

Amplificador operacional

De Wikipedia, la enciclopedia libre

Un **amplificador operacional**, a menudo conocido **op-amp** por sus siglas en inglés (*operational amplifier*) es un dispositivo amplificador electrónico de alta ganancia acoplado en corriente continua que tiene dos entradas y una salida. En esta configuración, la salida del dispositivo es, generalmente, de cientos de miles de veces mayor que la diferencia de potencial entre sus entradas.

Índice

- 1 Historia
- 2 Principio de operación
 - 2.1 Lazo abierto
 - 2.2 Lazo cerrado
- 3 Parámetros de los amplificadores operacionales
- 4 Características del amplificador operacional
 - 4.1 Amplificador operacional ideal
 - 4.2 Amplificador operacional real
- 5 Aplicaciones
 - 5.1 Comparador
 - 5.2 Seguidor de voltaje o tensión
 - 5.3 Amplificador no inversor
 - 5.4 Sumador inversor
 - 5.5 Restador Inversor
 - 5.6 Integrador ideal
 - 5.7 Derivador ideal
 - 5.8 Conversor de corriente a tensión
 - 5.9 Función exponencial y logarítmica
 - 5.10 Convertidor Digital-Analógico (R-2R)^[5]
- 6 Usos
- 7 Estructura interna del amplificador operacional μ A741
 - 7.1 Etapa de entrada
 - 7.1.1 Sistema de corriente constante
 - 7.1.2 Amplificador diferencial
 - 7.2 Etapa de ganancia clase A
 - 7.3 Circuito de polarización de salida
 - 7.4 Etapa de salida
- 8 Limitaciones
 - 8.1 Saturación
 - 8.2 Tensión de offset
 - 8.3 Corrientes
 - 8.4 Característica tensión-frecuencia
 - 8.5 Capacidades
 - 8.6 Deriva térmica
- 9 Véase también
- 10 Referencias
- 11 Enlaces externos

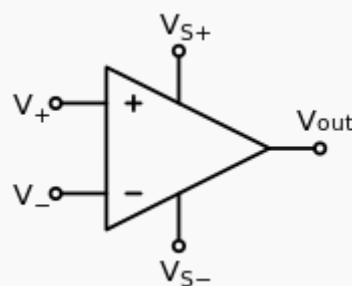
Amplificador operacional



Amplificador operacional modelo LM741CN de National Semiconductor con encapsulado plástico DIP

Tipo	Circuito integrado
Invención	Robert John Widlar
Primera producción	1964

Símbolo electrónico



Terminales	<ul style="list-style-type: none">V+: Entrada no inversoraV-: Entrada inversoraVout: SalidaVS+: Fuente DC positivaVS-: Fuente DC negativa
-------------------	---

[editar datos en Wikidata]

Historia

El concepto del amplificador operacional surgió hacia 1947, como un dispositivo construido con tubos de vacío,¹ como parte de las primeras computadoras analógicas dentro de las cuales ejecutaban operaciones matemáticas (suma, resta, multiplicación, división, integración, derivación, etc.), de lo cual se originó el nombre por el cual se le conoce. El primer amplificador operacional monolítico construido como circuito integrado, fue desarrollado en 1964 en la empresa Fairchild Semiconductor por el ingeniero electricista estadounidense Robert John Widlar y llevó el número de modelo $\mu A702$.¹ A éste le siguió el $\mu A709$ (1965), también de Widlar, y que constituyó un gran éxito comercial. Más tarde sería sustituido por el popular $\mu A741$ (1968), desarrollado por David Fullagar, y fabricado por numerosas empresas, basado en tecnología bipolar, el cual se convirtió en estándar de la industria electrónica.

Principio de operación

Los diseños varían entre cada fabricante y cada producto, pero todos los amplificadores operacionales tienen básicamente la misma estructura interna, que consiste en tres etapas:

1. Amplificador diferencial: es la etapa de entrada que proporciona una baja amplificación del ruido y gran impedancia de entrada. Suelen tener una salida diferencial.
2. Amplificador de tensión: proporciona ganancia de tensión.
3. Amplificador de salida: proporciona la capacidad de suministrar la corriente necesaria, tiene una baja impedancia de salida y, usualmente, protección frente a cortocircuitos. Éste también proporciona una ganancia adicional.¹

El dispositivo posee dos entradas: una entrada no inversora (+), en la cual hay una tensión indicada como V_+ y otra inversora (-) sometida a una tensión V_- . En forma ideal, el dispositivo amplifica solamente la diferencia de tensión en las entradas, conocida como *tensión de entrada diferencial* ($v_{in} = V_+ - V_-$). La tensión o voltaje de salida del dispositivo V_{out} está dada por la ecuación:

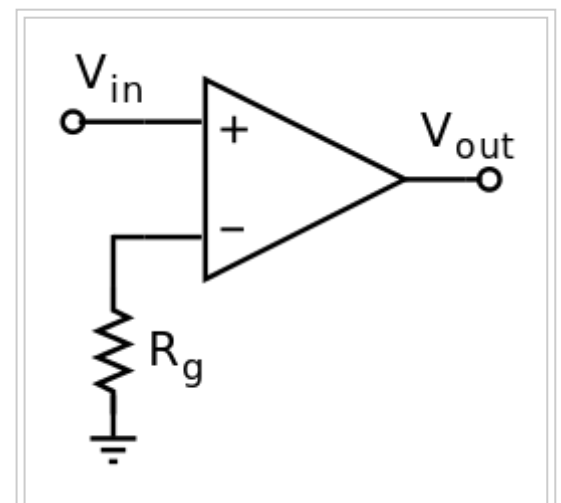
$$V_{out} = A_{OL} (V_+ - V_-) = A_{OL} V_{in}$$

en la cual A_{OL} representa la ganancia del dispositivo cuando no hay realimentación, condición conocida también como "lazo (o bucle) abierto". En algunos amplificadores diferenciales, existen dos salidas con desfase de 180° para algunas aplicaciones especiales.

Lazo abierto

La magnitud de la ganancia A_{OL} es, generalmente, muy grande, del orden de 100.000 veces o más y, por lo tanto, una pequeña diferencia entre las tensiones V_+ y V_- hace que la salida del amplificador sea de un valor cercano al de la tensión de alimentación, situación conocida como *saturación del amplificador*. La magnitud de A_{OL} no es bien controlada por el proceso de fabricación, así que es impráctico usar un amplificador en lazo abierto como amplificador diferencial.

Si la entrada inversora es conectada a tierra (0 V) de manera directa o mediante una resistencia R_g y el voltaje de entrada V_{in} aplicado a la otra entrada es positivo, la salida será la de la máxima tensión positiva de alimentación; si V_{in} es negativo, la salida será el valor negativo de alimentación. Como no existe realimentación, desde la salida a la entrada, el amplificador operacional actúa como comparador.



Amplificador operacional en modo de lazo abierto, configuración usada como comparador.

Lazo cerrado

Si se desea un comportamiento predecible en la señal de salida, se usa la realimentación negativa aplicando una parte de la tensión de salida a la entrada inversora. La configuración de lazo cerrado reduce notablemente la ganancia del dispositivo, ya que ésta es determinada por la red de realimentación y no por las características del dispositivo. Si la red de realimentación es hecha con resistencias menores que la resistencia de entrada del amplificador operacional, el valor de la ganancia en lazo abierto A_{OL} no afecta seriamente la operación del circuito. En el amplificador no inversor de la imagen, la red resistiva constituida por R_f y R_g determina la ganancia en lazo cerrado.

Una forma válida de analizar este circuito se basa en estas suposiciones válidas:²

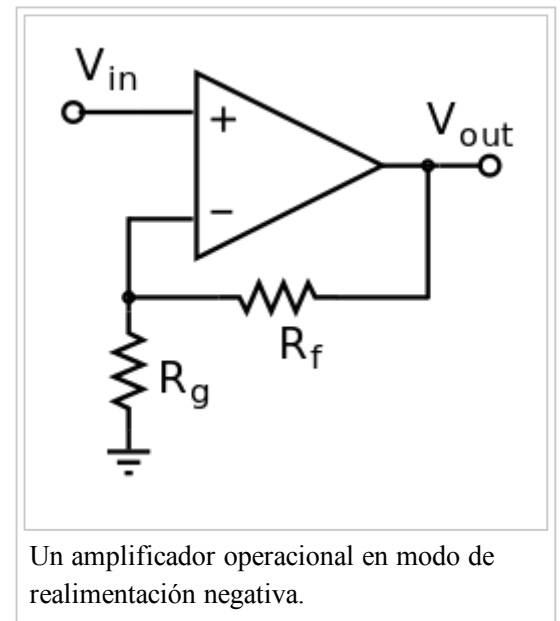
- Cuando un amplificador operacional opera en el modo lineal (no saturado) la diferencia de tensión entre las dos entradas es insignificante.
- La resistencia entre las entradas es mucho más grande que otras resistencias en la red de realimentación.

Debido a esto, la corriente que pasa por la resistencia R_g es:

Pero la red conformada por las resistencias es un divisor de tensión y como la corriente i no entra al amplificador por presentar en sus entradas resistencias casi infinitas, entonces esa corriente circula también por la resistencia R_f y por ello:

Parámetros de los amplificadores operacionales

- Impedancia de entrada (Z_i): Es la resistencia entre las entradas del amplificador.
- Impedancia de salida (Z_o): Es la resistencia que se observa a la salida del amplificador.
- Ganancia en lazo abierto (A_{OL}): Indica la ganancia de tensión en ausencia de realimentación. Se puede expresar en unidades naturales (V/V, V/mV) o logarítmicas (dB). Son valores habituales de 100.000 a 1.000.000 V/V. Algunos fabricantes denominan a este parámetro *Large-signal differential voltage amplification* (Amplificación de voltaje diferencial para gran señal).
- Tensión en modo común (v_{cm}): Es el valor promedio de tensión aplicado a ambas entradas del amplificador operacional.
- Voltaje de desequilibrio (offset) de entrada (V_{IO}): Es la diferencia de tensión, entre las entradas de un amplificador operacional que hace que su salida sea cero voltios.
- Corriente de desequilibrio de entrada (I_{IO}): Es la diferencia de corriente entre las dos entradas del amplificador operacional, que hace que su salida tome el valor cero.
- Voltaje de entrada diferencial (V_{ID}): Es la mayor diferencia de tensión entre las entradas del operacional que mantienen el dispositivo dentro de las especificaciones.
- Corriente de polarización de entrada (I_{IB}): Corriente media que circula por las entradas del operacional en ausencia de señal.
- Rapidez de variación de voltaje (*slew rate*, en idioma inglés): Es la máxima variación de la tensión de salida respecto de la variación del tiempo, como respuesta a un voltaje de escalón. Se mide en V/ μ s, kV/ μ s o unidades similares. Este parámetro está limitado por la compensación en frecuencia de la mayoría de los amplificadores operacionales.
- Relación de Rechazo en Modo Común (RRMC, o CMRR en sus siglas en inglés): Es la capacidad de un amplificador de rechazar señales en modo común.

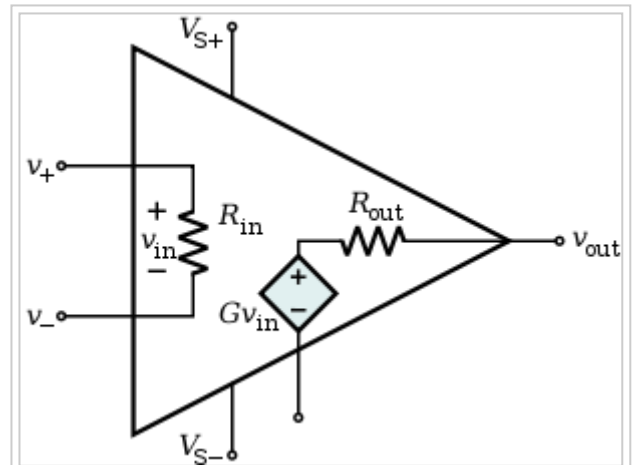


Características del amplificador operacional

Amplificador operacional ideal

- Infinita ganancia en lazo abierto A_{OL}
- Infinita resistencia de entrada, R_{in}
- Corriente de entrada cero.
- Voltaje de desequilibrio de entrada cero.
- Infinito rango de voltaje disponible en la salida.
- Infinito ancho de banda con desplazamiento de fase cero.
- Rapidez de variación de voltaje infinita.
- Resistencia de salida R_{out} cero.
- Ruido cero.

- Infinito rechazo de modo común (CMRR)
- Infinito factor de rechazo a fuente de alimentación (PSRR).



Circuito equivalente de un amplificador operacional.

Estas características se pueden resumir en dos "reglas de oro":

- En el lazo cerrado la salida intenta hacer lo necesario para hacer cero la diferencia de voltaje entre las entradas.
- Las corrientes de entrada al dispositivo son cero.³

Amplificador operacional real

El amplificador real difiere del ideal en varios aspectos:

- Ganancia en lazo abierto, para corriente continua, desde 100.000 hasta más de 1.000.000.
- Resistencia de entrada finita, desde 0,3 MΩ en adelante.
- Resistencia de salida no cero.
- Corriente de entrada no cero, generalmente de 10 nA en circuitos de tecnología bipolar.
- Voltaje de desequilibrio de entrada no cero, en ciertos dispositivos es de ±15 mV
- Rechazo de modo común no infinito, aunque grande, en algunos casos, de 80 a 95 dB.
- Rechazo a fuente de alimentación no infinito.
- Características afectadas por la temperatura de operación.
- Deriva de las características, debido al envejecimiento del dispositivo.
- Ancho de banda finito, limitado a propósito por el diseño o por características de los materiales.
- Presencia de ruido térmico.
- Presencia de efectos capacitivos en la entrada por la cercanía de los terminales entre sí.
- Corriente de salida limitada.
- Potencia disipada limitada.

Aplicaciones

Véase también: Anexo:Amplificadores operacionales con realimentación negativa

Las aplicaciones más comunes de los amplificadores operacionales son las siguientes:⁴

Comparador

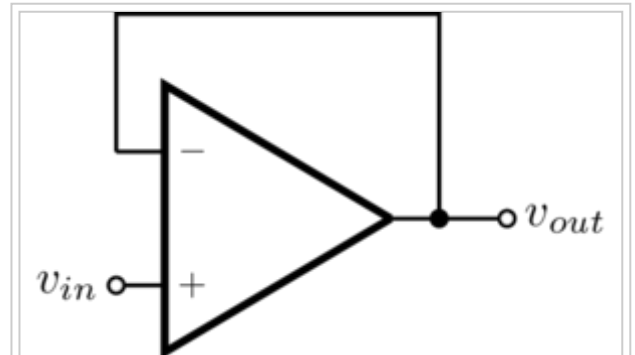
Aplicación sin retroalimentación que compara señales entre las dos entradas y presenta una salida en función de qué entrada sea mayor. Se puede usar para adaptar niveles lógicos.

$$\blacksquare V_{out} = \begin{cases} V_{S+} & V_1 > V_2 \\ V_{S-} & V_1 < V_2 \end{cases}$$

Una aplicación simple pero útil, es la de proporcionar un sistema de control ON-OFF. Por ejemplo un control de temperatura, cuya entrada no inversora se conecta un termistor (sensor de temperatura) y en la entrada inversora un divisor resistivo con un preset (resistencia variables) para ajustar el valor de tensión de referencia. Cuando en la pata no inversora exista una tensión mayor a la tensión de referencia, la salida activara alguna señalización o un actuador.

Seguidor de voltaje o tensión

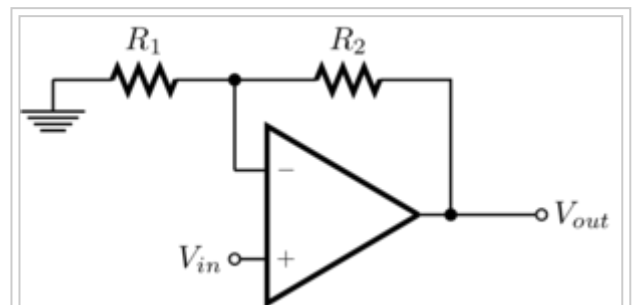
Es aquel circuito que proporciona a la salida la misma tensión que a la entrada. Presenta la ventaja de que la impedancia de entrada es elevada, la de salida prácticamente nula, y es útil como un buffer, para eliminar efectos de carga o para adaptar impedancias (conectar un dispositivo con gran impedancia a otro con baja impedancia y viceversa) y realizar mediciones de tensión de un sensor con una intensidad muy pequeña que no afecte sensiblemente a la medición.



Seguidor de tensión

Amplificador no inversor

En esta aplicación la tensión de entrada, se aplica al terminal no-inversor y, mediante un sencillo divisor de tensión se realimenta la salida al terminal inversor.

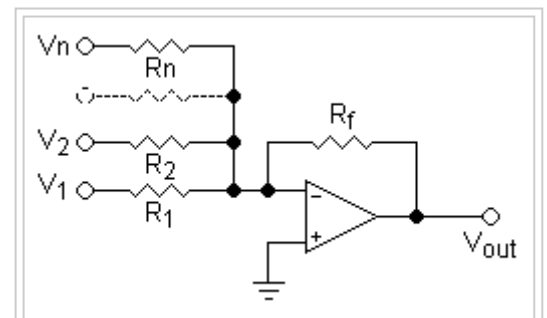


Amplificador no inversor

Sumador inversor

Aplicación en la cual la salida es de polaridad opuesta a la suma de las señales de entrada.

- Para resistencias independientes R_1, R_2, \dots, R_n
 - $V_{out} = -R_f \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_n}{R_n} \right)$
- La expresión se simplifica bastante si se usan resistencias del mismo valor
- Impedancias de entrada: $Z_n = R_n$



Amplificador sumador de n entradas.

Restador Inversor

Para resistencias independientes R_1, R_2, R_3, R_4 la salida se expresa como:

$$V_{out} = V_2 \left(\frac{(R_3 + R_1) R_4}{(R_4 + R_2) R_1} \right) - V_1 \left(\frac{R_3}{R_1} \right)$$

La impedancia diferencial entre dos entradas es:

$$Z_{in} = R_1 + R_2 + R_{in}$$

donde R_{in} representa la resistencia de entrada diferencial del amplificador, ignorando las resistencias de entrada del amplificador de modo común. Este tipo de configuración tiene una resistencia de entrada baja en comparación con otro tipo de restadores como el amplificador de instrumentación.

Integrador ideal

Este montaje integra e invierte la señal de entrada V_{in} produciendo como salida:

$$V_{out} = \int_0^t -\frac{V_{in}}{RC} dt + V_{inicial}$$

En esta ecuación $V_{inicial}$ es la tensión de origen al iniciarse el funcionamiento.

Este integrador no se usa en la práctica de forma discreta ya que cualquier señal pequeña de corriente directa en la entrada puede ser acumulada en el condensador hasta saturarlo por completo; sin mencionar la característica de desplazamiento de tensión del amplificador operacional, que también es acumulada. Este circuito se usa de forma combinada en sistemas retroalimentados que son modelos basados en variables de estado (valores que definen el estado actual del sistema) donde el integrador conserva una variable de estado en el voltaje de su condensador.

Derivador ideal

Este circuito deriva e invierte la señal de entrada, produciéndose como salida:

$$V_{out} = -RC \frac{dV_{in}}{dt}$$

Además de lo anterior, este circuito también se usa como filtro, sin embargo no es estable. Esto se debe a que al amplificar más las señales de alta frecuencia, se termina amplificando mucho el ruido.

Convertor de corriente a tensión

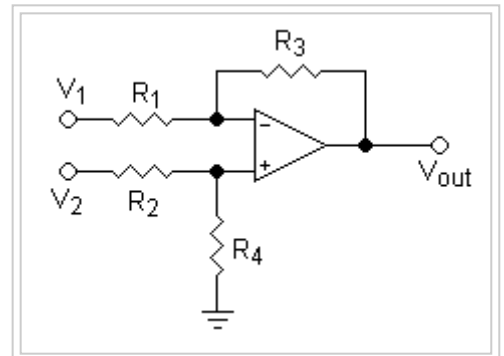
El convertor de corriente a tensión, se conoce también como amplificador de transresistencia, en el cual una corriente de entrada I_{in} , produce a la salida una tensión proporcional a esta, con una impedancia de entrada muy baja, ya que está diseñado para trabajar con una fuente de corriente.

Con la resistencia R como factor de proporcionalidad, la relación resultante entre la corriente de entrada y la tensión de salida es:

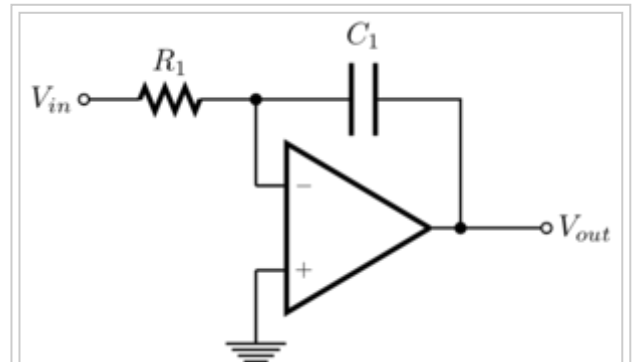
$$V_{out} = -R I_{in}$$

Esta aplicación se usa en sensores, que entregan poca corriente y se acoplan un amplificador operacional que entrega la tensión de salida respectiva proporcional a dicha corriente.

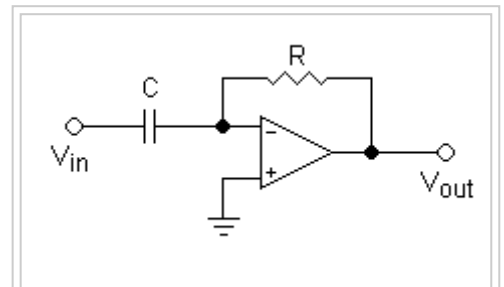
Función exponencial y logarítmica



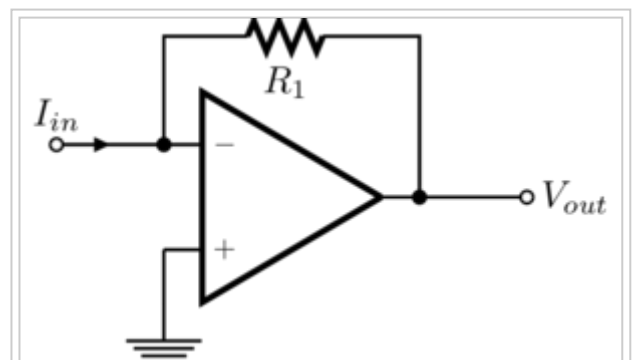
Amplificador restador-inversor.



Amplificador integrador.



Amplificador derivador.



Amplificador de transresistencia o transimpedancia.

El logaritmo y su función inversa, la función exponencial, pueden ser implementados mediante amplificadores operacionales aprovechando el funcionamiento exponencial de un diodo, logrando una señal de salida proporcional al logaritmo o a la función exponencial a la señal de entrada.

La señal de entrada V_{in} , en este caso, producirá una salida V_{out} proporcional al logaritmo natural de la primera:

$$V_{out} = -m \ln\left(\frac{V_{in}}{nR}\right)$$

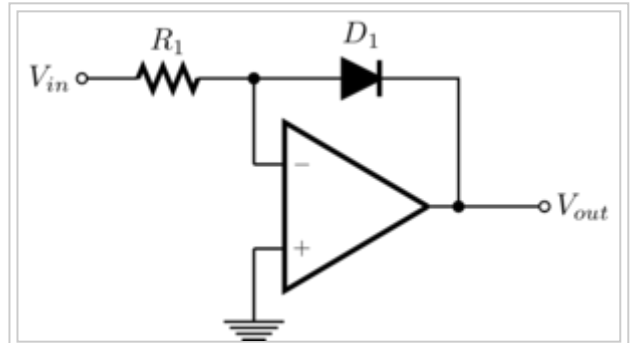
Los factores m y n son factores de corrección, determinados por la temperatura y los parámetros propios del diodo.

Para lograr la operación inversa, se intercambian las posiciones del diodo y de la resistencia, para dar lugar a la tensión de salida:

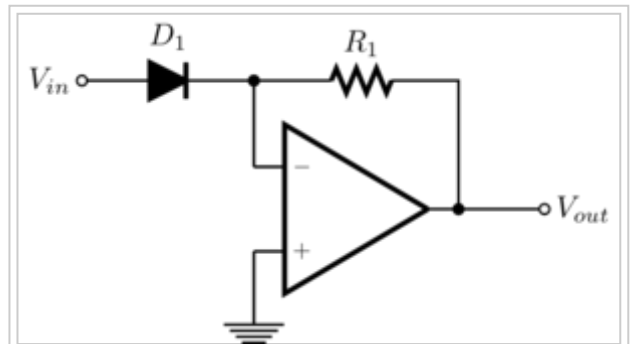
$$V_{out} = -nR e^{\left(\frac{V_{in}}{m}\right)}$$

En la práctica, implementar estas funciones en un circuito es más complicado, y en vez de usarse un diodo se usan transistores bipolares, para minimizar cualquier efecto no deseado debido a la temperatura de trabajo. No obstante, el principio de funcionamiento de la configuración se mantiene.

En la realización de estos circuitos también podrían hacerse conexiones múltiples. En el amplificador antilogarítmico las multiplicaciones son adiciones, mientras que en el logarítmico, las adiciones son multiplicaciones. A partir de ello, se podrían combinar dos amplificadores logarítmicos, seguidos de un sumador, y a la salida, un amplificador antilogarítmico, con lo cual se habría logrado un multiplicador analógico, en el cual la salida es el producto de las dos tensiones de entrada.



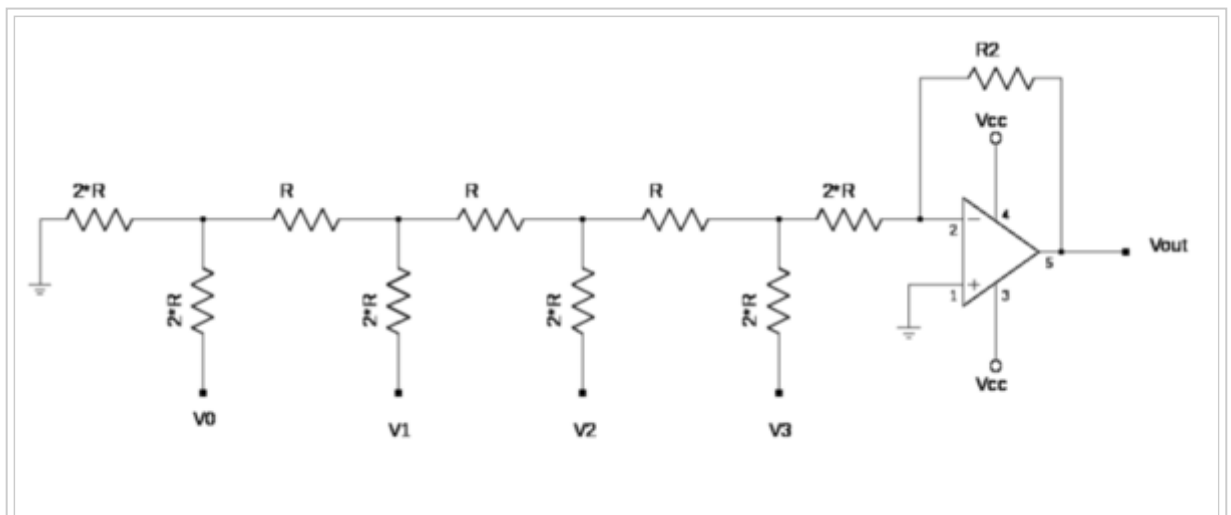
Amplificador logarítmico.



Amplificador antilogarítmico o exponencial.

Convertidor Digital-Analógico (R-2R)⁵

Mediante una red de resistencias R-2R, se pueden introducir en los extremos señalados como V_0 , V_1 , V_2 y V_3 señales digitales del valor adecuado para realizar la



Convertidor Digital a Analógico tipo R-2R

conversión. En este caso, desde cualquiera de las entradas, con las demás conectadas a tierra, la resistencia de entrada es del valor:

$$R_{in} = R$$

Si $R_2 = 2R$ entonces

$$V_{out} = - \left(\frac{V_0}{8} + \frac{V_1}{4} + \frac{V_2}{2} + V_3 \right)$$

Dos inconvenientes asociados con este convertidor son que por cada entrada, se añaden dos resistencias y que, si se necesita un convertidor más preciso, se deben elegir los valores de resistencia que se ajusten en una relación 2 a 1 con bajas tolerancias.

Usos

- Calculadoras digitales
- Filtros
- Preamplificadores y buffers de audio y video
- Reguladores
- Conversores
- Evitar el efecto de carga
- Adaptadores de niveles (por ejemplo CMOS y TTL)

Estructura interna del amplificador operacional $\mu A741$

Usado como fuente por muchos fabricantes, y en múltiples productos similares, un ejemplo de un amplificador operacional con transistores bipolares es el circuito integrado $\mu A741$ diseñado en 1968 por David Fullagar en Fairchild Semiconductor después del lanzamiento del circuito integrado LM301 creado por el ingeniero Robert John Widlar.

Aunque este dispositivo se ha utilizado históricamente en audio y otros equipos sensibles, hoy en día es raro su uso debido a las características de ruido mejoradas de los operacionales más modernos. Además de generar un "siseo" perceptible, el 741 y otros operacionales antiguos pueden presentar relaciones de rechazo al modo común muy pobres por lo que, generalmente, introducirán zumbido a través de los cables de entrada y otras interferencias de modo común, como chasquidos por conmutación, en equipos sensibles.

Hoy en día el amplificador $\mu A741$ usualmente se utiliza para referirse a un operacional integrado genérico, como los dispositivos $\mu A741$, LM301, 558, LM342, TBA221 o un reemplazo más moderno como el TL071. La descripción de la etapa de salida del $\mu A741$ es cualitativamente similar a la de muchos otros diseños, que pueden tener etapas de entrada muy diferentes, exceptuando que:

- Algunos dispositivos ($\mu A748$, LM301 y LM308) no tienen compensación interna.
- Algunos dispositivos modernos tienen excursión completa de salida entre las tensiones de alimentación, lo que significa que hay unos pocos milivoltios por debajo de los valores máximo y mínimo de alimentación.

Etapa de entrada

Sistema de corriente constante

Las condiciones de reposo de la etapa de entrada se fijan mediante una red de alimentación negativa de alta ganancia cuyos bloques principales son los dos espejos de corriente del lado izquierdo de la figura, delineados con rojo. El propósito principal de la realimentación negativa (suministrar una corriente estable a la etapa diferencial de entrada) se realiza como sigue.

La corriente a través de la resistencia de 39 kΩ actúa como una referencia de corriente para las demás corrientes de polarización usadas en el integrado. La tensión sobre esta resistencia es igual a la tensión entre los bornes de alimentación ($V_{S+} - V_{S-}$) menos dos caídas de diodo de transistor (Q11 y Q12), por lo tanto la corriente es $I_{ref} = (V_{S+} - V_{S-} - 2V_{be}) / (39k\ \Omega)$. El espejo de corriente Widlar formado por Q10, Q11, y la resistencia de 5Kohm genera una pequeña fracción de I_{ref} en el colector de Q10. Esta pequeña corriente constante entregada por el colector de Q10 suministra las corrientes de base de Q3 y Q4, así como la corriente de colector de Q9. El espejo Q8/Q9 fuerza a la corriente de colector de Q9 a ser igual a la suma de las corrientes de colector de Q3 y Q4. Por lo tanto las corrientes de base de Q3 y Q4 combinadas (que son del mismo orden que las corrientes de entrada del integrado) serán una pequeña fracción de la ya pequeña corriente por Q10.

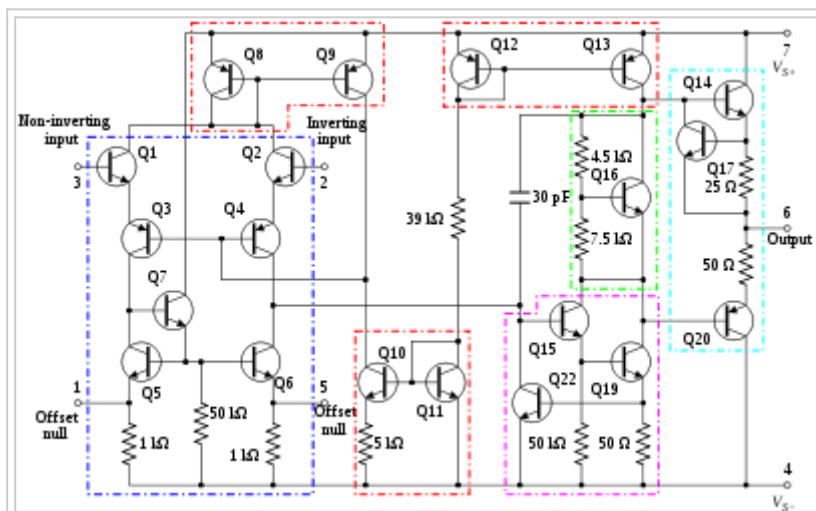


Diagrama electrónico del operacional 741.

Entonces, si la etapa de entrada aumenta su corriente por alguna razón, el espejo de corriente Q8/Q9 tomará corriente de las bases de Q3 y Q4, reduciendo la corriente de la etapa de entrada, y viceversa. El lazo de realimentación además aísla el resto del circuito de señales de modo común al forzar la tensión de base de Q3/Q4 a seguir $2V_{be}$ por debajo de la mayor de las dos tensiones de entrada.

Entonces, si la etapa de entrada aumenta su corriente por alguna razón, el espejo de corriente Q8/Q9 tomará corriente de las bases de Q3 y Q4, reduciendo la corriente de la etapa de entrada, y viceversa. El lazo de realimentación además aísla el resto del circuito de señales de modo común al forzar la tensión de base de Q3/Q4 a seguir $2V_{be}$ por debajo de la mayor de las dos tensiones de entrada.

Amplificador diferencial

El bloque delineado con azul es un amplificador diferencial. Q1 y Q2 son seguidores de emisor de entrada y junto con el par en base común Q3 y Q4 forman la etapa diferencial de entrada. Además, Q3 y Q4 actúan como desplazadores de nivel y proporcionan ganancia de tensión para controlar el amplificador clase A. También ayudan a mejorar la máxima tensión V_{be} inversa de los transistores de entrada (la tensión de ruptura de las juntas base-emisor de los transistores NPN Q1 y Q2 es de 7 V aproximadamente, mientras que los transistores PNP Q3 y Q4 tienen rupturas del orden de 50 V).

El amplificador diferencial formado por los cuatro transistores Q1-Q4 controlan un espejo de corriente como carga activa formada por los tres transistores Q5-Q7 (Q6 es la verdadera carga activa). Q7 aumenta la precisión del espejo al disminuir la fracción de corriente de señal tomada de Q3 para controlar las bases de Q5 y Q6. Esta configuración ofrece una conversión de diferencial a asimétrica de la siguiente forma:

La señal de corriente por Q3 es la entrada del espejo de corriente mientras que su salida (el colector de Q6) se conecta al colector de Q4. Aquí las señales de corriente de Q3 y Q4 se suman. Para señales de entrada diferenciales, las señales de corriente de Q3 y Q4 son iguales y opuestas. Por tanto, la suma es el doble de las señales de corriente individuales. Así se completa la conversión de diferencial a modo asimétrico.

La tensión en vacío en este punto está dada por el producto de la suma de las señales de corriente y el paralelo de las resistencias de colector de Q4 y Q6. Como los colectores de Q4 y Q6 presentan resistencias dinámicas altas a la señal de corriente, la ganancia de tensión a circuito abierto de esta etapa es muy alta.

Nótese que la corriente de base de las entradas no es cero y la impedancia de entrada efectiva (diferencial) de un 741 es del orden de 2 MΩ. Las patas "offset null" pueden usarse para conectar resistencias externas en paralelo con las dos resistencias internas de 1 kΩ (generalmente los extremos de un potenciómetro) para balancear el espejo Q5/Q6 y así controlar indirectamente la salida del operacional cuando se aplica una señal igual a cero a las entradas.

Etapa de ganancia clase A

El bloque delineado con magenta es la etapa de ganancia clase A. El espejo superior derecho Q12/Q13 carga esta etapa con una corriente constante, desde el colector de Q13, que es prácticamente independiente de la tensión de salida. La etapa consiste en dos transistores NPN en configuración Darlington y utiliza la salida del espejo de corriente como carga activa de alta impedancia para obtener una elevada ganancia de tensión. El condensador de 30 pF ofrece una realimentación negativa selectiva en frecuencia a la etapa clase A como una forma de compensación en frecuencia para estabilizar el amplificador en configuraciones con realimentación. Esta técnica se llama compensación Miller y funciona de manera similar a un circuito integrador con amplificador operacional. También se la conoce como "compensación por polo dominante" porque introduce un polo dominante (uno que enmascara los efectos de otros polos) en la respuesta en frecuencia a lazo abierto. Este polo puede ser tan bajo como 10 Hz en un amplificador 741 e introduce una atenuación de -3 dB a esa frecuencia. Esta compensación interna se usa para garantizar la estabilidad incondicional del amplificador en configuraciones con realimentación negativa, en aquellos casos en que el lazo de realimentación no es reactivo y la ganancia de lazo cerrado es igual o mayor a uno. De esta manera se simplifica el uso del amplificador operacional ya que no se requiere compensación externa para garantizar la estabilidad cuando la ganancia sea unitaria; los amplificadores sin red de compensación interna pueden necesitar compensación externa o ganancias de lazo significativamente mayores que uno.

Circuito de polarización de salida

El bloque delineado con verde (basado en Q16) es un desplazador de nivel de tensión (o multiplicador de V_{be}); un tipo de fuente de tensión. En el circuito se puede ver que Q16 suministra una caída de tensión constante entre colector y emisor independientemente de la corriente que lo atraviesa. Si la corriente de base del transistor es despreciable, y la tensión entre base y emisor (y a través de la resistencia de 7.5 k Ω) es 0.625 V (un valor típico para un BJT en la región activa), entonces la corriente que atraviesa la resistencia de 4.5 k Ω será la misma que atraviesa 7.5 k Ω , y generará una tensión de 0.375 V. Esto mantiene la caída de tensión en el transistor, y las dos resistencias en 0.625 + 0.375 = 1 V. Esto sirve para polarizar los dos transistores de salida ligeramente en condición reduciendo la distorsión "crossover". En algunos amplificadores con componentes discretos esta función se logra con diodos de silicio (generalmente dos en serie).

Etapa de salida

La etapa de salida (delineada con cian) es un amplificador seguidor de emisor *push-pull* Clase AB (Q14, Q20) cuya polarización está fijada por el multiplicador de V_{be} Q16 y sus dos resistencias de base. Esta etapa está controlada por los colectores de Q13 y Q19. Las variaciones en la polarización por temperatura, o entre componentes del mismo tipo son comunes, por lo tanto la distorsión "crossover" y la corriente de reposo pueden sufrir variaciones. El rango de salida del amplificador es aproximadamente un voltio menos que la tensión de alimentación, debido en parte a la tensión V_{be} de los transistores de salida Q14 y Q20.

La resistencia de 25 Ω en la etapa de salida sensa la corriente para limitar la corriente que entrega el seguidor de emisor Q14 a unos 25 mA aproximadamente para el 741. La limitación de corriente negativa se obtiene sensando la tensión en la resistencia de emisor de Q19 y utilizando esta tensión para reducir tirar hacia abajo la base de Q15. Versiones posteriores del circuito de este amplificador pueden presentar un método de limitación de corriente ligeramente diferente. La impedancia de salida no es cero, como se esperaría en un amplificador operacional ideal, sin embargo se aproxima a cero con realimentación negativa a frecuencias bajas.

Limitaciones

Saturación

Un Amplificador Operacional típico no puede suministrar más de la tensión a la que se alimenta, normalmente el nivel de saturación es del orden del 90% del valor con que se alimenta. Cuando se da este valor se dice que satura, pues ya no está amplificando. La saturación puede ser aprovechada por ejemplo en circuitos comparadores.

Un concepto asociado a éste es el Slew rate.

Tensión de offset

Es la diferencia de tensión que se obtiene entre los dos pines de entrada cuando la tensión de salida es nula, este voltaje es cero en un amplificador ideal lo cual no se obtiene en un amplificador real. Esta tensión puede ajustarse a cero por medio del uso de las entradas de offset (solo en algunos modelos de operacionales) en caso de querer precisión. El offset puede variar dependiendo de la temperatura (T) del operacional como sigue:

$$V_{\text{offset}} = V_{\text{offset}}(T_0) + \frac{\Delta V_{\text{offset}}}{\Delta T}(T - T_0)$$

Donde T_0 es una temperatura de referencia.

Un parámetro importante, a la hora de calcular las contribuciones a la tensión de offset en la entrada de un operacional es el CMRR (Rechazo al modo común).

Ahora también puede variar dependiendo de la alimentación del operacional, a esto se le llama PSRR (power supply rejection ratio, relación de rechazo a la fuente de alimentación). La PSRR es la variación del voltaje de offset respecto a la variación de los voltajes de alimentación, expresada en dB. Se calcula como sigue:

$$\text{PSRR} = -20 \log \left(\frac{\Delta V_{\text{offset}}}{\Delta V_{\text{CC}}} \right)$$

Corrientes

Aquí hay dos tipos de corrientes que considerar y que los fabricantes suelen proporcionar:

- $I_{\text{offset}} = |I_+ - I_-|$
- $I_{\text{bias}} = \frac{I_+ + I_-}{2}$

Idealmente ambas deberían ser cero.

Característica tensión-frecuencia

Al Amplificador Operacional típico también se le conoce como amplificador realimentado en tensión (VFA). En él hay una importante limitación respecto a la frecuencia: El producto de la ganancia en tensión por el ancho de banda es constante.

Como la ganancia en lazo abierto es del orden de 100.000 un amplificador con esta configuración sólo tendría un ancho de banda de unos pocos Hercios(Hz). Al realimentar negativamente se baja la ganancia a valores del orden de 10 a cambio de tener un ancho de banda aceptable. Existen modelos de diferentes Amplificador Operacional para trabajar en frecuencias superiores, en estos amplificadores prima mantener las características a frecuencias más altas que el resto, sacrificando a cambio un menor valor de ganancia u otro aspecto técnico.

Capacidades

El amplificador operacional presenta capacidades (capacitancias) parásitas, las cuales producen una disminución de la ganancia conforme se aumenta la frecuencia.

Deriva térmica

Debido a que una unión semiconductor varía su comportamiento con la temperatura, los Amplificadores Operacionales también cambian sus características, en este caso hay que diferenciar el tipo de transistor en el que está basado, así las corrientes anteriores variarán de forma diferente con la temperatura si son bipolares o JFET.

Véase también

- Amplificador con realimentación
- Amplificador de aislamiento
- Amplificador de instrumentación
- Amplificador de transconductancia variable
- Amplificador realimentado en corriente
- Comparador
- Disparador Schmitt
- Transistor

Referencias

1. Floyd, Thomas L. (2008). «El Amplificador Operacional». En Luis Miguel Cruz Castillo. *Dispositivos electrónicos*. Pearson Educación. p. 593. ISBN 978-970-26-1193-6.
2. Millman, Jacob (1979). *Microelectronics: Digital and Analog Circuits and Systems*. McGraw-Hill. p. 523-527. ISBN 0-07-042327-X.
3. Horowitz, Paul (1989). *The Art of Electronics*. Cambridge University Press. ISBN 0-521-37095-7.
4. «Application Note 31: Op Amp Circuit Collection» (<http://www.ti.com/ww/en/bobpease/assets/AN-31.pdf>) (en inglés). Texas Instruments. Consultado el 22 de enero de 2016.
5. Ebrahim, Khaleel. «Digital to analog converter using R 2R ladder network and 741 op amp with simulated output waveform» (<http://www.circuitsgallery.com/2012/04/digital-to-analog-converter-using-r-2r.html>) (en inglés). i-St@r Group of Technologies. Consultado el 23 de enero de 2016.

Enlaces externos

- «LM741 Operational Amplifier» (<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm741.pdf>) (en inglés). Consultado el 22 de enero de 2016.
- «El Amplificador Operacional, Práctica N°7» (http://www.viasatelital.com/proyectos_electronicos/amplificador_operacional_lab.htm). 12 de diciembre de 2014. Consultado el 22 de enero de 2016.
- Lee, Thomas H. (18 de noviembre de 2002). *IC Op-Amps Through the Ages* (<http://webapps.calvin.edu/~pribeiro/courses/engr332/Handouts/ho18opamp.pdf>) (en inglés). Consultado el 22 de enero de 2016.
- Camenzind, Hans (2005). *Designing Analog Chips* (http://www.designinganalogchips.com/_count/designinganalogchips.pdf) (en inglés). Consultado el 22 de enero de 2016.
- «The Best of Bob Pease» (<http://web.archive.org/web/http://www.national.com/rap/vacuumtubes.html>). National Semiconductor. Archivado desde el original (<http://www.national.com/rap/vacuumtubes.html>) el 5 de febrero de 2012. Consultado el 22 de enero de 2016.
- «Understanding silicon circuits: inside the ubiquitous 741 op amp» (<http://www.righto.com/2015/10/inside-ubiquitous-741-op-amp-circuits.html>) (en inglés). 30 de octubre de 2015. Consultado el 22 de enero de 2016.

Obtenido de «https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Amplificador_operacional&oldid=93427672»

Categorías: Amplificadores electrónicos | Circuitos integrados | Componentes activos

-
- Esta página fue modificada por última vez el 6 sep 2016 a las 03:32.
 - El texto está disponible bajo la Licencia Creative Commons Atribución Compartir Igual 3.0; podrían ser aplicables cláusulas adicionales. Al usar este sitio, usted acepta nuestros términos de uso y nuestra política de privacidad.

Wikipedia® es una marca registrada de la Fundación Wikimedia, Inc., una organización sin ánimo de lucro.