

Tema 7: El amplificador operacional.

Gustavo Camps-Valls[†]

[†]Dept. Enginyeria Electrònica. Universitat de València. Spain.
gustavo.camps@uv.es, <http://www.uv.es/gcamps>



Situación y escenario:

- Hasta ahora hemos visto amplificadores a partir de elementos con transistores individuales: multietapa, diferenciales, con BJT/FET.
- Ahora veremos un amplificador integrado, el más utilizado en electrónica: el amplificador operacional.
- Su uso es más sencillo que los vistos hasta ahora.
- Muchas aplicaciones en muchos campos de la electrónica: sensores, amplificadores de audio, disparadores, etc.

Qué veremos en este tema:

- Analizamos el *amplificador operacional*, y sus configuraciones típicas (inversora y no inversora).
- Estudiamos brevemente su *estructura interna*.
- Presentamos *detalles técnicos* para su correcto funcionamiento:
 - ① Realimentación en continua
 - ② Resistencia en la entrada
 - ③ Ajuste de cero en la salida
- Ejemplos y ejercicios.

Contenidos

- 1 [Propiedades generales del amplificador operacional](#)
 - Definiciones básicas y preliminares
 - Análisis en frecuencia
 - Propiedades y características
- 2 [Configuración inversora](#)
 - Definición y modelo
 - Amplificador inversor
 - Integrador inversor
 - Configuración inversora generalizada
 - El sumador inversor
 - El integrador-sumador inversor
- 3 [Configuración no inversora](#)
 - Propiedades básicas
 - Multiplicador por constante positiva (mayor que uno)
 - Seguidor
- 4 [Estructura de un amplificador operacional](#)
 - Introducción
 - Amplificador diferencial
 - Espejos de corrientes
 - Driver y circuito completo
- 5 [Utilización de amplificadores operacionales](#)
 - Realimentación en continua
 - Resistencia en la entrada
 - Ajuste de cero en la salida (*offset* mínimo)
 - Ejemplo de diseño con *offset* mínimo
 - El amplificador operacional con una única fuente de alimentación
- 6 [Referencias](#)

Definiciones básicas y preliminares

Definición y símbolo eléctrico

- Un *amplificador operacional* es un *amplificador diferencial* muy elaborado tecnológicamente, de tal modo que su *factor de rechazo en modo común* es prácticamente infinito.
- Así, su tensión de salida puede escribirse:

$$v_S = A(v_2 - v_1)$$

donde V_2 es la tensión en la pata no inversora y V_1 es la tensión en la pata inversora.

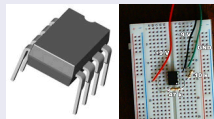
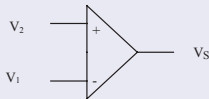


Figura: Representación simbólica del amplificador operacional y unas fotos.

Análisis en frecuencia

Respuesta en frecuencia

- La *ganancia del amplificador operacional* es función de la frecuencia, y puede escribirse, en general, como:

$$A(p) = \frac{A_0}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}$$

donde $T_1 = \frac{1}{2\pi f_1}$, y $T_2 = \frac{1}{2\pi f_2}$ con f_1 y f_2 iguales, respectivamente, a 10 Hz y 1 MHz en el amplificador 741, que puede tomarse como representativo.

- Generalmente puede considerarse f_2 infinitamente elevada en relación a f_1 , de modo que se considera una *buena aproximación*:

$$A(p) = \frac{A_0}{T_1 p + 1}$$

1. *Journal of Management Studies*, 1997, 34, 1, 1-15.

- Se cumple el factor de ganancia - ancho de banda: $A_0 f_T = 1$
- f_T es, por tanto, la frecuencia para ganancia unidad.
- Es una característica típica de los amplificadores operacionales.
- Se tiene una altísima ganancia A_0 a frecuencias bajas.

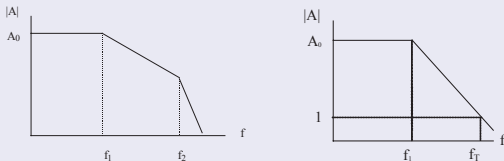


Figura: Respuesta en frecuencia de un operacional y su aproximación.

- Un valor posible es $A_0 = 10^5$ (para el 741).
- Así $f_T = 10^5 \cdot 10 = 10^6 = 1 \text{ MHz}$.

Propiedades y características

Propiedades básicas (cont.)

- La *zona de operación activa lineal* es la correspondiente al tramo recto que pasa por el origen de coordenadas, y es la pendiente de dicha recta igual a la ganancia A_0 del amplificador operacional a frecuencias bajas.
- Las zonas de pendiente nula corresponden al comportamiento no lineal (*zonas de saturación*) para las que ya no es cierta la relación anterior.
- Tiene una *elevada impedancia de entrada*, que permite suponer *nula la corriente que entra* al amplificador operacional, tanto por la pata inversora como por la no inversora.
- **Importante:** los AOs tienen una *protección de cortocircuitos* que limita la corriente de salida cuando se da esta circunstancia, evitando una destrucción segura.

Propiedades y características

"Slew-rate"

- La tensión de salida de un amplificador operacional no puede variar con una velocidad cualquiera.
- Cada amplificador operacional tiene una velocidad límite propia que depende de su estructura circuital.
- Esta *velocidad máxima se llama "slew-rate"* y se representa por las letras S_r .
- La rapidez máxima se mide en *voltios/microsegundo*.

Ejemplo

- $\mu A741$: $S_r = 0,5 \text{ V}/\mu s$,
- TL082: $S_r = 13 \text{ V}/\mu s$.
- LF411: $S_r = 15 \text{ V}/\mu s$.

Propiedades y características

Slew-rate (cont.)

- Esta característica del operacional limita su utilización a frecuencias altas.
- En efecto, sea $v_S = V_S \cdot \sin \omega t$ la salida del operacional.
- La *velocidad máxima de la señal* es $(dv_S/dt)_0 = V_S \cdot \omega$.
- Para un funcionamiento correcto, $V_S \cdot \omega < S_r$.
- En caso contrario, se produce *distorsión en la salida*:

$$(V_S)_{\text{pico}} f(\text{Hz}) < \frac{10^6 S_r (\text{V}/\mu\text{s})}{2\pi}$$

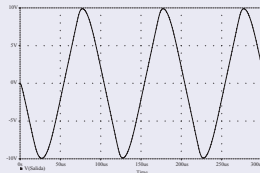


Figura: Salida de un 741 de ganancia 10 con una entrada de 1 Vp y 10 kHz. Se aprecia claramente la distorsión por exceso de velocidad (triangulación).

Propiedades y características

Slew rate

- **Enunciado:** Calcular la máxima tensión de salida sin triangularización de un 741 funcionando a una frecuencia de 10 kHz.
- Con la ecuación anterior, se tiene una salida de $0,5 \cdot 10^6 / (2 \cdot \pi \cdot 10^4) = 25/\pi = 7,95 V_p$ como máximo sin que se produzca distorsión.
- *Deformación de la senoide de salida cuando se intenta obtener 10 V de pico a 10 kHz.*
- Como el máximo es de sólo 7,9 V_p , se produce una «triangulación», que constituye una *distorsión de tipo no lineal*.
- **Importante:** El efecto de distorsión por “slew rate” (exceso de velocidad) se produce siempre, independientemente del tipo de configuración en que esté montado el operacional.

Propiedades y características

Distorsión no lineal

- Hay dos tipos de distorsión no lineal:
 - 1 **Triangularización.** La debida a S_r , por intentar superar la velocidad máxima de la tensión de salida del operacional;
 - 2 **Saturación.** Por intentar superar la tensión máxima que puede dar el operacional en la salida (nunca puede ser mayor que V_{CC}).
- **Importante:** Tanto una como otra deben evitarse siempre (**recordar los conceptos de realimentación!**).
- Esta distorsión no lineal es la que deforma el sonido en los sistemas amplificadores de potencia para audio (**lo vereis en detalle en EA-II**).

Definición y modelo

Definición y modelo

- Uno de los *circuitos más importantes* que tiene al amplificador operacional como pieza clave es la configuración inversora.
- La función de transferencia de tensión del sistema, $G(p) = V_s/V_e$, se puede calcular, en primera *aproximación, suponiendo que la ganancia del operacional es infinita*.
- Esta aproximación es *buena frecuencias bajas*, ya que en este caso la ganancia es próxima a A_0 , que es del orden de 10^5 .
- Además, se puede *suponer que las corrientes por las patas de entrada del operacional son nulas*, dada la alta impedancia de entrada del amplificador.

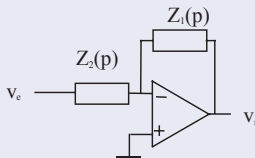


Figura: Configuración inversora.

Definición y modelo

Modelo aproximado y ganancia

- Si $A \rightarrow \infty$ entonces $v_s = (v_+ - v_-)/A \rightarrow 0$ y por tanto $v_- = v_+ = 0$.
- Planteando ahora *nudos*, puede escribirse:

$$\frac{v_e}{Z_2(p)} + \frac{v_s}{Z_1(p)} = 0 \rightarrow G(p) = -\frac{Z_1(p)}{Z_2(p)}$$

- **Importante:** $G(p)$ no depende de parámetros internos del amplificador operacional.
- *Sólo depende de las impedancias externas: elementos pasivos muy insensibles a cambios ambientales y de envejecimiento.*
- *Por tanto, el sistema es altamente preciso, fiable y reproducible.*
- Las impedancias $Z_1(p)$ y $Z_2(p)$ son de tipo **RC**, ya que la utilización de bobinas no es conveniente por:
 - 1 Su tamaño voluminoso.
 - 2 Su comportamiento real muy distinto del previsto teóricamente a las frecuencias de funcionamiento de los amplificadores operacionales (a menudo para audio).
- $Z_e = Z_2(p)$, ya que la tensión en la pata inversora es prácticamente nula.

Amplificador inversor

Características

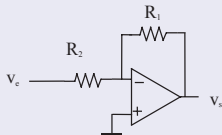


Figura: Amplificador inversor.

- Cuando $Z_1(p) = R_1$ y $Z_2(p) = R_2$,

$$G(p) = -\frac{R_1}{R_2}$$

- Si se considera $v_s = A(v_+ - v_-) = -Av_-$, se desarrolla el nudo v_- y se emplea $A = A_0/(1 + T_1p)$...

- ... la frecuencia superior de corte del amplificador inversor (hacer en 5'):

$$f_B = \frac{f_T}{1 + k}, \quad k = \frac{R_1}{R_2}, \quad f_T = A_0 f_1$$

$\mu A741$, $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$

- La ganancia a frecuencias bajas es (en valor absoluto) $G = 100/10 = 10$
- Frecuencia superior de corte: $10^5 \cdot 10/11 = 90,9 \text{ kHz}$.
- La impedancia de entrada es de $10 \text{ k}\Omega$.

Integrador inversor

Características

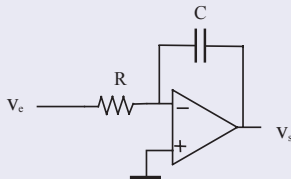


Figura: Integrador inversor.

- Un *integrador inversor* es un amplificador inversor en el que la resistencia de realimentación se ha sustituido por un condensador.
- Se tiene:

$$-V_s = \frac{A}{1 + (A + 1)RCp} V_e$$

- Si la ganancia es muy alta ($A \rightarrow \infty$), se tiene un integrador ideal (con un cambio de signo):

$$V_s \approx -\frac{V_e}{RCp}$$

Integrador inversor

¿Por qué se le llama integrador inversor?

- La T. Laplace Inversa da la $v_s(t)$:

$$v_s(t) = -\frac{1}{RC} \int_0^t v_e(x) dx + v_s(0), \quad \text{donde } v_s(0) = V_0$$

donde V_0 es la tensión a la salida con que está inicialmente cargado el condensador.

- Por lo tanto, la salida es una suma acumulada (integración) de la señal de entrada cambiada de signo (inversor).*
- La respuesta en frecuencia del integrador ideal:

$$G_i(j\omega) = -\frac{1}{RCj\omega}$$

- El argumento de $G_i(j\omega)$ es siempre de 90° para cualquier frecuencia.
- Un integrador ideal no inversor tiene un argumento cte. de -90° .*

Configuración inversora generalizada

Características

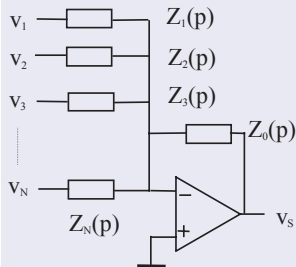


Figura: Configuración inversora generalizada.

- La *configuración inversora generalizada* consiste en la ampliación del número de entradas.
- Suponiendo las mismas aproximaciones que en el caso anterior, resulta:

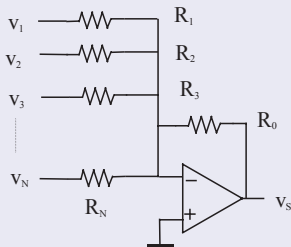
$$\sum_{k=1}^N \frac{v_k(p)}{Z_k(p)} = -\frac{v_s(p)}{Z_0(p)}$$

- *La tensión de salida como combinación lineal de las tensiones de entrada:*

$$v_s(p) = -\sum_{k=1}^N \frac{Z_0(p)}{Z_k(p)} v_k(p)$$

El sumador inversor

Características



- El *sumador inversor* es un caso particular en que todas las impedancias en la configuración generalizada sean resistencias. En tal caso, la salida es:

$$v_s(p) = - \sum_{k=1}^N \frac{R_0}{R_k} v_k(p)$$

Figura: Circuito de sumador inversor mediante amplificador operacional.

- Pasando al dominio temporal:

$$v_s(t) = - \sum_{k=1}^N \frac{R_0}{R_k} v_k(t)$$

El integrador-sumador inversor

Características

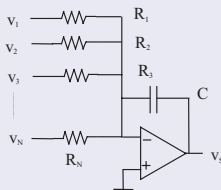


Figura: Integrador-sumador inversor.

- El *integrador-sumador inversor* es el caso particular en que $Z_0(p) = 1/Cp$ y $Z_k(p) = R_k$.
- Resulta:

$$v_s(p) = - \sum_{k=1}^N \frac{1}{R_k C p} v_k(p)$$

- Y tomando transformadas inversas:

$$v_s(t) = - \sum_{k=1}^N \frac{1}{R_k C} \int v_k(t) dt$$

Propiedades básicas

Características

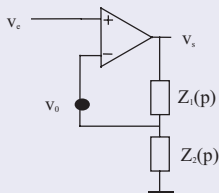


Figura: Configuración no inversora.

- Si la impedancia del operacional es muy alta, resulta:

$$v_0(p) = \frac{Z_2(p)v_s(p)}{Z_1(p) + Z_2(p)}$$

- Por otra parte, al ser la ganancia muy alta, $V_0 = V_e$, de donde:

$$v_s(p) = \left[1 + \frac{Z_1(p)}{Z_2(p)} \right] v_e(p)$$

- La impedancia de entrada de una configuración no inversora es altísima, ya que se trata de un amplificador *realimentado en modo serie-paralelo*.
- La impedancia de salida es, por la misma razón, muy pequeña.

Multiplicador por constante positiva (mayor que uno)

Características

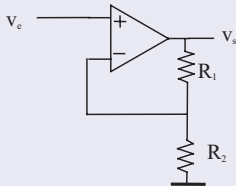


Figura: Multiplicador por constante mayor que uno.

- Si las impedancias son simplemente resistencias, resulta un *amplificador no inversor o multiplicador por constante positiva*:

$$v_s(p) = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) v_e(p)$$

- Tomando transformadas inversas de Laplace:

$$v_s(t) = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) v_e(t)$$

- Demostrar que la frecuencia superior de corte es $f_B = \frac{f_T}{k}$, donde $k = 1 + \frac{R_1}{R_2}$. (Premio: 0.01 puntos)**

100

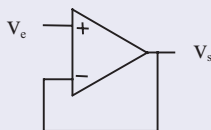


Figura: Seguidor mediante amplificador operacional.

- *Caso particular del anterior.*
- Consiste en un amplificador de ganancia unidad que resulta de hacer $R_1 = 0$ y $R_2 = \infty$
- *La frecuencia superior de corte es igual a f_T y la impedancia de entrada muy grande por la realimentación y la impedancia de entrada del operacional.*
- *La impedancia de salida es muy pequeña por las mismas razones.*
- **Estas circunstancias hacen que el seguidor sea un circuito perfecto como acoplador de impedancias.**

Ejercicio propuesto

- Un amplificador con BJT acoplado en continua tiene una ganancia de 10, una impedancia de entrada de $10\text{ k}\Omega$ y una impedancia de salida de $1\text{ k}\Omega$.
- Convertirlo en un amplificador de ganancia 10, impedancia de entrada $47\text{ k}\Omega$, impedancia de salida $10\text{ }\Omega$ y frecuencia inferior de corte de 20 Hz .
- Ayuda: Se puede conseguir la transformación pedida utilizando únicamente seguidores.
- Premio: 0,1 puntos.

Introducción

Introducción

- *En esta sección veremos el amplificador operacional por dentro.*
- Analizaremos los bloques que lo forman, sus conexiones y ecuaciones de análisis más sencillas.
- *El esquema de un **amplificador operacional** puede considerarse descompuesto en tres partes:*
 - 1 un amplificador diferencial de continua,
 - 2 un amplificador intermedio o *driver*, y
 - 3 una etapa de salida en contrafase.

1

1

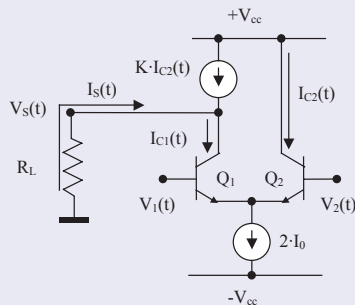


Figura: Amplificador diferencial de continua con fuente de corriente controlada por corriente en el colector de Q_1 y con fuente de corriente continua en los emisores.

- La *impedancia de salida es muy alta* al proceder de fuentes de corriente.
- Tiene una *fuerza de corriente constante (continua)* de valor $2I_0$ en los emisores de Q_1 y Q_2 .
- *La carga de Q_1 está formada por una fuente de corriente controlada por la corriente de colector de Q_2 .*
- La corriente de dicha fuente más la corriente de salida, $I_S(t)$, constituye la corriente de colector de Q_1 .
- $K \approx 1$ por lo que:

$$I_S(t) = I_{C1}(t) - I_{C2}(t)$$

Amplificador diferencial

Amplificador diferencial de continua (cont.)

- *La corriente constante de la fuente de los emisores se distribuye a partes iguales entre los dos transistores*, de modo que la corriente de polarización de cada uno de ellos es I_0 .
- Las corrientes totales, $I_{C1}(t)$ e $I_{C2}(t)$, se pueden escribir como I_0 más una componente variable (alterna, como caso particular).

- *Así, en AC, resulta:*

$$i_S = i_{C1} - i_{C2}.$$

- Si llamamos v_E a la tensión alterna en los emisores, se cumple:

$$\frac{v_1 - v_E}{r_d} = i_{C1}, \quad \frac{v_2 - v_E}{r_d} = i_{C2}$$

- *Se obtiene la corriente alterna de salida:*

$$i_S = \frac{v_1 - v_2}{r_d}$$

que es constante y no depende de R_L sino sólo de la diferencia de tensión en las entradas.

- *El sistema se comporta, pues, como una fuente de corriente controlada por la tensión ($v_1 - v_2$).*

Amplificador diferencial

Amplificador diferencial de continua (cont.)

- La tensión en la salida es igual al producto de i_S por R_L , con signo cambiado; es decir:

$$v_S = \frac{R_L}{r_d}(v_2 - v_1)$$

- La tensión v_2 corresponde a la pata no inversora y v_1 a la pata inversora.
- La ganancia resultante es el doble que la de un amplificador diferencial con resistencia de carga. ya no tenemos ese 2 en el denominador!*
- Otra ventaja del circuito es que no contiene resistencias, excepto la R_L que es externa al amplificador.*
- Esto facilita la integración del sistema en un «chip».*
- La impedancia de salida del dispositivo es muy alta por tener fuentes de corriente a la salida.*

Espejos de corriente

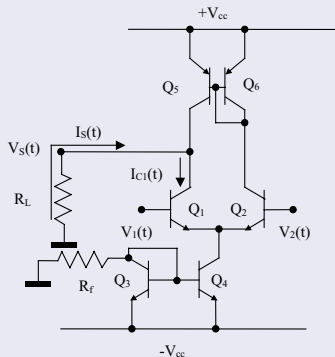


Figura: Amplificador diferencial de continua con fuentes de corriente implementadas con espejos de corriente.

- Las fuentes de corriente se implementan con espejos de corriente.
- El amplificador con una fuente de corriente fija de valor:

$$I_0 = \frac{V_{CC} - V_{BE3}}{R_f}$$

- Los transistores Q_5 y Q_6 forman una fuente de corriente conectada al colector de Q_1 y controlada por la corriente que pasa por el colector de Q_2 .

Driver y circuito completo

Circuito completo genérico simplificado

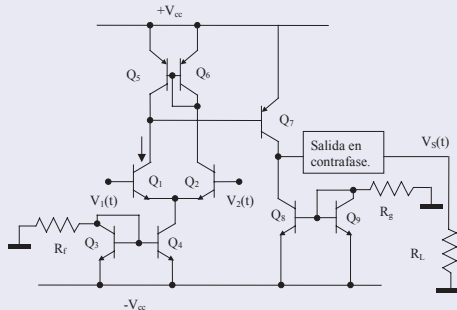
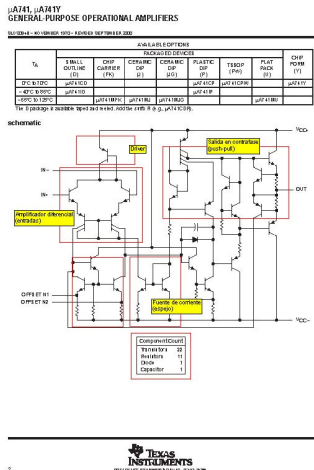
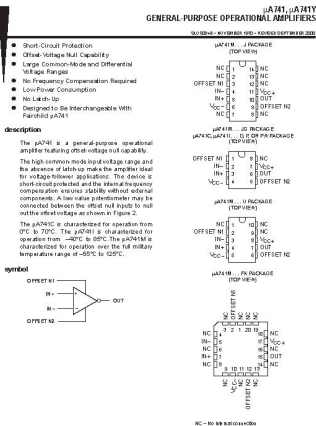


Figura: Circuito completo.

- El transistor Q_7 es el driver, que está polarizado por la fuente $Q_8 - Q_9$ para funcionar en clase A.
- La salida está formada por varios transistores en contrafase.
- Estructura muy usada en amplis de potencia (tema siguiente).
- Tiene una impedancia de salida baja.

Datasheet del $\mu A741$



Objetivo

- Existe una serie de detalles prácticos que deben conocerse para la correcta utilización de un amplificador operacional.
- En esta sección veremos:
 - 1 Realimentación en continua
 - 2 Resistencia en la entrada
 - 3 Ajuste de cero en la salida
 - 4 Ejemplo de diseño
 - 5 Diseño con una única fuente

Realimentación en continua

Características

- Para que un amplificador operacional funcione correctamente debe siempre tener realimentación de continua.
- *Es decir, debe existir un autocontrol de las componentes continuas de polarización.*

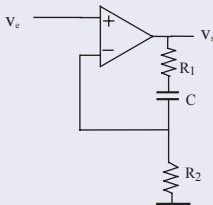
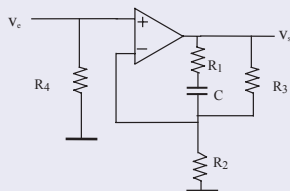


Figura: Un ejemplo de estructura incorrecta: (1) no hay realimentación en continua y (2) la pata no inversora está «al aire».

- *Debe haber una conexión en continua entre la salida y la entrada del amplificador operacional.*
- *La ganancia a frecuencia cero debe ser finita.*
- El condensador C interrumpe el camino de realimentación en continua.
- **Solución:** Conectar una resistencia de valor elevado en paralelo con R_1 y C .



- Otra precaución que debe tenerse en cuenta es que *nunca una pata del amplificador operacional debe estar «al aire», es decir, desconectada de todo elemento.*
- Esto imposibilita toda corriente de polarización y deja, además, una indeterminación en la tensión de dicho terminal
- La pata no inversora estaba al aire (mal!); ahora tenemos R_4 (bien!).
- La ganancia a frecuencias bajas es: $H(0) = 1 + R_3/R_2$.

Ajuste de cero en la salida (offset mínimo)

Características

- *Un amplificador operacional perfecto debe tener una tensión de salida nula cuando la diferencia de potencial entre las entradas sea cero.*
- Esta condición no se cumple nunca exactamente y *siempre aparece una pequeña tensión en la salida llamada offset o desajuste de cero.*
- Siempre es aconsejable reducirlo al mínimo.
- Para ello el amplificador operacional debe estar *polarizado de forma simétrica.*

Ajuste de cero en la salida (offset mínimo)

Simetría en impedancias...

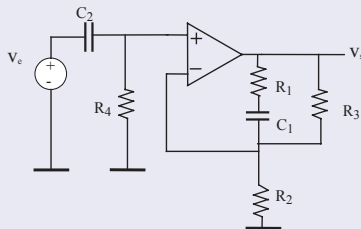


Figura: Para un *offset* mínimo debe ser $R_4 = R_2 || R_3$.

- **Condición a cumplir:** *La resistencia que se ve desde la pata inversora y la que se ve desde la pata no inversora deben ser iguales.*
- $Z_+ = R_4$
- $Z_- = R_2 || R_3$
- Por tanto... $R_4 = R_2 || R_3$.
- **Problema:** hay una relación entre la ganancia (definida por R_2 y R_3) a frecuencias bajas y la impedancia de entrada (R_4).
- **Solución:** añadir una resistencia en serie con la pata inversora o la no inversora que ajuste/controle el offset.

Ajuste de cero en la salida (offset mínimo)

Características (cont.)

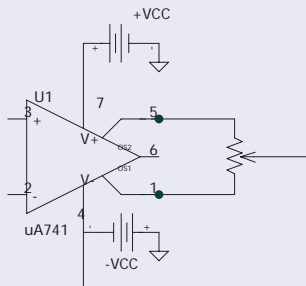


Figura: El amplificador operacional $\mu A741$ con la conexión de ajuste de *offset*.

- **Buenas noticias:** *los amplificadores operacionales suelen disponer de dos patas especialmente dedicadas al ajuste de offset.*
- Por ejemplo, el $\mu A741$ permite conectar un potenciómetro de 10 k Ω entre las patas 1 y 5, como muestra la figura 20.
- El cursor del potenciómetro se conecta a la tensión negativa de alimentación.

Ejemplo de diseño con offset mínimo

Diseño para offset mínimo

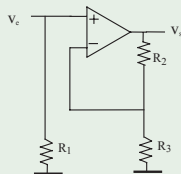


Figura: Un diseño con *offset* mínimo y baja ganancia, sin problemas.

- *Diseño de ganancia $A = 10$ e impedancia de entrada $Z = 47k$.*
- Se ha de cumplir:

$$A = 1 + \frac{R_2}{R_3}, \quad Z = R_1, \quad R_1 = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$$

- De aquí, resultan las siguientes ecuaciones de diseño:

$$R_1 = Z, \quad R_2 = ZA, \quad R_3 = \frac{AZ}{A - 1}$$

- Para $A = 10$ y $Z = 47 \text{ k}\Omega$, tenemos: $R_1 = 47 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 470 \text{ k}\Omega$ y $R_3 = 52,2 \text{ k}\Omega$.

Ejemplo de diseño con offset mínimo

Diseño para offset mínimo (cont.)

- **Problema:** *cuando la ganancia es alta y la impedancia de entrada también.*
- Si $Z = 100 \text{ k}\Omega$ y $A = 100$, las resistencias resultantes son $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 10 \text{ M}\Omega$ y $R_3 = 101 \text{ k}\Omega$.
- Una resistencia de $10 \text{ M}\Omega$ puede ser demasiado alta, por ejemplo si se utiliza un μA741 .
- *Para resolver el problema se añade una resistencia prácticamente igual a R_1 en serie con la pata inversora:*

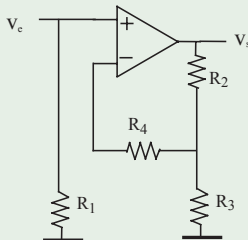


Figura: Si R_4 es muy parecida a R_1 y ambas son mucho mayores que R_2 y R_3 , el amplificador operacional está equilibrado y el *offset* es mínimo.

Ejemplo de diseño con offset mínimo

Diseño para offset mínimo (cont.)

- Como $R_4 \ll Z_{in}$, no tiene efecto apreciable sobre la ganancia del amplificador.
- Por ejemplo si $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 99 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$ y $R_4 = 100 \text{ k}\Omega$, se consigue un amplificador con ganancia 100 e impedancia de entrada $100 \text{ k}\Omega$ sin necesidad de usar una resistencia de $10 \text{ M}\Omega$.

El amplificador operacional con una única fuente de alimentación

Uso y esquema

- *En algunas ocasiones es necesario polarizar un amplificador operacional con una fuente de alimentación solamente.*
- En este caso la tensión continua en la salida es de $V_{CC}/2$.
- Si el amplificador operacional soporta como máximo una alimentación simétrica de $\pm 18\text{ V}$, hay que tener presente que la alimentación máxima con una única fuente es de $18 \cdot 2 = 36\text{ V}$.
- En realidad el amplificador operacional «no se entera» de si está siendo utilizado de una forma o de otra: *lo que importa es la diferencia de potencial total entre el terminal positivo de alimentación y el negativo.*

A set of small navigation icons typically found in Beamer presentations, including symbols for back, forward, search, and other slide controls.

El amplificador operacional con una única fuente de alimentación

Análisis (cont.)

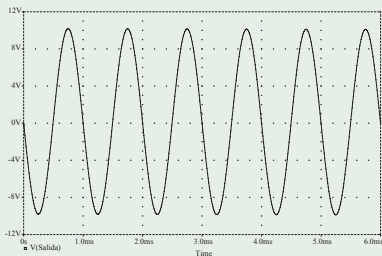
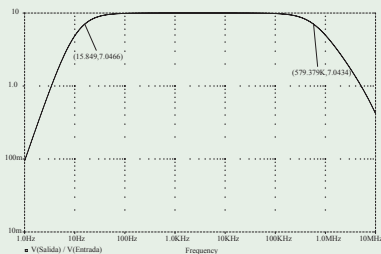


Figura: (a) Respuesta en frecuencia y Señal de salida del amplificador.

- El C_1 da una $f_{inf} = 10,26$ Hz, al igual que C_2 .
- La frecuencia inferior de corte del sistema es de $10,26/0,64 = 16$ Hz (tabla de corrección, N). [repasa el tema 4!].
- En este circuito no se ha minimizado el offset.
- Para ello: $R_4 = R_1 || R_2 \rightarrow R_1 = R_2 = 940$ k Ω .

El amplificador operacional con una única fuente de alimentación

Diseño

- **Datos:** ganancia A ; impedancia de entrada Z ; frecuencia inferior de corte f_1 , y resistencia de carga, R_5 .
- **Fórmulas:** $R_3 = Z$, $R_4 = AZ$, $R_1 = R_2 = 2AZ$, $C_1 = \frac{1}{2\pi f'}$.
- El divisor R_1 - R_2 proporciona $V_{CC}/2 = 15\text{ V}$ en la pata "+".

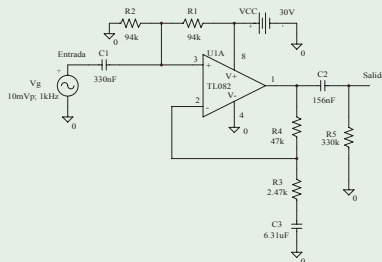


Figura: Amplificador no inversor con operacional alimentado con sólo una fuente, *offset* optimizado y condensadores de paso calculados mediante el método de frecuencias modificadas superpuestas.

El amplificador operacional con una única fuente de alimentación

Diseño (cont.)

- La impedancia que "ve" la pata "+" es de $47\text{k}\Omega$, igual que la que "ve" la pata "-" a bajas frecuencias; AO equilibrado y offset es mínimo.
- La ganancia a frecuencias medias es $1 + 47/2,47 = 20$.
- Las freqs. inf. de corte producidas por los 3 condensadores son todas iguales a 10,23 Hz.
- Así, la frecuencia inferior de corte resultante es $10,2/0,51 = 20$ Hz.
- Fórmulas de diseño:**

$$R_1 = R_2 = 2Z, \quad R_3 = \frac{Z}{A - 1}, \quad R_4 = Z, \quad C_1 = \frac{1}{2\pi f'}$$

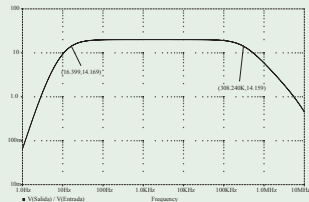


Figura: Respuesta en frecuencia del amplificador de la figura anterior.

Referencias



“Fundamentos de Electrónica Analógica”

José Espí López, Gustavo Camps-Valls, y Jordi Muñoz-Marí
Servicio de Publicaciones - Universidad de Valencia
1ª edición, 2006. **TEMA 7**



“Electrónica”

Allan R. Hambley. Prentice Hall. 2ª edición, 1999. **TEMA 1-2**



“The Art of Electronics” + “Student Manual”

Paul Horowitz y Winfield Hill. Cambridge University Press
2ª edición, 1989. **TEMA 4 (y un poco del 5)**
<http://www.artofelectronics.com/>



“Electrónica Analógica. Problemas y Cuestiones”

José Espí López, Gustavo Camps-Valls, y Jordi Muñoz-Marí
Prentice Hall, Serie Prentice/Practica. 1ª edición, 2006. **TEMA 5**

¿Y ahora qué?

- Los próximos días haremos ejercicios en clase de los boletines.
- Teneis una serie de proyectos propuestos/tutelados (0.05 - 0.1 puntos).