la señal de entrada y vHF representa cualquier señal de ruido con frecuencia 100 veces o más a la que tiene la señal de entrada El valor de la resistencia R y R1 varía de acuerdo a si la señal de entrada es senoidal, triangular o cuadrada.

Señal senoidal

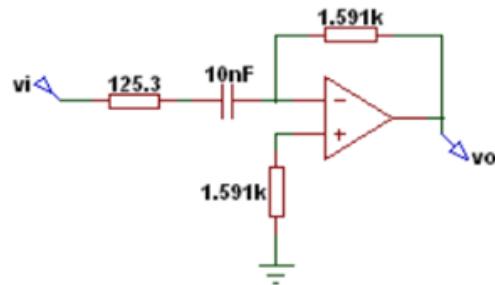
$$R = R_+ = \frac{A}{2\pi f C}$$

Implementación particular

Diseña un amplificador derivador con ganancia de uno para una señal de entrada sinodal de 1vp y 10kHz. Se escoge C de 10nF. ahora se halla R:

$$R = R_+ = \frac{1}{2\pi * 10k * 10n} = R_+ = 1.591k\Omega \quad \text{Ya con } R \text{ se halla ahora } R_1: R_1 = \frac{1.591k}{12.7A * 1} = R_1 = 125.318\Omega$$

El circuito queda de la siguiente manera:

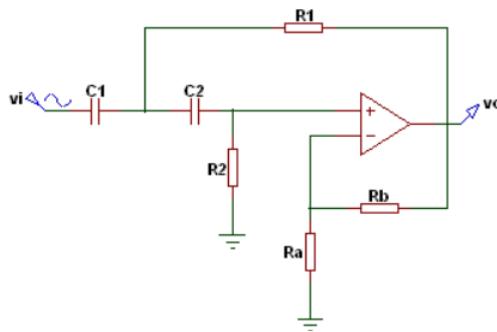


Aplicación 19: Filtro pasa altos Sallen-Key

Introducción:

Es un circuito muy utilizado en procesamiento de señales analógicas, su función principal es permitir el paso de frecuencias altas, bloqueando o atenuando aquellas que se encuentran por debajo de una frecuencia de corte definida. A diferencia de los filtros pasivos, este incorpora un amplificador operacional que mejora el desempeño del circuito, ya que permite obtener ganancias mayores a la unidad, reducir la influencia de la carga y ajustar de manera precisa la respuesta en frecuencia.

Circuito:



las ecuaciones de diseño

$$m = \frac{1 + \sqrt{1 + 8Q^2(A - 1)}}{4Q}$$
$$R_1 = \frac{4Q}{2\pi k f_c C}$$
$$R_2 = \frac{R_1}{m^2}$$
$$R_a = \frac{AR_2}{A - 1}$$
$$R_b = AR_2$$

Teoría de funcionamiento:

El filtro se construye con siete elementos: cuatro resistencias, dos capacitores y un amplificador operacional. La señal de entrada se aplica a través de un condensador (C1), lo que impide el paso de las componentes de baja frecuencia y permite la conducción de las altas frecuencias hacia la etapa de amplificación.

La topología Sallen-Key se caracteriza porque el amplificador operacional está conectado en una configuración de realimentación no inversora, lo cual le da al circuito estabilidad, bajo costo de implementación y facilidad de diseño.

La frecuencia de corte (fc) del filtro, que marca la transición entre las frecuencias atenuadas y las que pasan, depende de los valores de los capacitores y resistencias.

Implementación particular:

diseñe un filtro pasa altos sallen-key con una frecuencia de corte de 10kHz y una ganancia de 3. use aproximación butterworth.

Solución: Como es aproximación butterworth los valores de Q y k son 0.7071 y 1 respectivamente. ahora hallamos el valor de m:

$$m = \frac{1 + \sqrt{1 + 8(0.7071)^2 * (3 - 1)}}{4 * 0.7071}$$

$$m = 1.4142$$

ya con m se puede hallar el valor de R1 y R2, escogemos 10nF como valor capacitor C, hallamos R1:

$$R1 = \frac{1.4142}{2\pi * 1 * 10k * 10n} = 2.25k\Omega$$

Ahora hallamos R2:

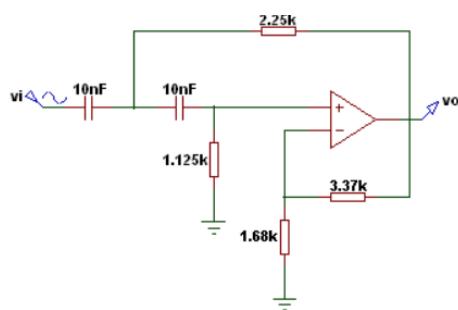
$$R2 = \frac{2.25k}{1.4142} = 1.125k\Omega$$

Ahora se halla Ra:

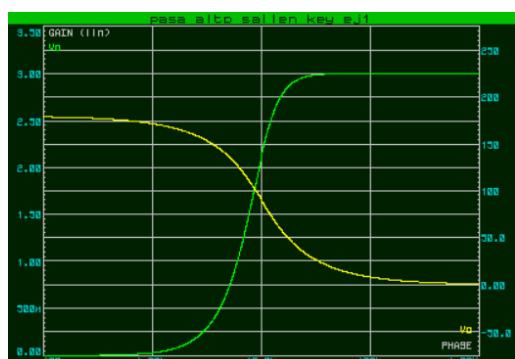
$$Ra = \frac{3 * 1.125k}{3 - 1} = 1.688k\Omega$$

y finalmente Rb: $Rb = 3 * 1.125k = 3.376k\Omega$

El circuito queda de la siguiente manera:

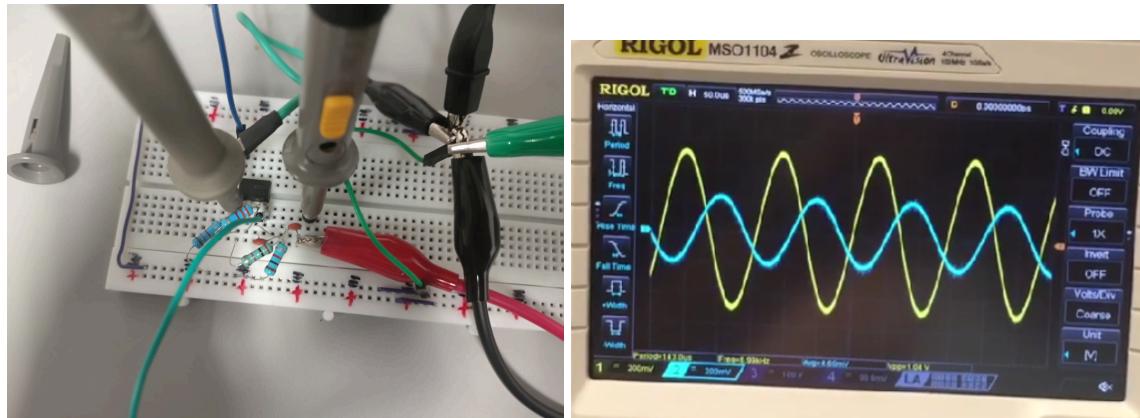


La simulación es la siguiente:



La linea de color verde es la magnitud y la de color amarrilla es la fase. Se puede ver que la frecuencia de corte es de 10kHz y que la ganancia es de 3.

Implementación:



Conclusiones:

El filtro confirma su principio de funcionamiento: las frecuencias bajas se atenúan fuertemente, mientras que las altas pasan con poca pérdida, en el osciloscopio la salida muestra una amplitud muy reducida a bajas frecuencias y un aumento progresiva hasta estabilizarse en la banda de paso, el desempeño del filtro depende de las características del op-amp tocó buscar los que más se acercaban a las características, si el ancho de banda no es suficiente la atenuación y el desfase pueden no ajustarse al idea.

Aplicación 20: Amplificador Integrador

Introducción

El amplificador integrador es una configuración de amplificador operacional que entrega una señal de salida proporcional a la integral de la señal de entrada respecto al tiempo. Se utiliza para generar rampas, filtrar señales en sistemas de control analógico.

Teoría de funcionamiento

Se coloca un condensador en la realimentación negativa y una resistencia en la entrada.

$$V_{out}(t) = -\frac{1}{R \cdot C} \int V_{in}(t) dt$$

La ecuación es:

El signo negativo indica que es una configuración no inversora. Si la entrada es una señal cuadrada, la salida será triangular; si la entrada es constante, la salida será una rampa.

Implementación práctica

Componentes:

1 Amplificador Operacional (LM358 o 741)

1 Resistencia de 10kOhm

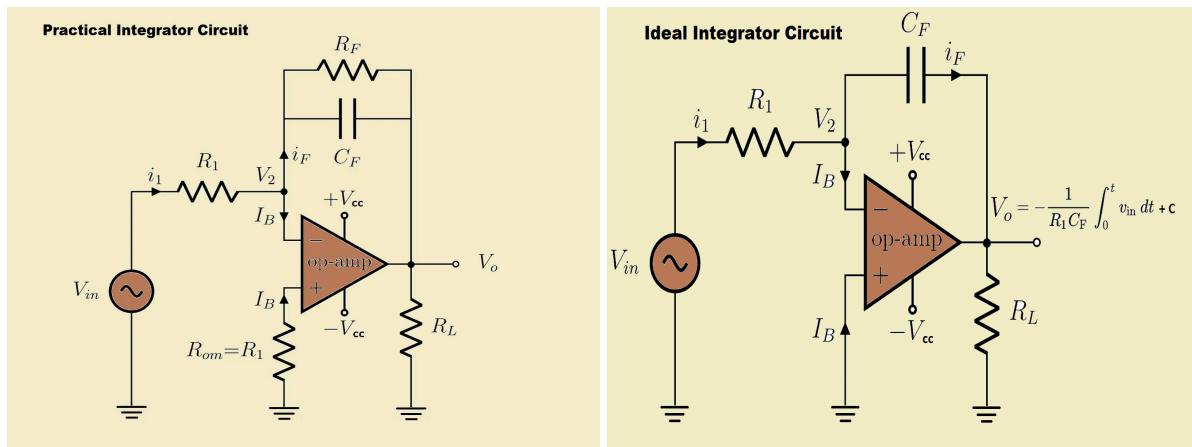
1 Condensador de 100nF

1 Fuente de +- 12V

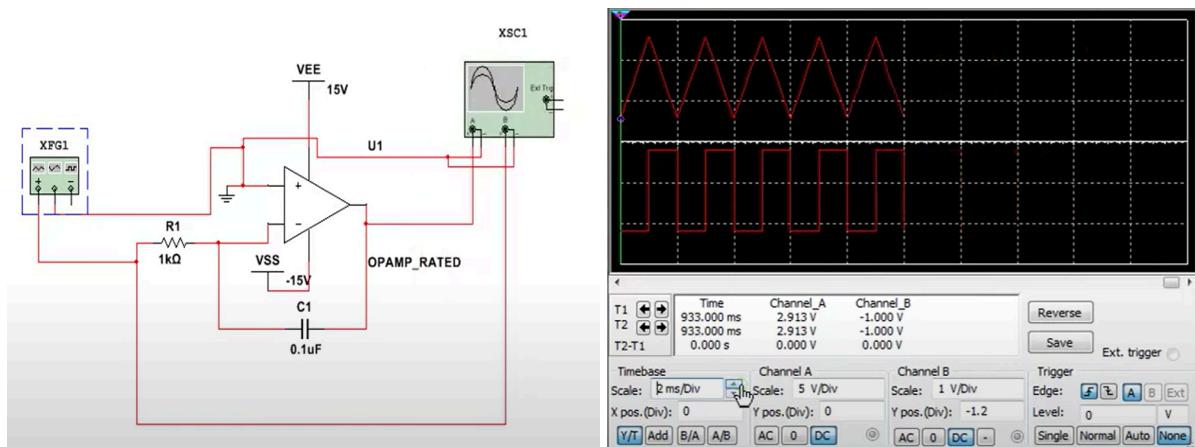
Ejemplo: Con R=10kOhm y C=100nF, la constante de integración será $1/(R*C)=1000s^{-1}$

Aplicando una señal cuadrada de +-1V a la entrada, obtendremos en la salida una onda triangular proporcional al área de la señal de entrada.

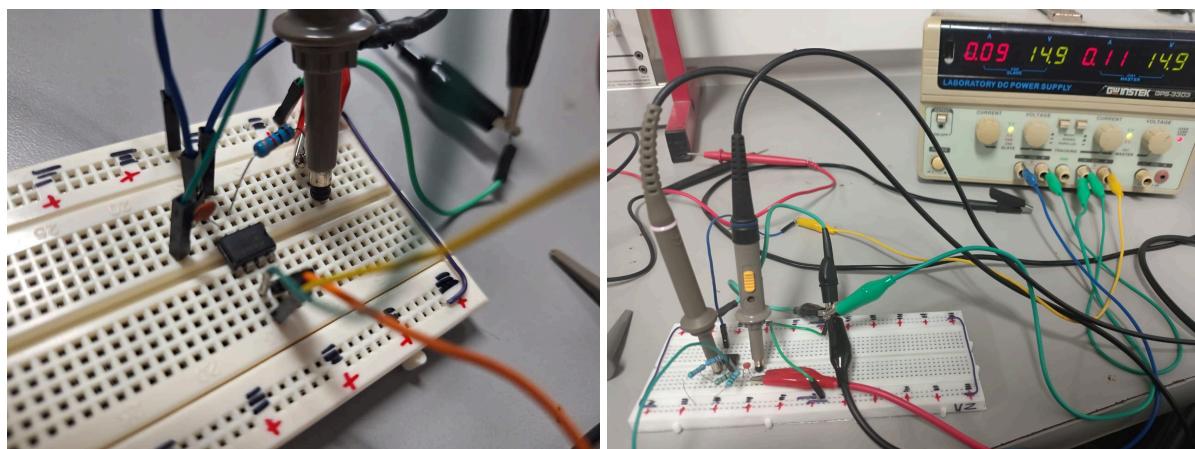
Para evitar saturación por corrientes de fuga o DC, se puede poner una resistencia grande (1MOhm) en paralelo con el condensador.



Simulación



Implementación:



La prueba confirma un integrador con AO: al aplicar señal cuadrada, la salida resulta triangular integrando. Pendiente y amplitud dependen de RC y frecuencia; pueden saturar con $\pm V_{cc}$. Circuito funcional.