SENSORES Y ACONDICIONADORES

TEMA 14
ACONDICIONAMIENTO DE SENSORES

AMPLIFICADORES ESPECIALES PARA EL ACONDICIONAMIENTO DE SENSORES

Profesores: Enrique Mandado Pérez
Antonio Murillo Roldan

NECESIDAD DE AMPLIFICADORES ESPECIALES

Entre los distintos sensores, tanto moduladores como generadores, se dan en ocasiones las siguientes situaciones:

- **Algunos sensores moduladores proporcionan, mediante un puente, una tensión o una corriente de amplitud reducida que debe ser amplificada. El amplificador utilizado debe tener tensiones de asimetría y corrientes de polarización mínimas y el circuito de acondicionamiento unas características de funcionamiento que minimicen la influencia del ruido electromagnético.**
- **Algunos sensores tanto moduladores como generadores deben estar aislados galvánicamente del circuito de acondicionamiento que suele estar alimentado a partir de la red de alterna.**
- **En algunas aplicaciones los sensores están sometidos a cambios de temperatura elevados y es necesario minimizar la deriva de la tensión de asimetría de entrada.**

DEFINICIÓN DE LOS AMPLIFICADORES ESPECIALES

Los amplificadores especiales para acondicionamiento de sensores se pueden definir como circuitos amplificadores que poseen características adecuadas para realizar una o más de las siguientes funciones:

- **Amplificar señales procedentes de elementos sensores, que se caracterizan por sus reducidos niveles de tensión, corriente o carga, en cuya amplitud está contenida la información.**
- **Aislar los sensores del sistema electrónico al que se le proporciona la información generada por ellos.**
- **Amplificar señales en ambientes industriales extremos en aplicaciones en las que la deriva térmica de las imperfecciones debe ser muy pequeña.**
- **Amplificar señales procedentes de sensores que poseen una elevada impedancia de salida y proporcionan corrientes de muy bajo nivel.**

CLASIFICACIÓN DE LOS AMPLIFICADORES ESPECIALES

Los principales tipos de amplificadores especiales se clasifican de acuerdo con la arquitectura del circuito en:

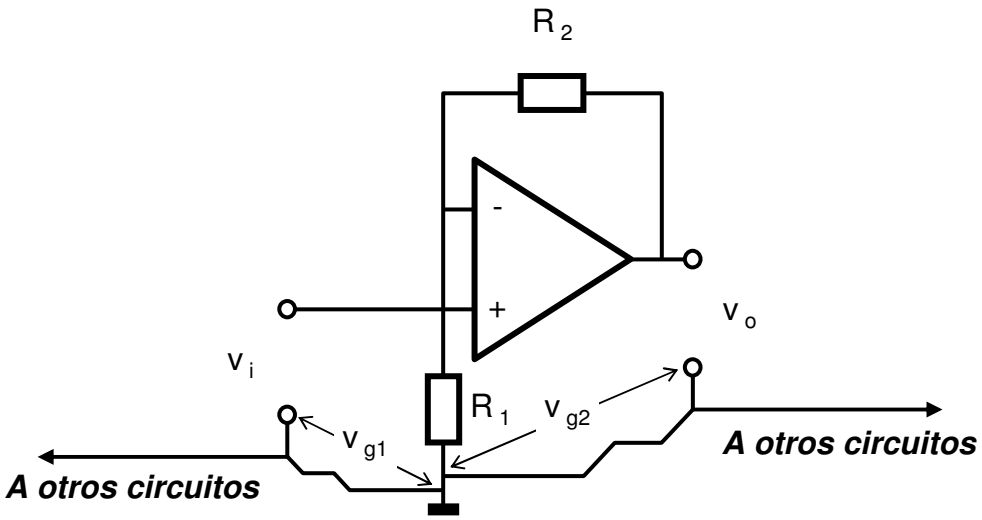
- **Amplificadores de instrumentación (*Instrumentation Amplifiers*).**
- **Amplificadores de continua conmutados o con autocorrección de la deriva (troceadores) (*Chopper Stabilized Operational Amplifiers*).**
- **Amplificadores de aislamiento (*Isolation Amplifiers*).**
- **Amplificadores de transconductancia [*Operational Transconductance Amplifiers* (OTA)].**
- **Amplificadores de transimpedancia [*Current Feedback Amplifiers* (CFA)].**
- **Amplificadores logarítmicos (*Logarithmic Amplifiers*)**

AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN [PERE página 99] [PALL página 137]

Introducción

Influencia de las caídas de tensión en las masas

Los amplificadores inversores y no inversores realizados con un AO además de amplificar la señal de entrada, también amplifican las señales parásitas generadas en la conexión entre masas.

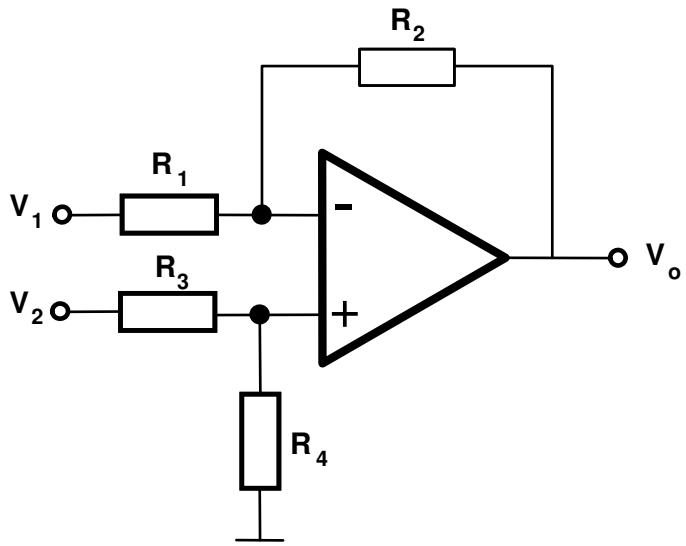


$$v_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)\left(v_i + v_{g1}\right) + v_{g2}$$

AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN

Introducción

Se pueden realizar de varias maneras pero el circuito más utilizado es el obtenido a partir del amplificador restador (de modo diferencial) representado en la figura. Si el AO es ideal dicho circuito funciona de acuerdo con las ecuaciones:



$$v_o = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} v_2 - \frac{R_2}{R_1} v_1$$

Si $R_2 = R_4$ y $R_1 = R_3$ $\qquad v_o = \frac{R_4}{R_3}(v_2 - v_1)$

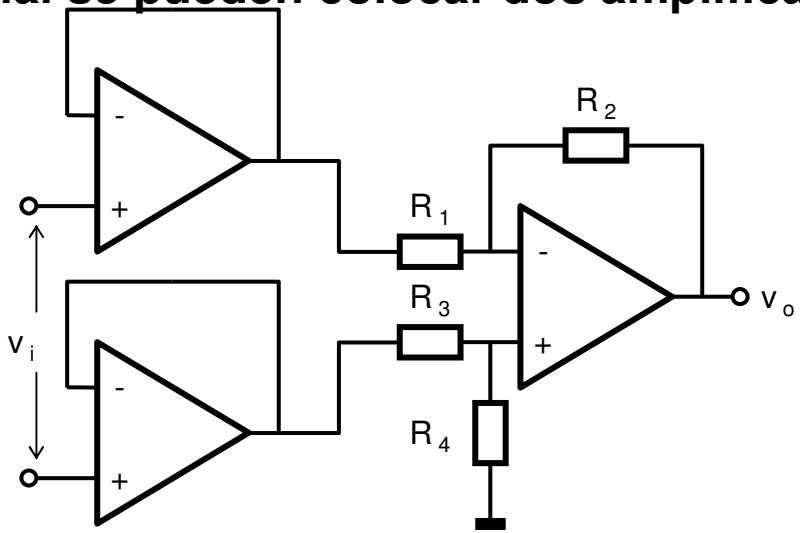
Principales características

- **No amplifica las señales generadas entre las masas.**
- **La impedancia del circuito conectado a la entrada no inversora es mayor que la de la inversora.**
- **Para cambiar la ganancia hay que modificar dos resistencias.**

AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN

Introducción

Para elevar e igualar la impedancia de las dos entradas del amplificador de modo diferencial se pueden colocar dos amplificadores seguidores.



Este amplificador iguala las impedancias pero en él hay que modificar también dos resistencias para cambiar la ganancia. Este inconveniente propició el desarrollo de un circuito mejorado que dio lugar al amplificador de instrumentación que se convirtió en una innovación incremental.

AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN

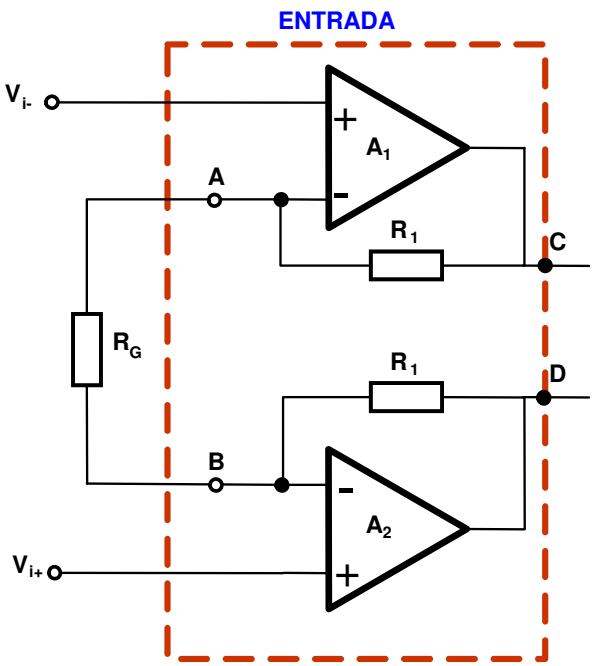
Definición

Circuito electrónico formado por varios amplificadores operacionales que posee las siguientes características:

- **Elevada impedancia de entrada.**
- **Elevada relación de rechazo de modo común (CMRR).**
- **Ganancia estable que se puede variar con una sola resistencia.**
- **Elevada ganancia y elevado ancho de banda independientemente de la misma.**
- **Tensión y corrientes de asimetría (desviación o desequilibrio) (*Offset*) bajas con pequeña deriva de temperatura.**
- **Impedancia de salida baja.**

AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN

Para que se pueda modificar la ganancia del amplificador de modo diferencial mediante el cambio de una sola resistencia se sustituyen los dos amplificadores seguidores por el circuito de la figura.



En este circuito se cumplen las ecuaciones:

$$i_{R_G} = \frac{v_A - v_B}{R_G} = \frac{v_{i-} - v_{i+}}{R_G}$$

$$v_{CD} = (2\,R_1 + R_G)\,i_{R_G} = \frac{2\,R_1 + R_G}{R_G}(v_A - v_B)$$

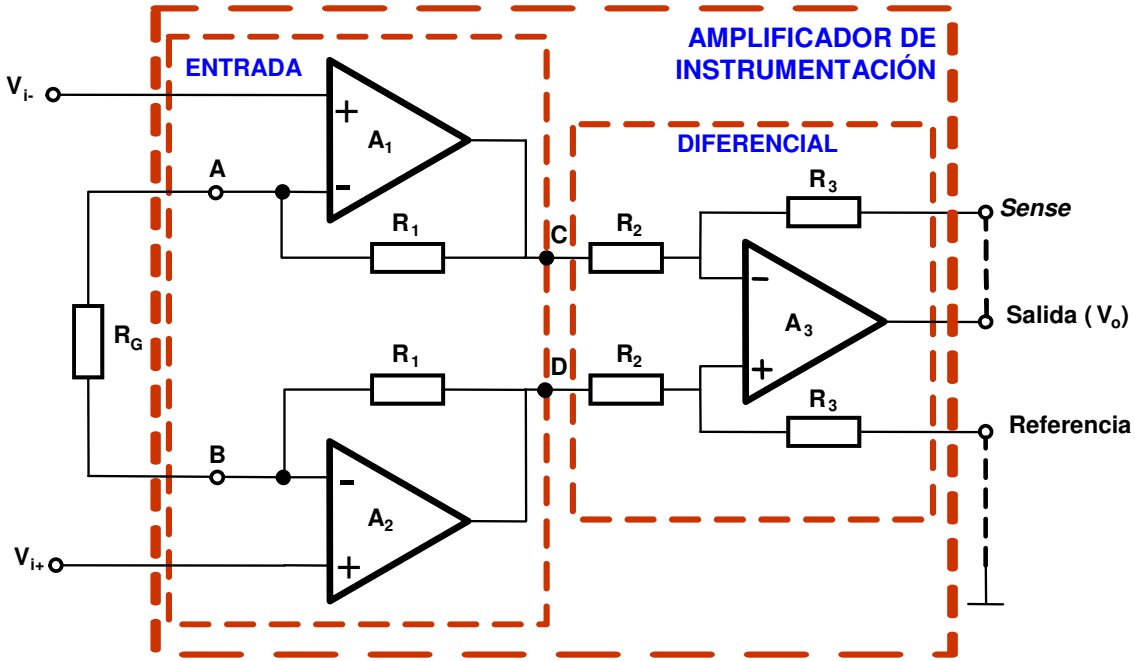
$$v_{DC} = \frac{2\,R_1 + R_G}{R_G}(v_{i+} - v_{i-})$$

de las cuales se deduce que el circuito solo amplifica la diferencia $v_{i+} - v_{i-}$.

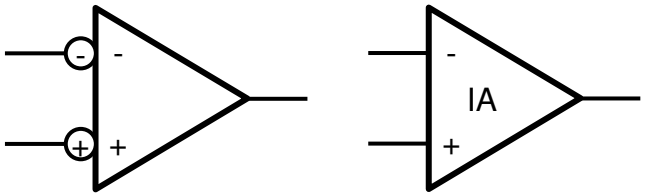
AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN

Mediante la interconexión del circuito de la transparencia anterior y un amplificador de modo diferencial se obtiene un amplificador de instrumentación implementado con tres amplificadores operacionales en el que se cumple:

$$v_o = v_{DC} \cdot \frac{R_3}{R_2} = \frac{R_3}{R_2} \cdot \left(1 + \frac{2R_1}{R_G}\right)(v_{i+} - v_{i-})$$



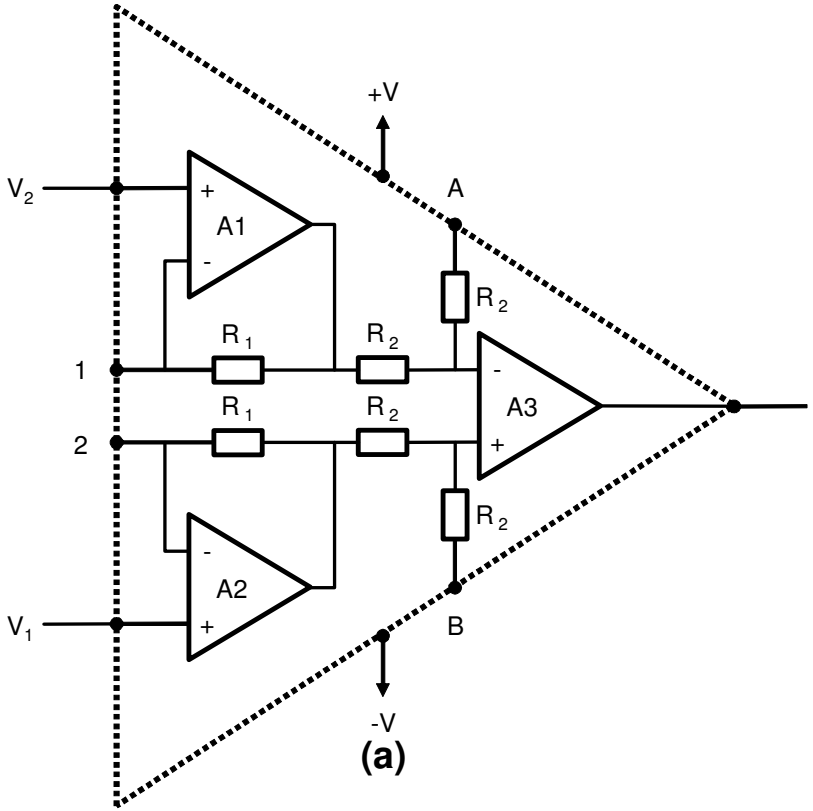
Símbolos de un amplificador de Instrumentación



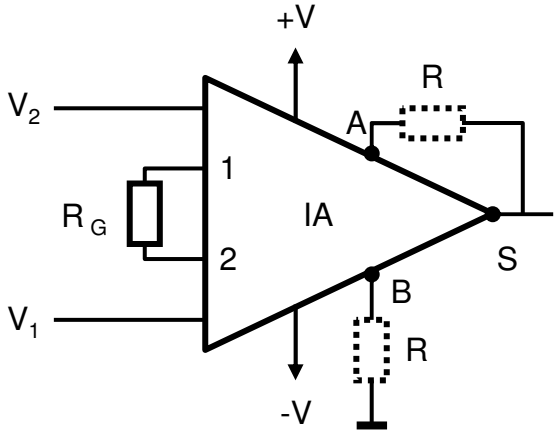
AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN

Un amplificador de instrumentación integrado ha de contener como mínimo los elementos representados en la figura *a*.

La ganancia del amplificador se establece mediante una resistencia R_G. Además se puede modificar también la ganancia colocando dos resistencias R idénticas tal como se indica en la figura *b*.



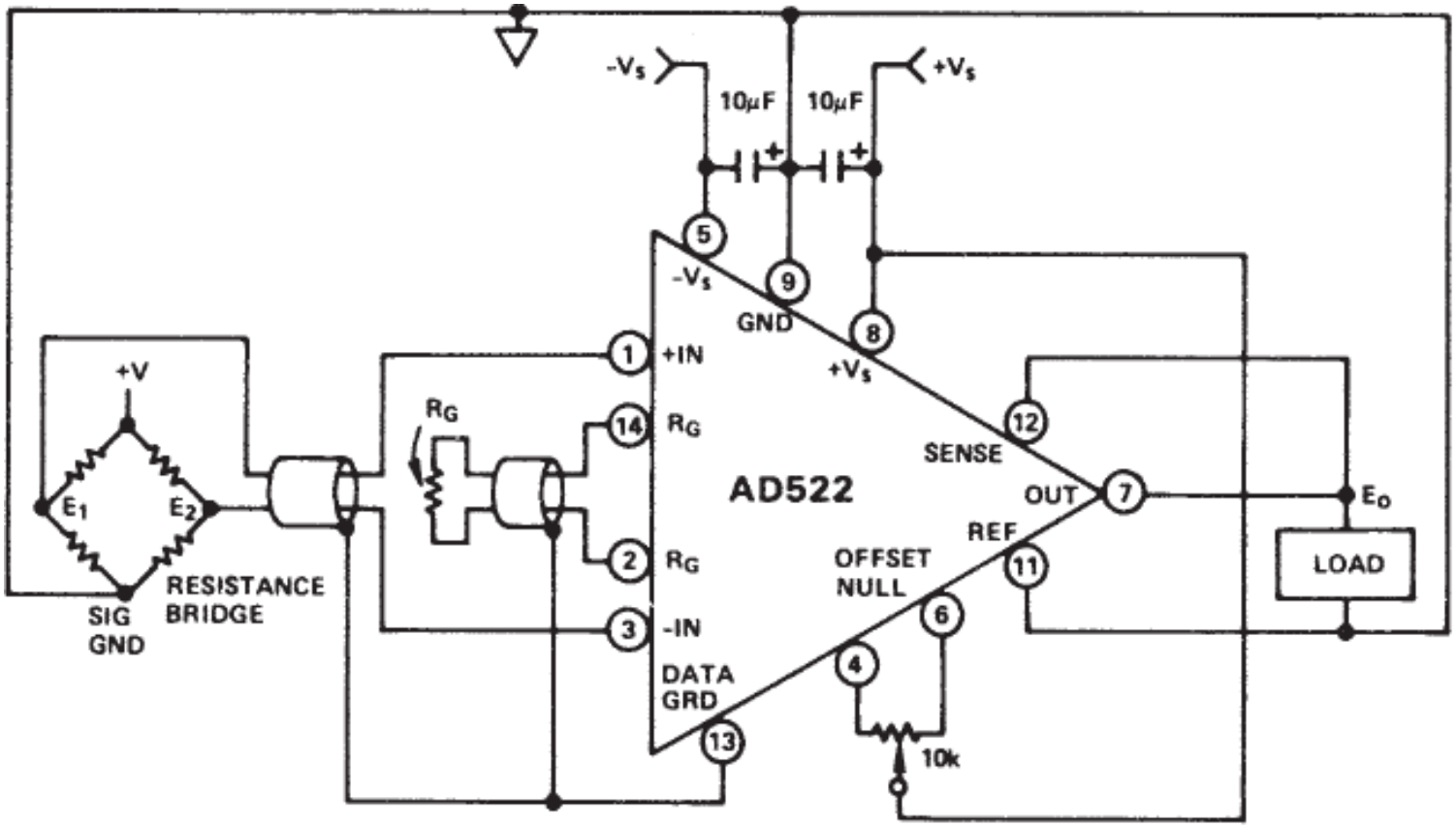
(a)



(b)

AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN

Ejemplo de circuito de aplicación de un amplificador de instrumentación



Amplificador de un puente de medida

AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN PROGRAMABLE [PERE página 107]

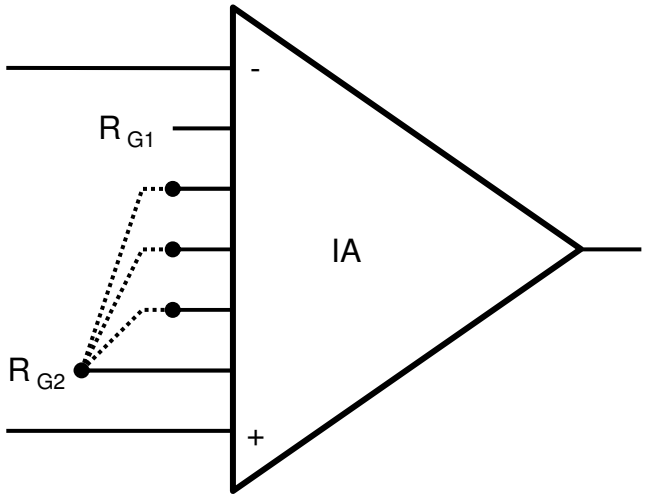
La ganancia que debe tener un amplificador de instrumentación varía de una aplicación a otra. Además cuando un amplificador de instrumentación se utiliza como componente de un sistema de adquisición de datos que posee un solo convertidor analógico/digital, debe tener, a veces, una ganancia diferente según el canal.

Por ello los fabricantes de amplificadores de instrumentación implementan circuitos de ganancia variable. Según la forma en que se selecciona la ganancia se pueden distinguir:

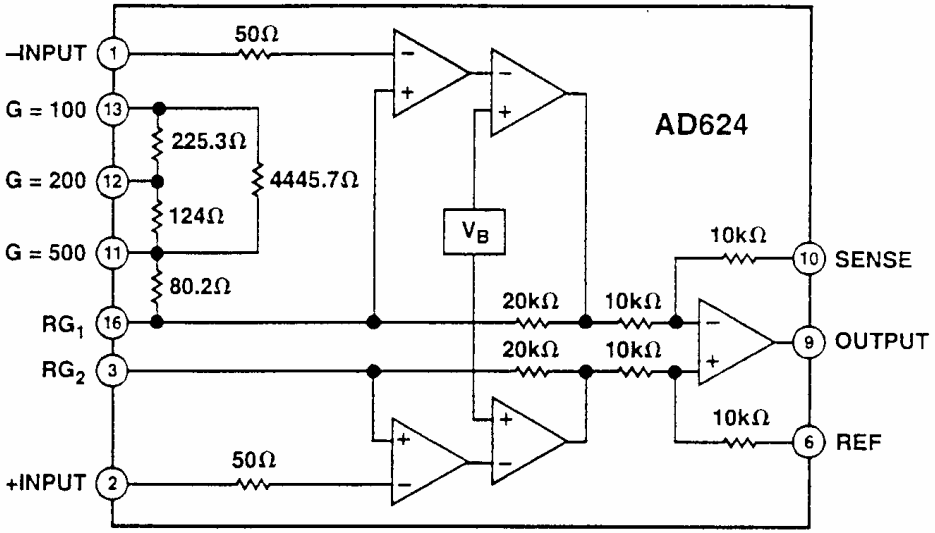
- **Amplificador de instrumentación de ganancia seleccionable mediante puentes entre terminales (*Pin Programmable Gain*).**
- **Amplificador de instrumentación de ganancia seleccionable mediante un multiplexor analógico (*Software Programmable Gain*), que recibe también la denominación de PGA (*Programmable Gain Amplifier*).**

AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN PROGRAMABLE

Ganancia seleccionable mediante puentes



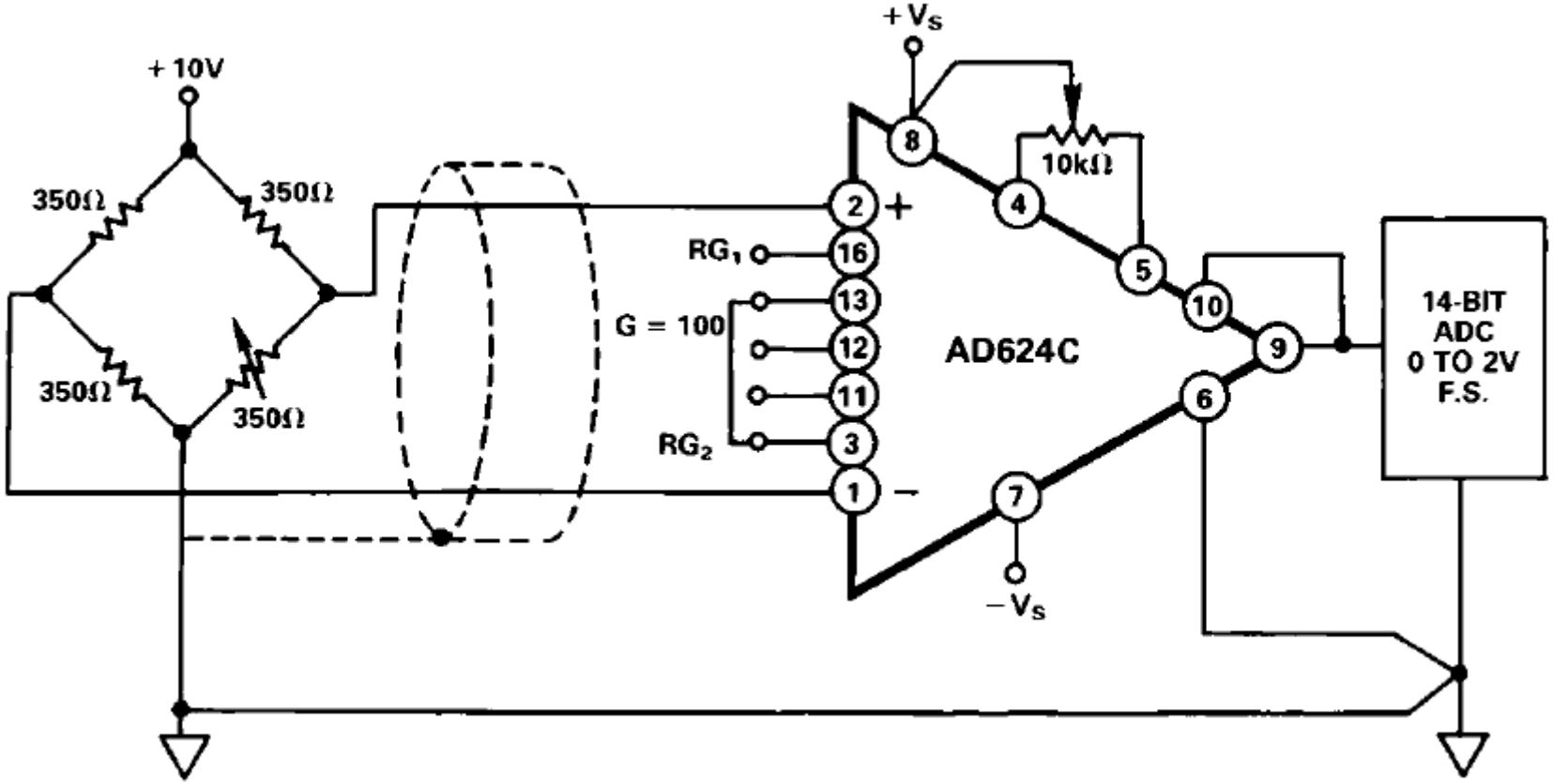
Símbolo de un amplificador de instrumentación de ganancia seleccionable mediante puentes



Ejemplo de un amplificador de instrumentación de ganancia seleccionable mediante puentes (AD624)

AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN

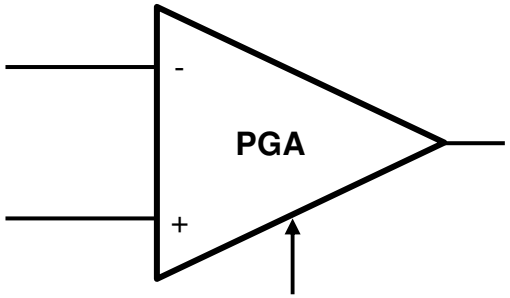
Ejemplo de circuito de aplicación de un amplificador de instrumentación programable mediante puentes entre terminales



Amplificador programable de un puente de medida

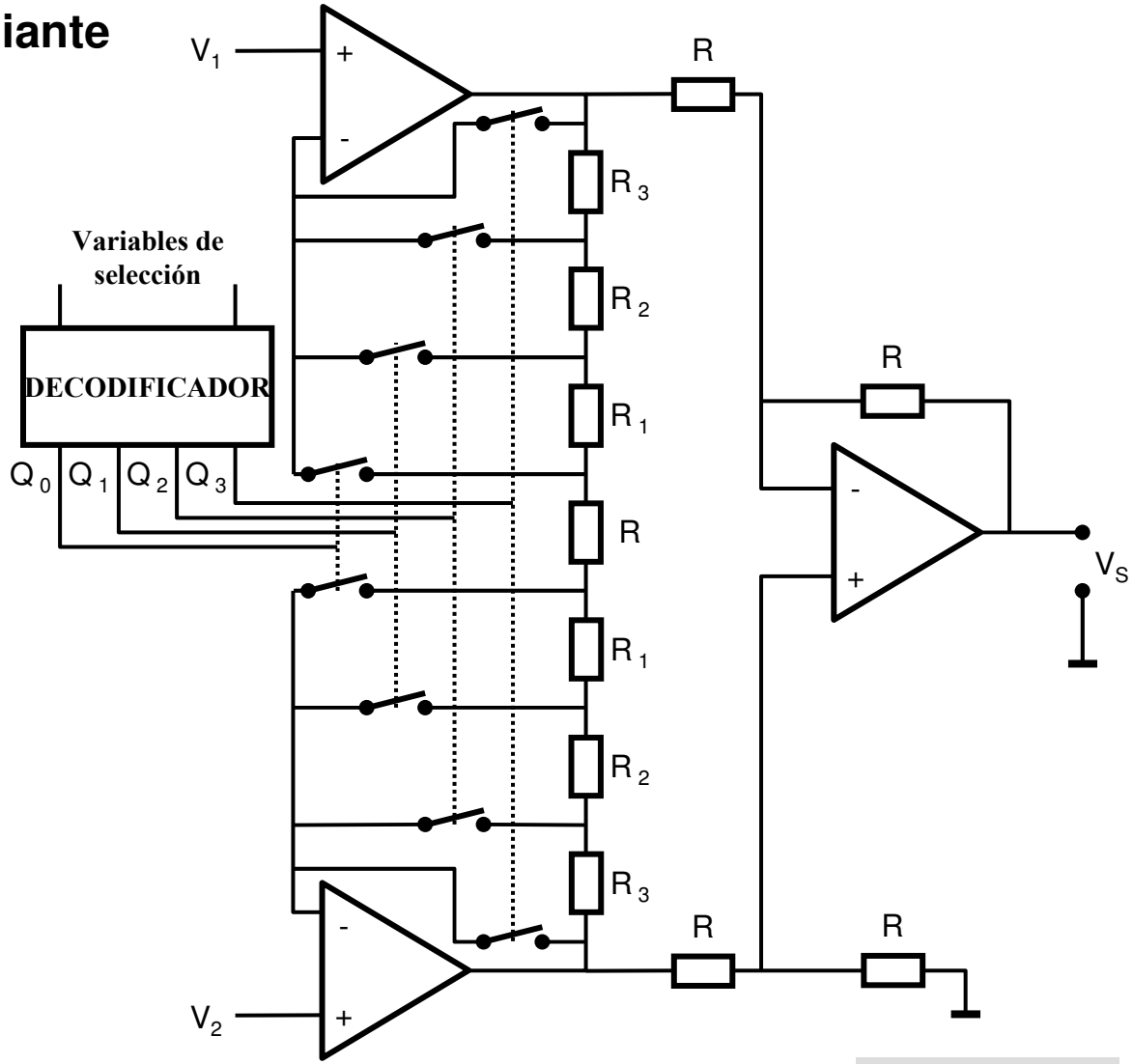
AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN PROGRAMABLE

Ganancia seleccionable mediante un multiplexor analógico



Programmable Gain

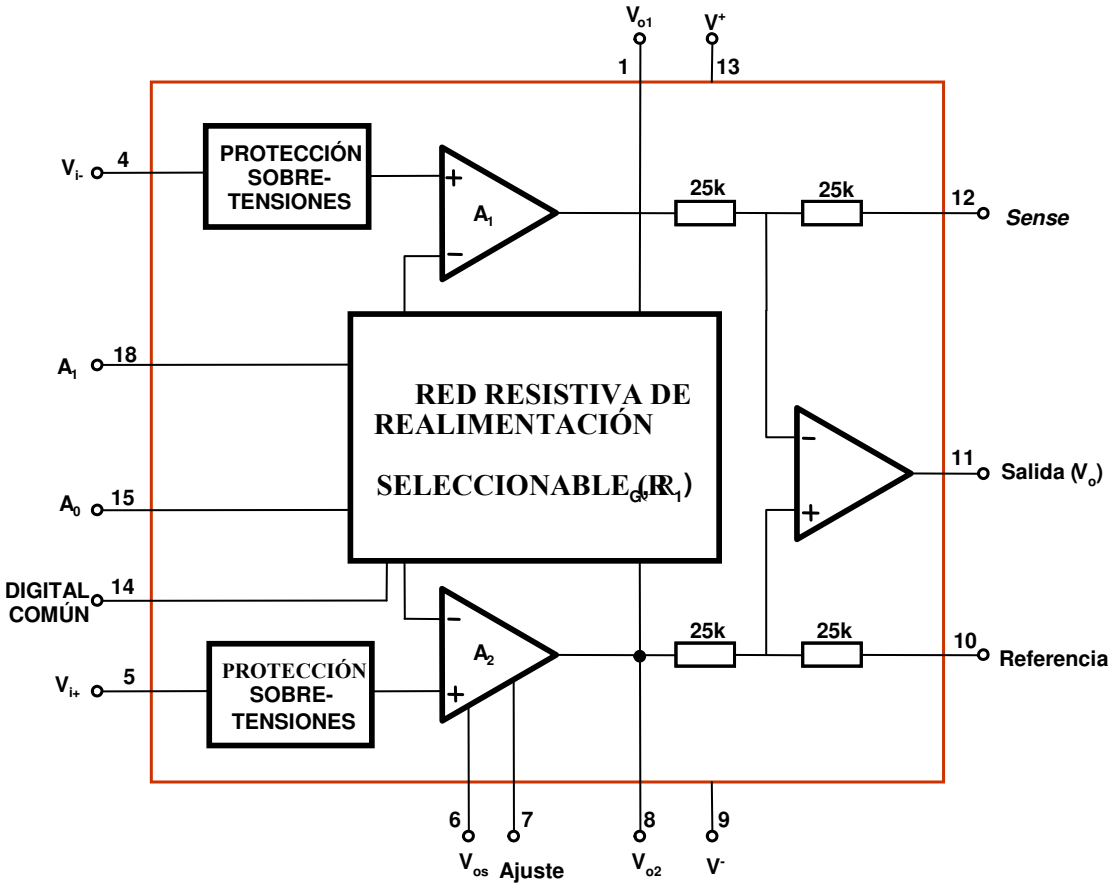
Símbolo



AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN PROGRAMABLE

Caso práctico

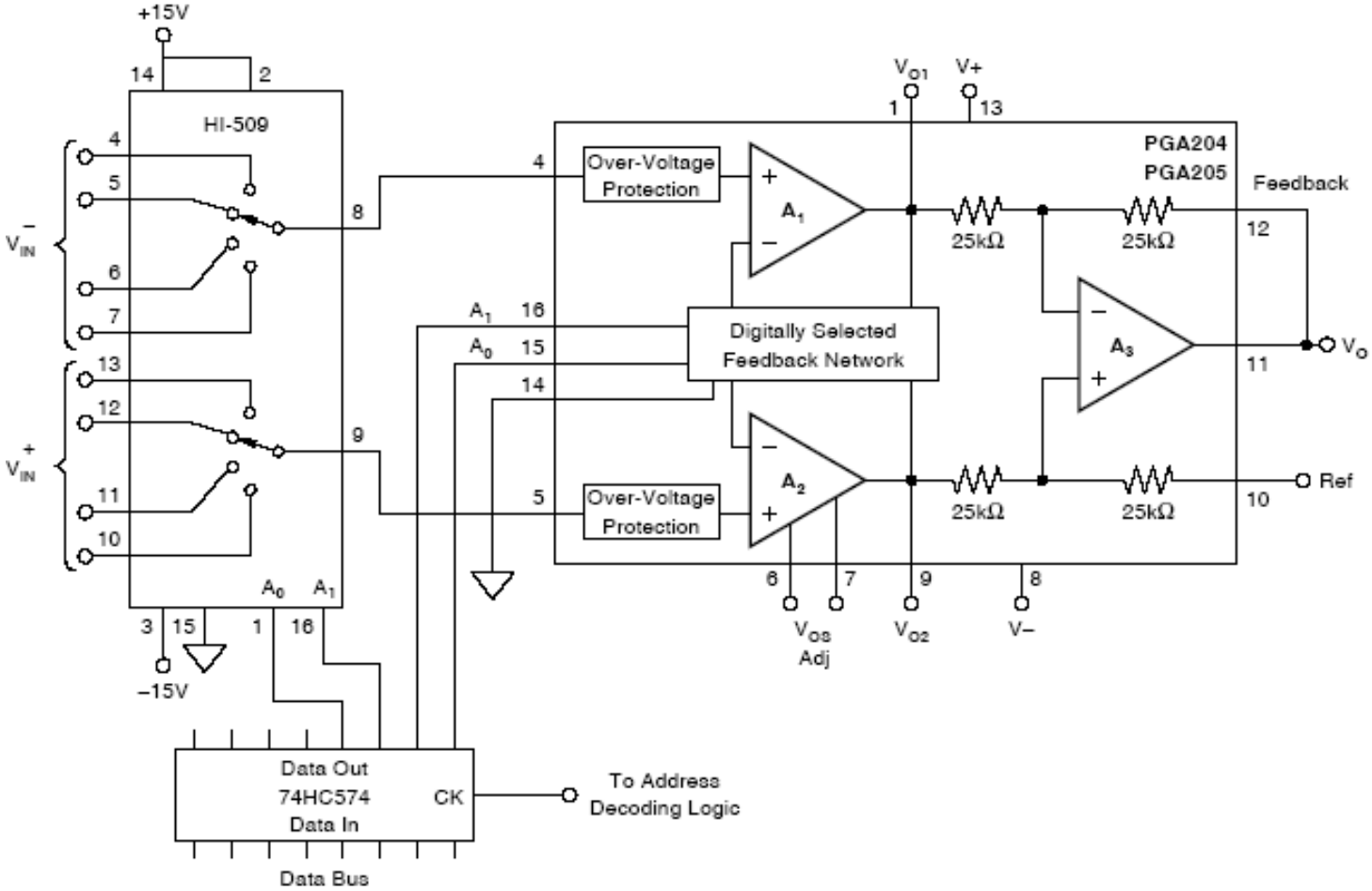
PGA204
PGA205



GANANCIA		SELECCIÓN	
PGA204	PGA205	A_1	A_0
1	1	0	0
10	2	0	1
100	4	1	0
1000	8	1	1

AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN PROGRAMABLE

Ejemplo de circuito de aplicación con entradas analógicas y ganancia multiplexadas



AMPLIFICADORES CON AUTOCORRECCIÓN DE LA DERIVA (*CHOPPER STABILIZED AMPLIFIER*) [PERE página 128] [PALL página 322]

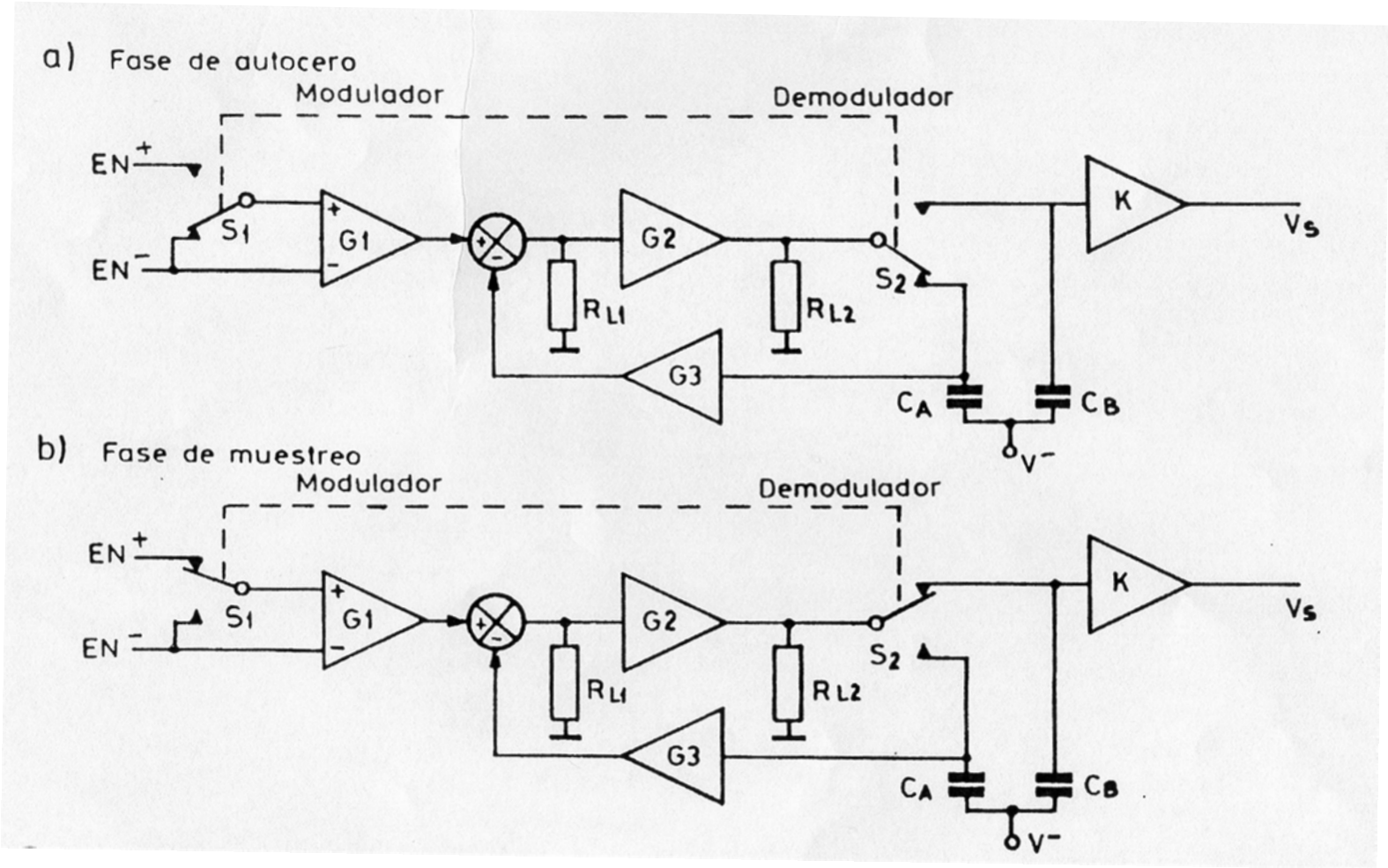
Son amplificadores que poseen una estructura adecuada para reducir al mínimo la deriva térmica y temporal de los circuitos de acondicionamiento. En inglés se les denomina "*Chopper Stabilized Operational Amplifier*" y en castellano se les puede denominar amplificadores de continua conmutados, aunque algunos los denominan amplificadores troceadores. Se utilizan en aplicaciones en las que se amplifican señales de bajo nivel en condiciones de trabajo exigentes. Ejemplo: Galgas extensométricas entre -10ºC y 50ºC.

Funcionamiento

Realizan periódicamente el siguiente proceso:

- **Miden periódicamente la tensión de asimetría de salida mediante la anulación de la tensión de entrada y la memorizan en un condensador C_A.**
- **Restan la tensión en bornes de C_A de la tensión de entrada y el resultado lo memorizan en otro condensador C_B para que la salida esté estable mientras se mide la tensión de asimetría.**

AMPLIFICADOR CON AUTOCORRECCIÓN DE LA DERIVA (*CHOPPER ESTABILIZED AMPLIFIER*)



AMPLIFICADORES CON AUTOCORRECCIÓN DE LA DERIVA (*CHOPPER ESTABILIZED AMPLIFIER*)

Ejemplo: TLC 2652 de Texas.

theory of operation

Chopper-stabilized operational amplifiers offer the best dc performance of any monolithic operational amplifier. This superior performance is the result of using two operational amplifiers, a main amplifier and a nulling amplifier, plus oscillator-controlled logic and two external capacitors to create a system that behaves as a single amplifier. With this approach, the TLC2652 achieves submicrovolt input offset voltage, submicrovolt noise voltage, and offset voltage variations with temperature in the nV/°C range.

The TLC2652 on-chip control logic produces two dominant clock phases: a nulling phase and an amplifying phase. The term chopper-stabilized derives from the process of switching between these two clock phases. Figure 34 shows a simplified block diagram of the TLC2652. Switches A and B are make-before-break types.

During the nulling phase, switch A is closed shorting the nulling amplifier inputs together and allowing the nulling amplifier to reduce its own input offset voltage by feeding its output signal back to an inverting input node. Simultaneously, external capacitor C_{XA} stores the nulling potential to allow the offset voltage of the amplifier to remain nulled during the amplifying phase.

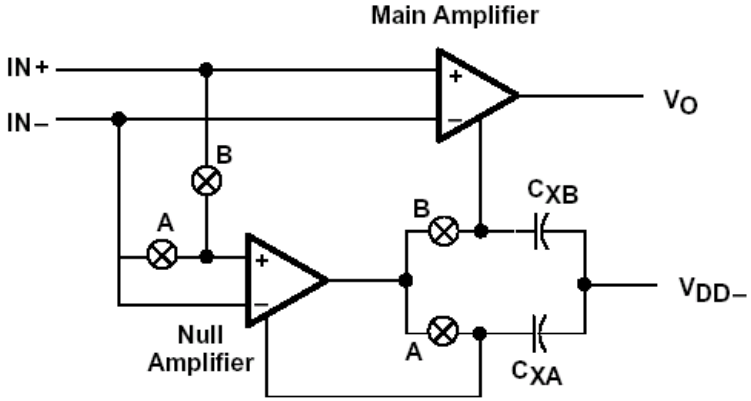


Figure 34. TLC2652 Simplified Block Diagram

AMPLIFICADORES CON AUTOCORRECCIÓN DE LA DERIVA (*CHOPPER ESTABILIZED AMPLIFIER*)

Ejemplo: TLC 2652 de Texas.

theory of operation (continued)

During the amplifying phase, switch B is closed connecting the output of the nulling amplifier to a noninverting input of the main amplifier. In this configuration, the input offset voltage of the main amplifier is nulled. Also, external capacitor C_{XB} stores the nulling potential to allow the offset voltage of the main amplifier to remain nulled during the next nulling phase.

This continuous chopping process allows offset voltage nulling during variations in time and temperature over the common-mode input voltage range and power supply range. In addition, because the low-frequency signal path is through both the null and main amplifiers, extremely high gain is achieved.

The low-frequency noise of a chopper amplifier depends on the magnitude of the component noise prior to chopping and the capability of the circuit to reduce this noise while chopping. The use of the Advanced LinCMOS process, with its low-noise analog MOS transistors and patent-pending input stage design, significantly reduces the input noise voltage.

The primary source of nonideal operation in chopper-stabilized amplifiers is error charge from the switches. As charge imbalance accumulates on critical nodes, input offset voltage can increase, especially with increasing chopping frequency. This problem has been significantly reduced in the TLC2652 by use of a patent-pending compensation circuit and the Advanced LinCMOS process.

The TLC2652 incorporates a feed-forward design that ensures continuous frequency response. Essentially, the gain magnitude of the nulling amplifier and compensation network crosses unity at the break frequency of the main amplifier. As a result, the high-frequency response of the system is the same as the frequency response of the main amplifier. This approach also ensures that the slewing characteristics remain the same during both the nulling and amplifying phases.

AMPLIFICADOR DE AISLAMIENTO (*ISOLATION AMPLIFIER*) [PERE página 115] [PALL página 167]

Introducción

Se dice que existe aislamiento galvánico entre dos circuitos electrónicos cuando las señales generadas por uno se aplican al otro sin necesidad de que exista continuidad óhmica entre ellos.

El aislamiento galvánico tiene interés:

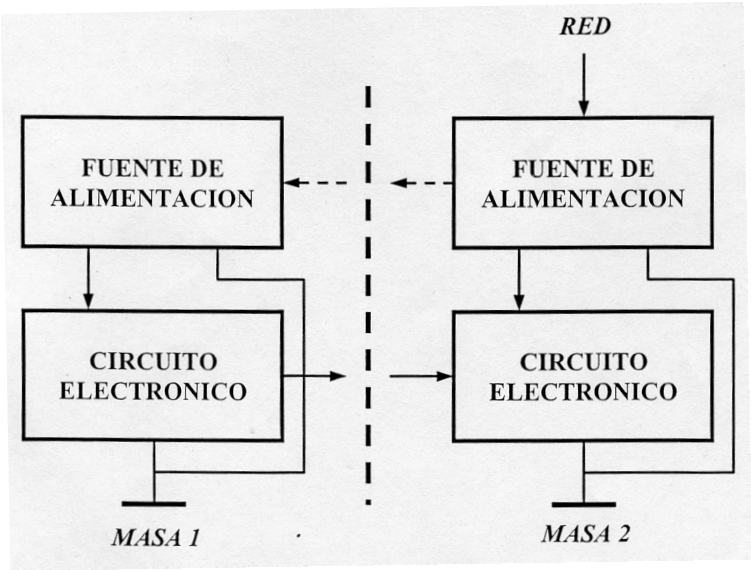
- **En los terminales de entrada de los sistemas analógicos o digitales conectados al mundo externo: Interruptores, finales de carrera, etc.**
- **En los terminales de salida de sistemas analógicos o digitales que controlan dispositivos de potencia.**
- **Cuando se conectan sensores a equipos electrónicos alimentados desde la red en los que se pueden producir sobretensiones. Esto no es en general admisible, especialmente cuando el sensor está conectado a un ser humano.**

AMPLIFICADOR DE AISLAMIENTO (*ISOLATION AMPLIFIER*)

Introducción

Reglas generales del aislamiento galvánico

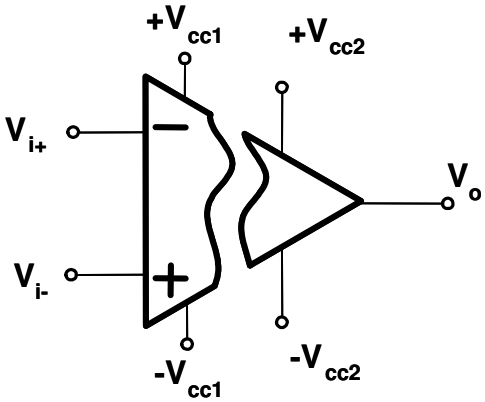
- **Independientemente del método elegido es necesario aislar tanto las señales de entrada con información de la medida, como la tensión de alimentación (esta última puede ser o no independiente).**

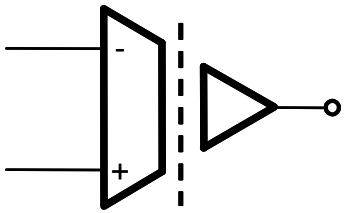


- **Existen métodos de aislamiento tanto para señales analógicas como digitales.**

AMPLIFICADOR DE AISLAMIENTO (*ISOLATION AMPLIFIER*)

Símbolos de los amplificadores de aislamiento





Clasificación

El aislamiento galvánico puede ser:

- **Capacitivo**
- **Magnético**
- **Óptico**

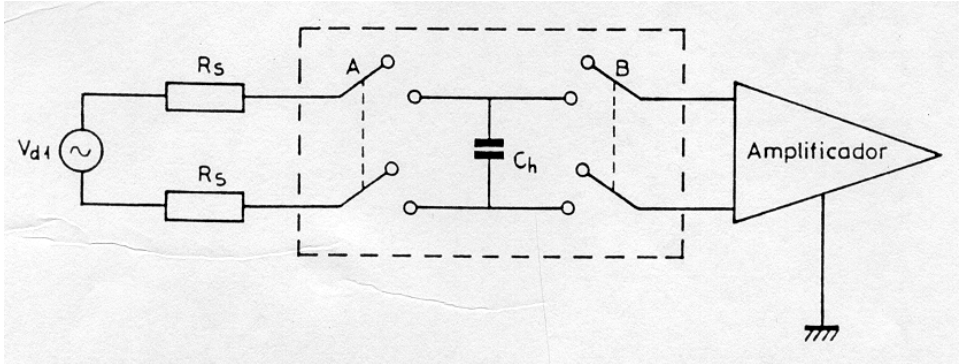
AMPLIFICADOR DE AISLAMIENTO (*ISOLATION AMPLIFIER*)

Aislamiento capacitivo

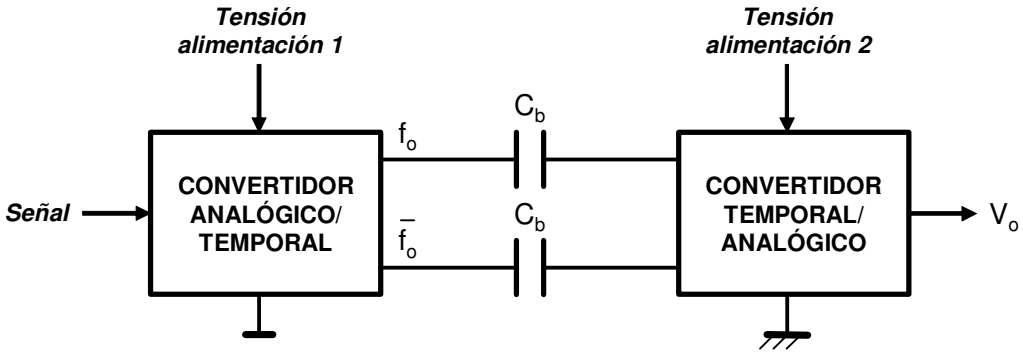
El amplificador esta dividido en dos partes acopladas mediante condensadores.

Dos variantes:

- **Condensador flotante**



- **Condensador en serie**



AMPLIFICADOR DE AISLAMIENTO (*ISOLATION AMPLIFIER*)

Aislamiento capacitivo

Implementación mediante condensadores en serie

El acoplamiento se puede realizar:

- **Mediante modulación de frecuencia**

  Ejemplo: **ISO 102**

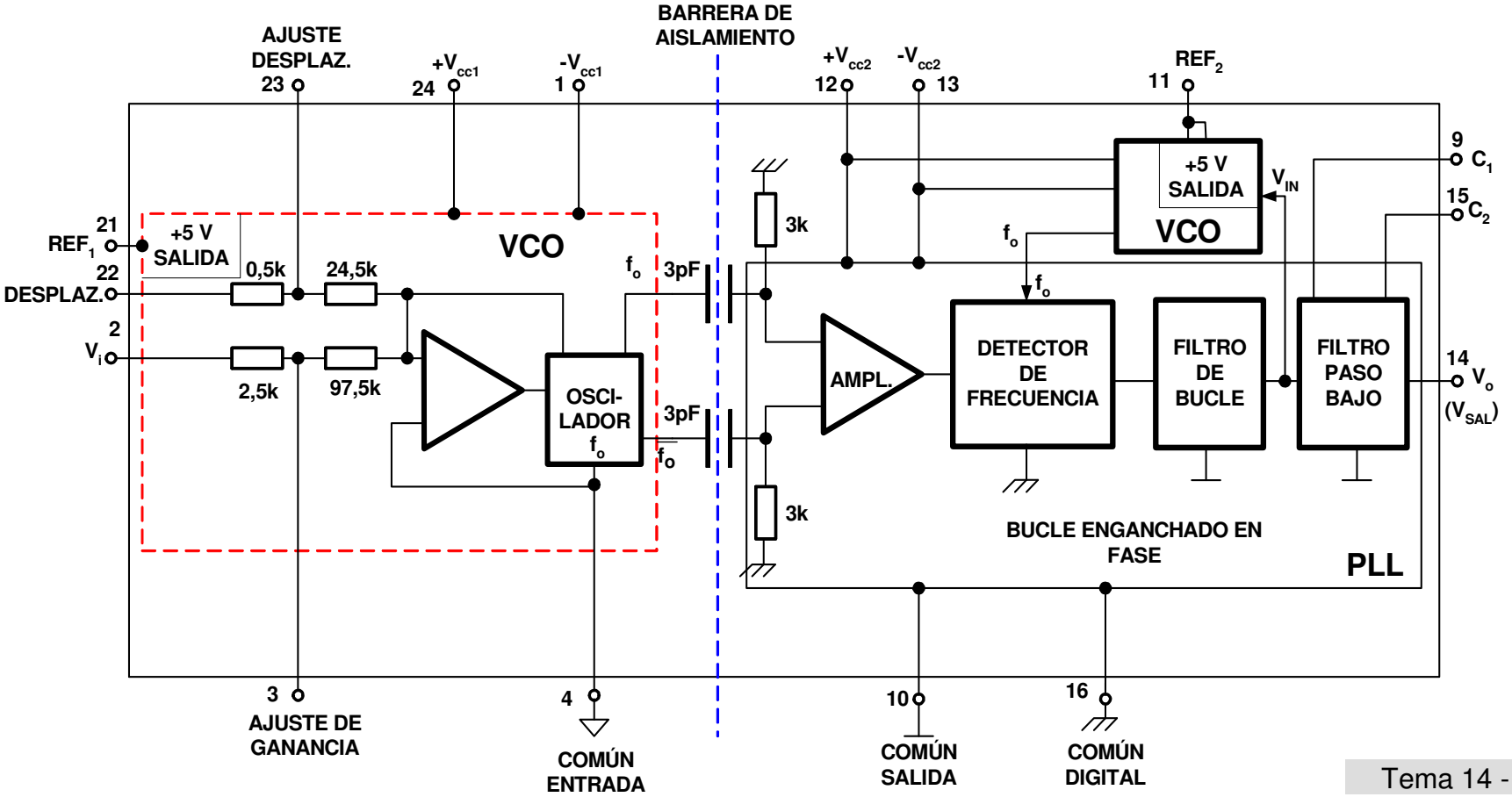
- **Mediante modulación de anchura de impulsos (PWM)**

  Ejemplo: **ISO 124**

AMPLIFICADOR DE AISLAMIENTO (*ISOLATION AMPLIFIER*)

Aislamiento capacitivo

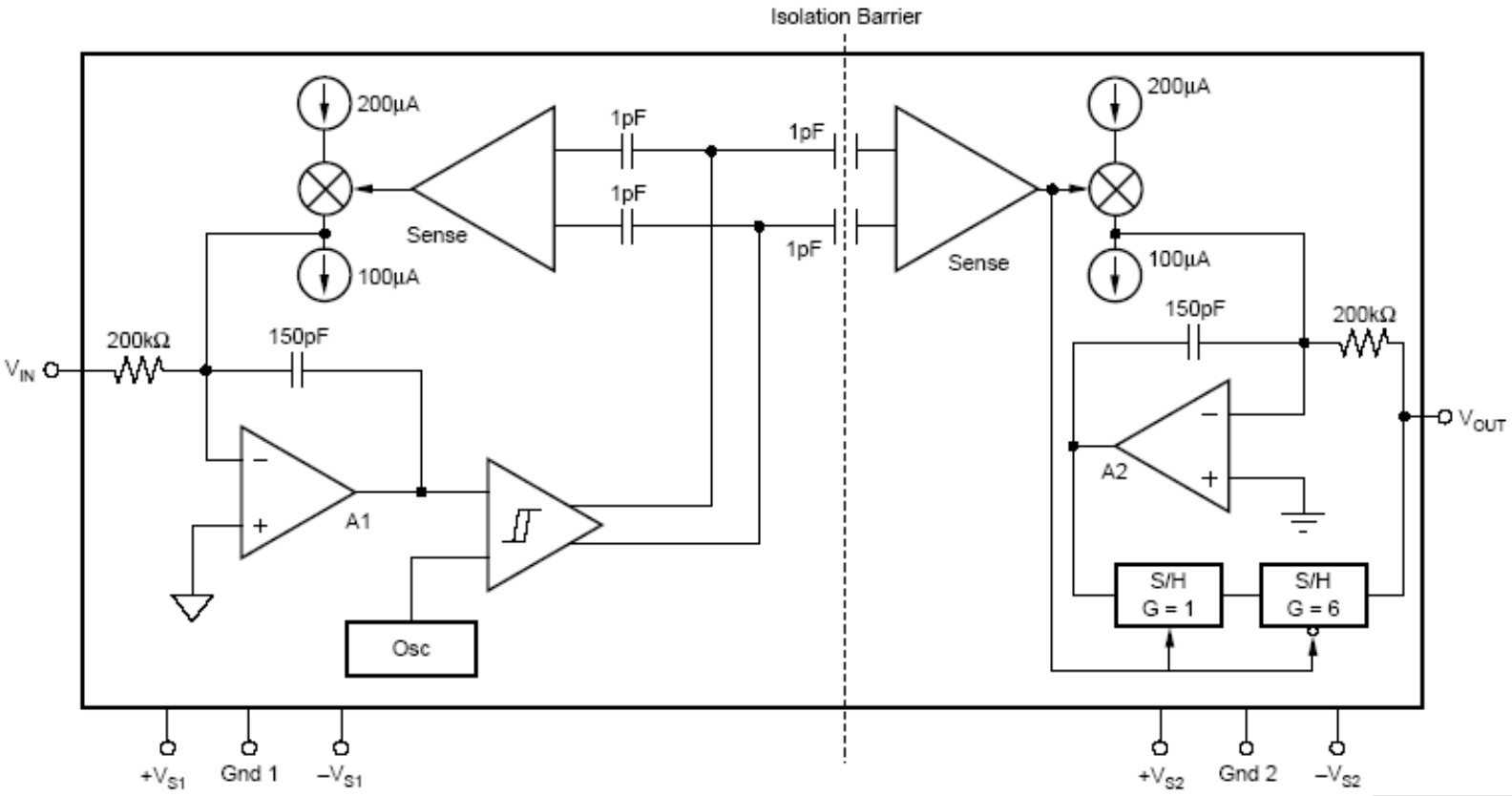
ISO 102: Ejemplo de IA con modulación de frecuencia



AMPLIFICADOR DE AISLAMIENTO (*ISOLATION AMPLIFIER*)

Aislamiento capacitivo

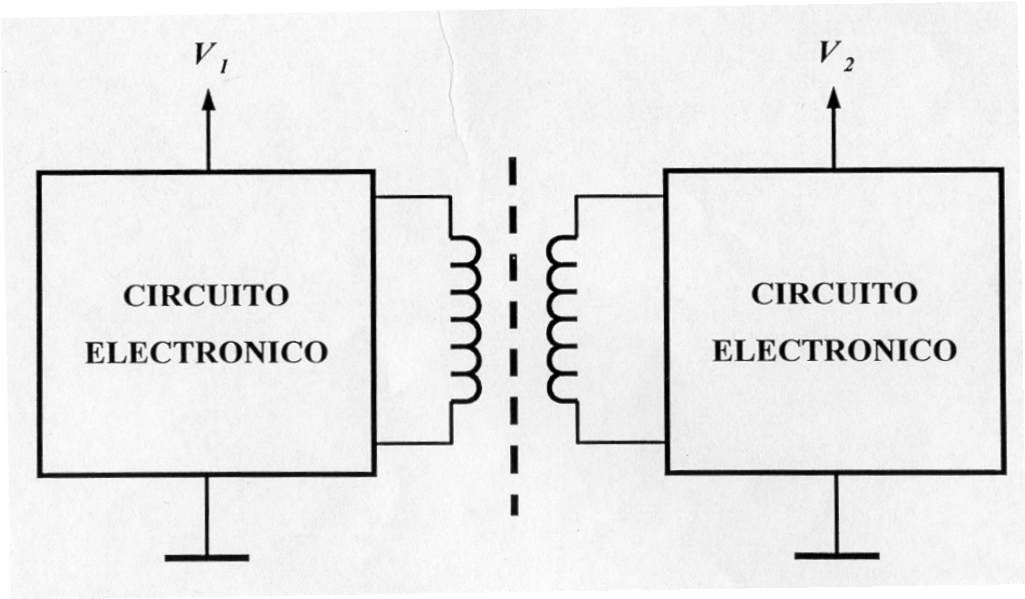
ISO 124: Ejemplo de IA con modulación PWM



AMPLIFICADOR DE AISLAMIENTO (*ISOLATION AMPLIFIER*)

Aislamiento magnético

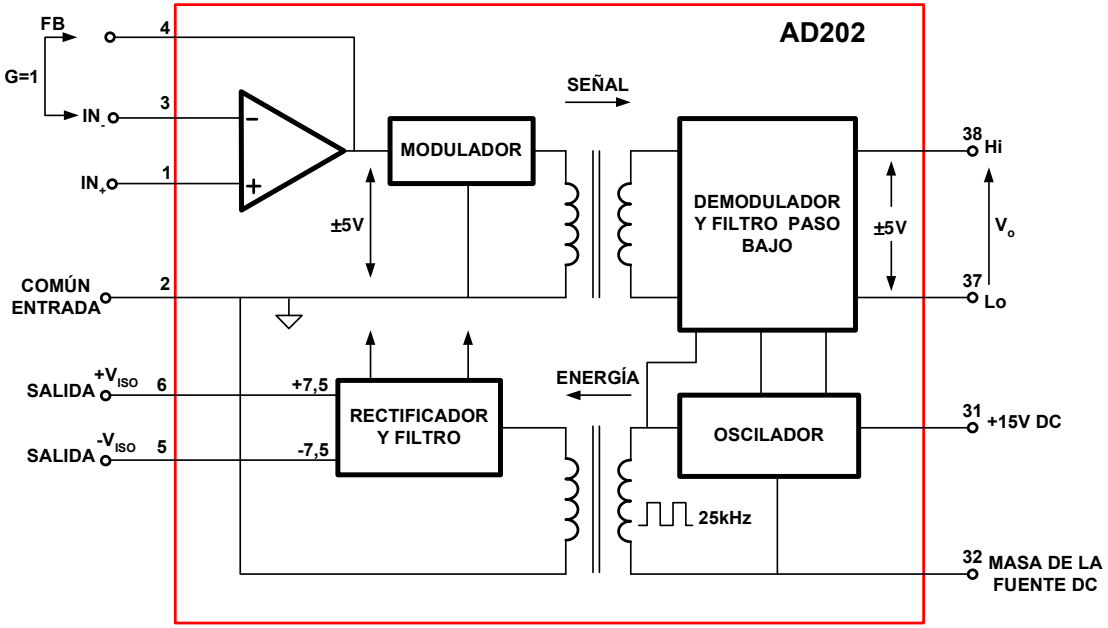
Está basado en la utilización de transformadores.

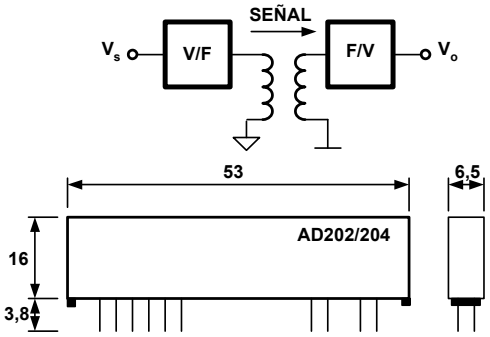


AMPLIFICADOR DE AISLAMIENTO (*ISOLATION AMPLIFIER*)

Aislamiento magnético

AD202/204: Ejemplo de IA con aislamiento magnético

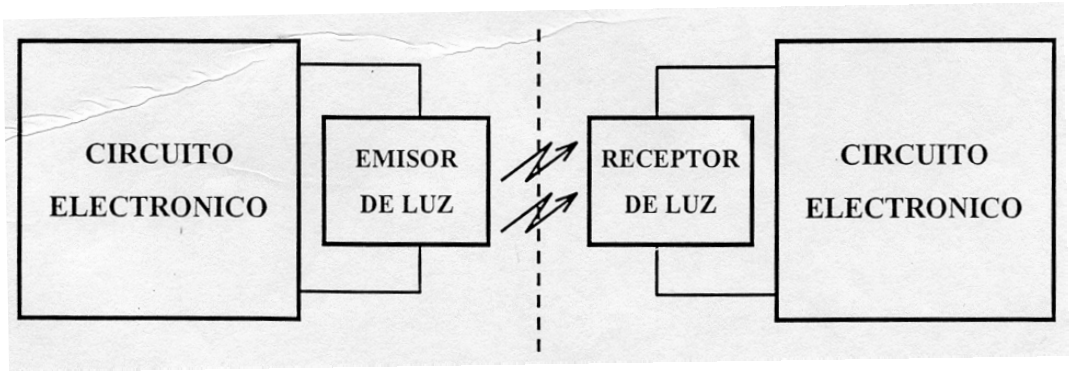




AMPLIFICADOR DE AISLAMIENTO (*ISOLATION AMPLIFIER*)

Aislamiento óptico

Basado en la combinación de emisores y receptores de luz.



Puede ser:

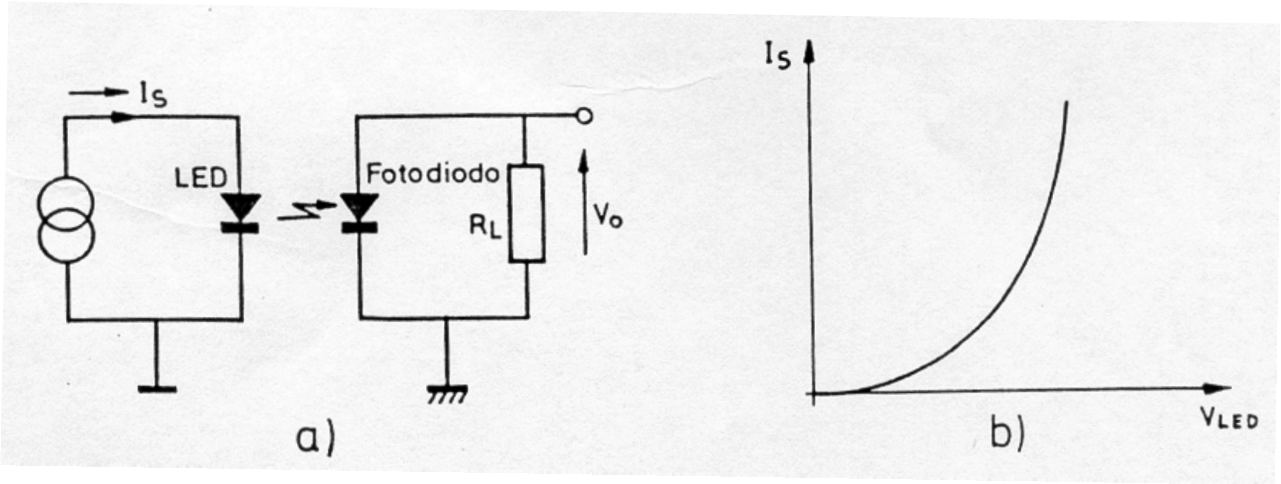
- **Directo**
- **Mediante señales temporales**

AMPLIFICADOR DE AISLAMIENTO (*ISOLATION AMPLIFIER*)

Aislamiento óptico directo

Circuito básico

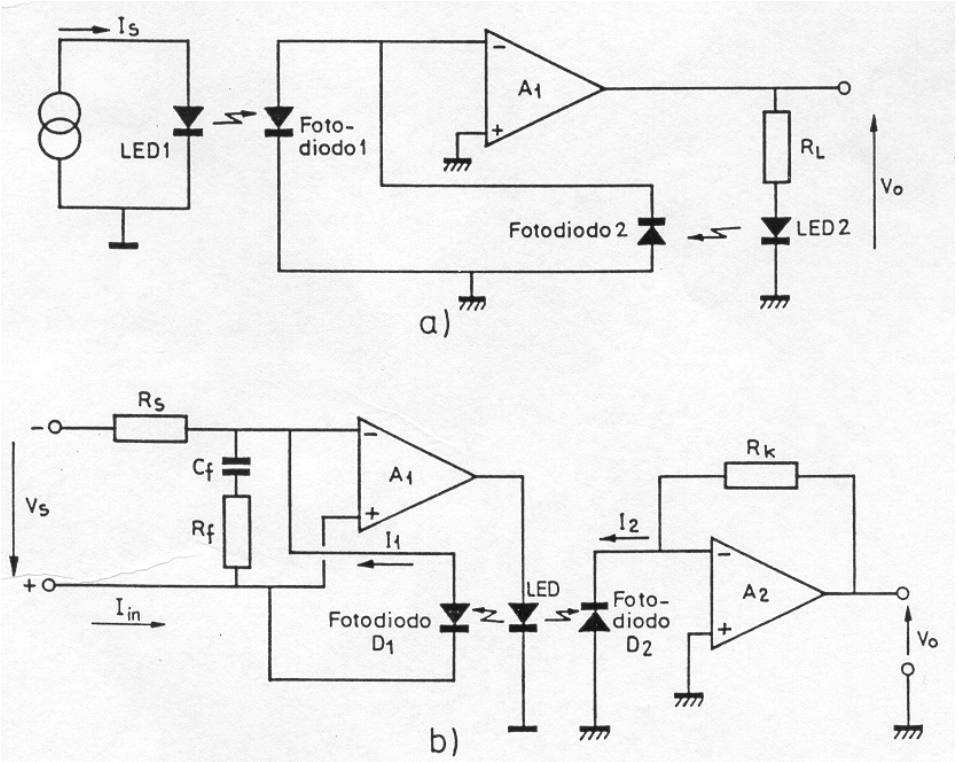
Se caracteriza por la falta de linealidad.



AMPLIFICADOR DE AISLAMIENTO (*ISOLATION AMPLIFIER*)

Aislamiento óptico directo

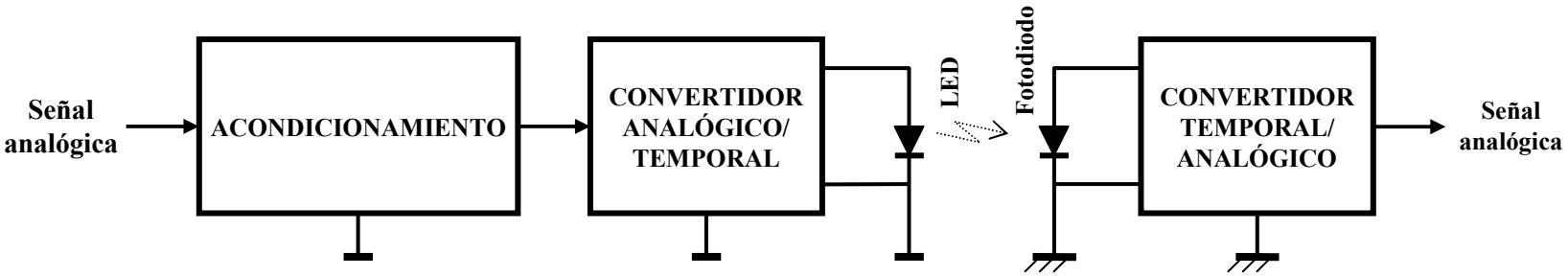
Circuito realimentado para linealizar la característica de transferencia



AMPLIFICADOR DE AISLAMIENTO (*ISOLATION AMPLIFIER*)

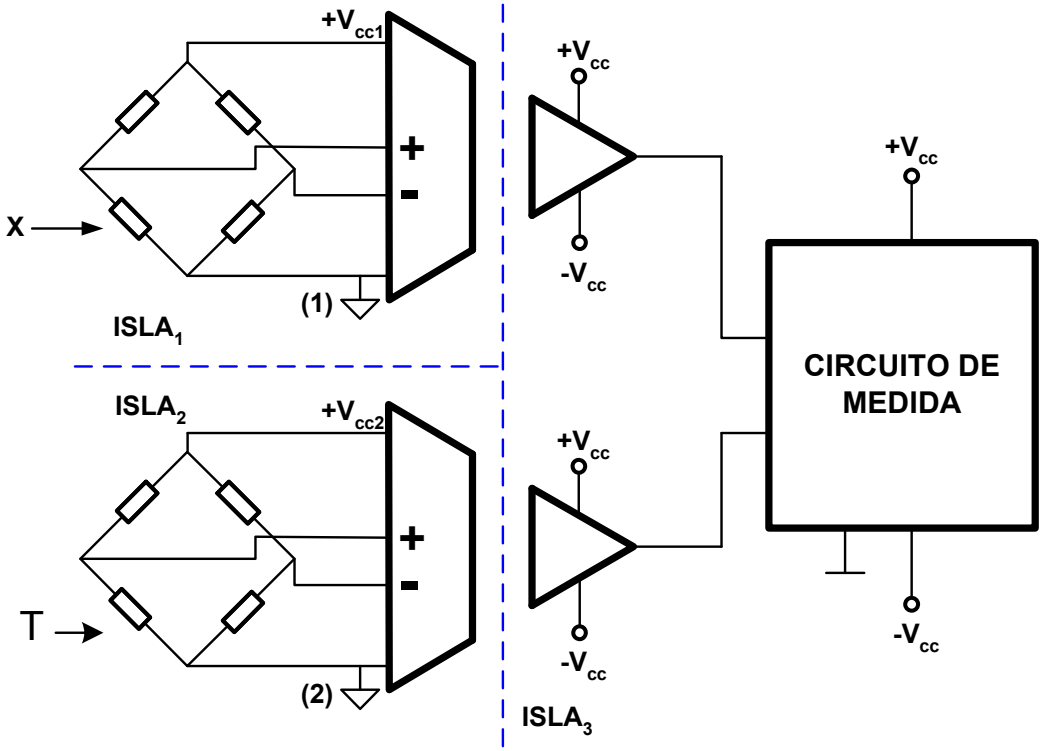
Aislamiento óptico a través de señales temporales

La señal analógica se convierte en temporal por medio de un convertidor analógico/temporal (por ejemplo un convertidor V/F tensión/frecuencia), se transmite a través del acoplamiento óptico y se vuelve a convertir en analógica mediante un convertidor temporal/analógico (por ejemplo un convertidor F/V frecuencia/tensión).



AMPLIFICADOR DE AISLAMIENTO (*ISOLATION AMPLIFIER*)

Ejemplo de aplicación de amplificadores de aislamiento que alimentan puentes de medida



AMPLIFICADOR DE AISLAMIENTO (*ISOLATION AMPLIFIER*)

Parámetros característicos específicos

V_{ISO}: **Tensión que puede soportar el amplificador entre las masas de entrada y salida.**

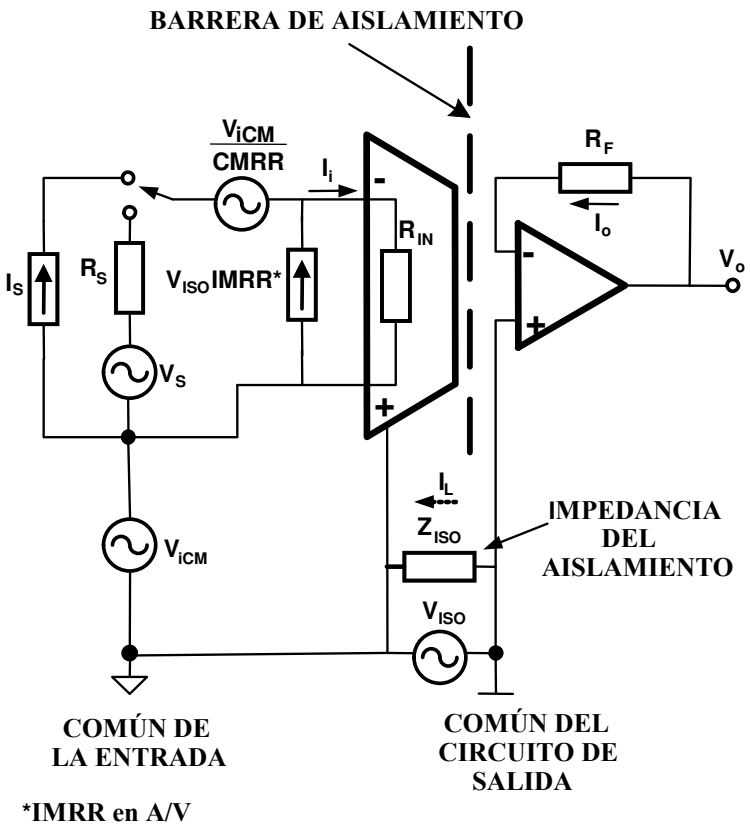
IMRR: **(*Isolated Mode Rejection Ratio*) Parámetro que representa el efecto que la tensión entre el bloque de entrada y el de salida tiene sobre el funcionamiento.**

Si la señal de entrada es una corriente:

$$v_o = i_s \cdot R_F \pm \frac{V_{ISO}}{IMRR}$$

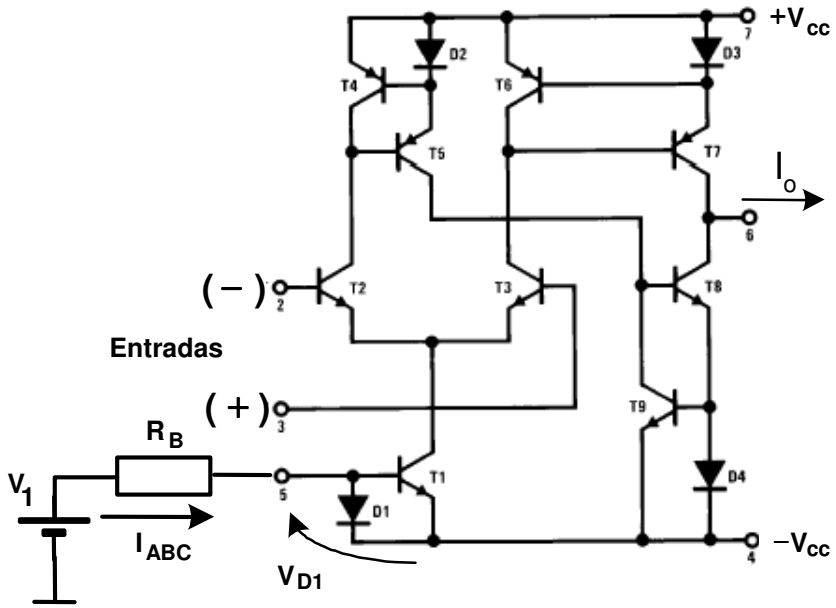
Si la señal de entrada es una tensión:

$$v_o = \left(v_s \pm \frac{v_c}{CMRR} \right) \cdot \frac{R_F}{R_s} \pm V_{ISO} \cdot IMRR^* \cdot R_F$$



AMPLIFICADOR DE TRANSCONDUCTANCIA (OTA) [PERE página 126] [PALL página 137]

Es un modelo de amplificador que entrega una corriente de salida proporcional a la tensión de entrada. Constituye una fuente de corriente controlada en tensión, denominada CSVC (acrónimo de *Current Source Voltage Controlled*). Suele recibir el nombre de OTA (acrónimo de *Operational Transconductance Amplifier*).



Corriente de salida

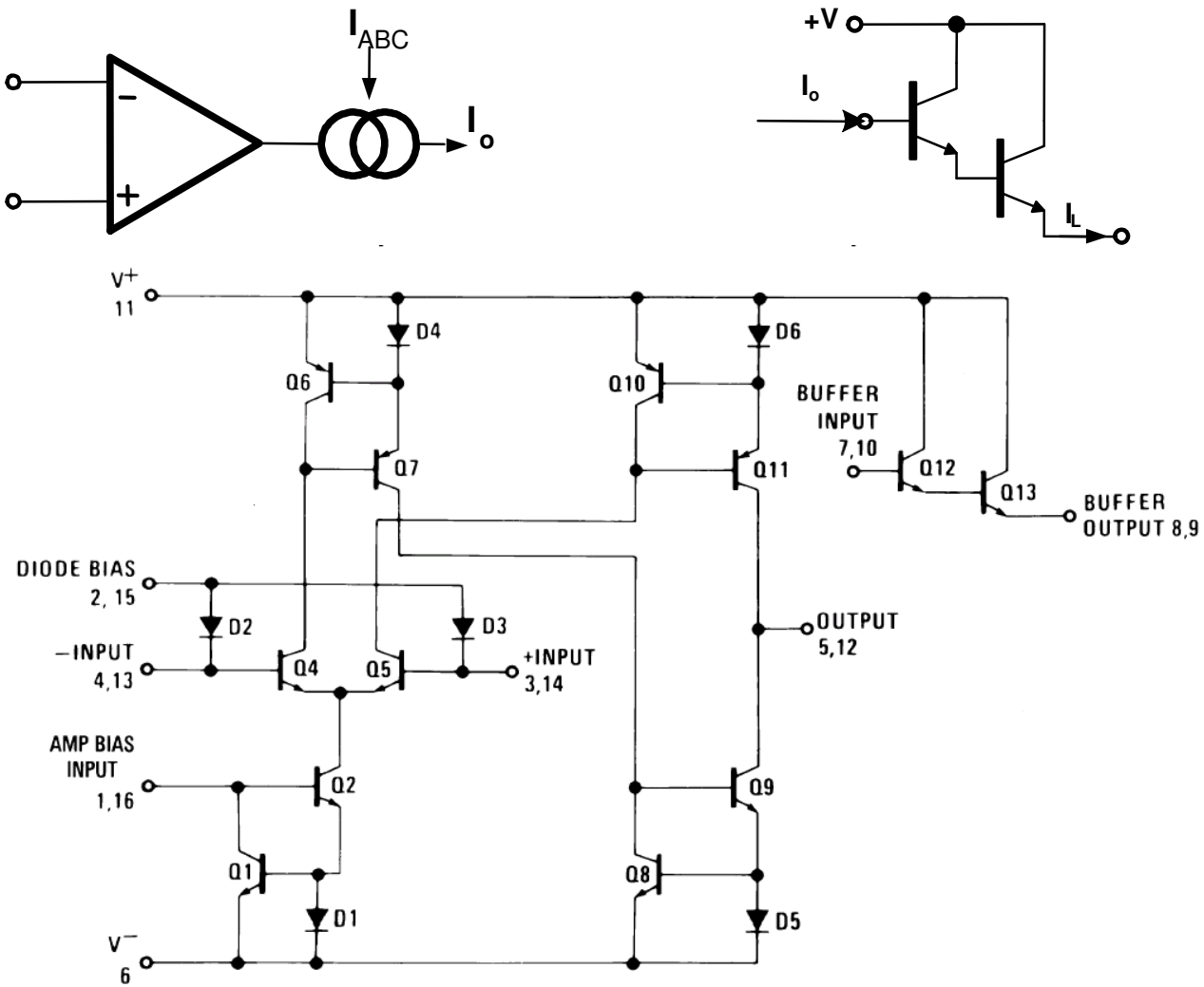
$$I_O = g_m\left(V_{i+} - V_{i-}\right)$$

en la cual:

$$g_m = \frac{I_{ABC}}{2V_T}$$

$$I_{ABC} = \frac{V_1 - V_{CC} - V_{D1}}{R_B}$$

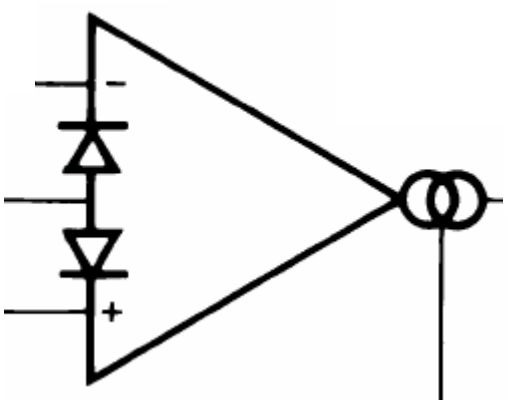
AMPLIFICADOR DE TRANSCONDUCTANCIA (OTA)



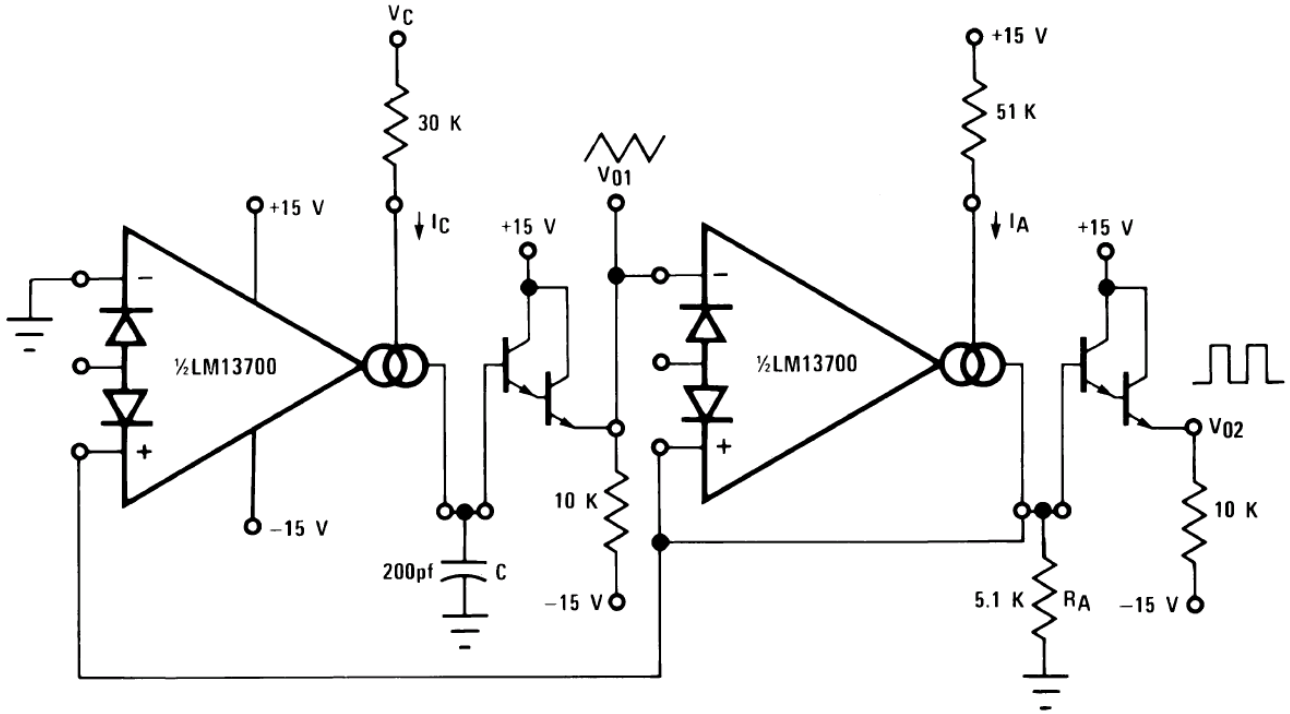
Esquema del OTA LM13700

AMPLIFICADOR DE TRANSCONDUCTANCIA (OTA)

EJEMPLO DE OTA: LM13700



Símbolo



Aplicación típica del OTA LM13700: Oscilador de onda cuadrada/triangular controlado en tensión (Triangular/Square Wave VCO)

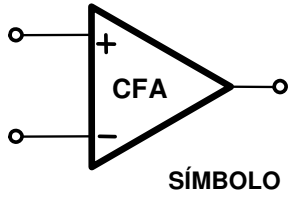
AMPLIFICADOR DE TRANSIMPEDANCIA [PERE página 124] [PALL página 328]

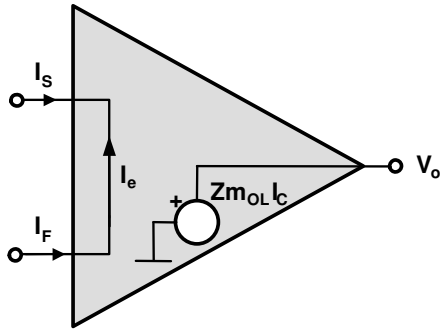
Circuito convertidor de corriente en tensión cuya ganancia Zm_{OL}, se denomina ganancia de transimpedancia y se expresa en ohmios. Recibe el nombre de CFA (*Current Feedback Amplifier*).

Ganancia en tensión (configuración no inversora)

Si R_B es pequeña se tiene:

$$\left.\begin{aligned} \frac{V_O - V_i}{R_F} + \frac{V_i}{R_G} &= I_e \\ V_O &= I_e Zm_{OL} \end{aligned}\right\} \quad \frac{V_O}{V_i} = \frac{Zm_{OL}\left(1 + R_F/R_G\right)}{R_F + Zm_{OL}}$$



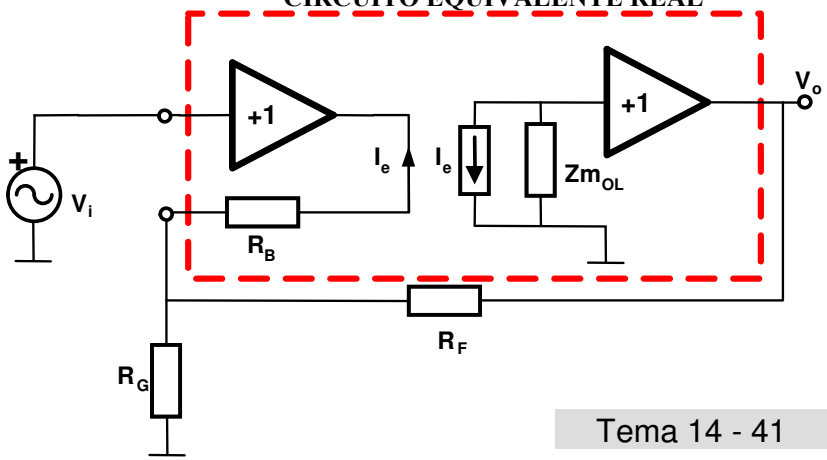


CIRCUITO EQUIVALENTE IDEAL

y si Zm_{OL} es elevada se tiene:

$$\frac{V_O}{V_i} = 1 + \frac{R_F}{R_G}$$

CIRCUITO EQUIVALENTE REAL

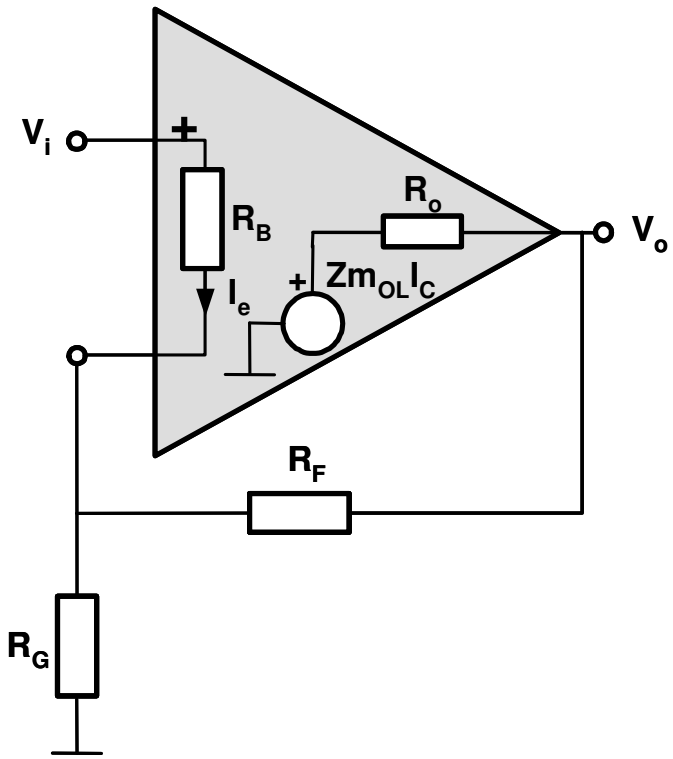


Características

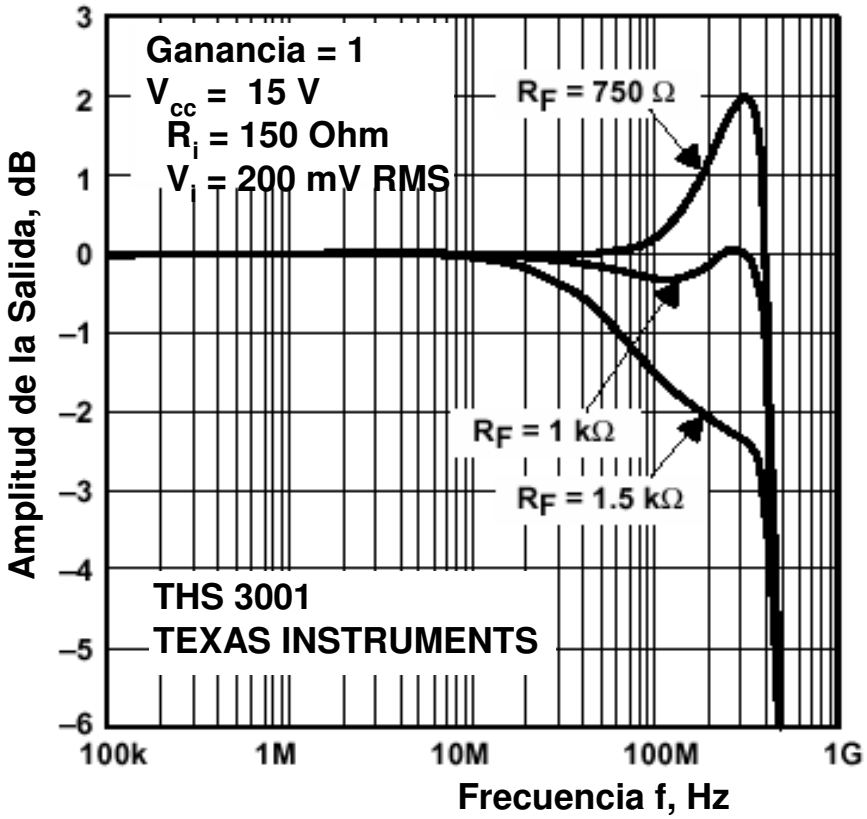
- **Elevada ganancia: Zm_{OL} = 2 MΩ**
- **Ancho de banda: > 100 MHz**

AMPLIFICADOR DE TRANSIMPEDANCIA

Ejemplo de CFA: THS3001 de Texas

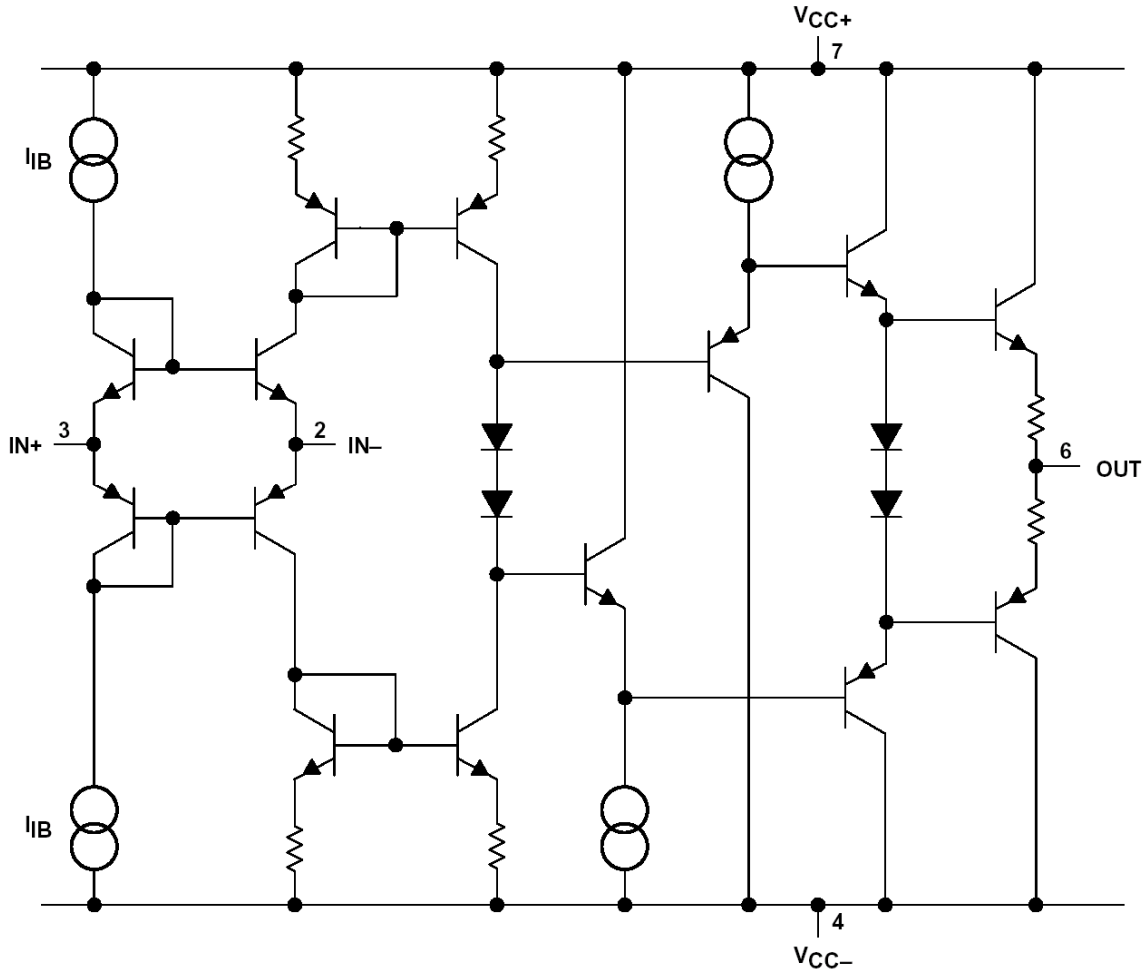


Configuración no inversora



AMPLIFICADOR DE TRANSIMPEDANCIA

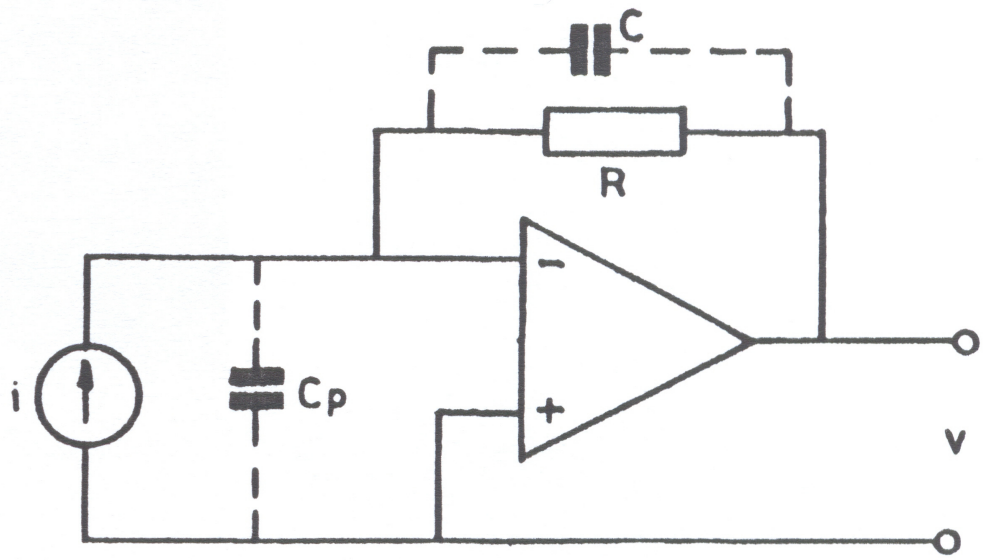
Ejemplo de CFA: THS3001 de Texas



AMPLIFICADOR DE TRANSIMPEDANCIA

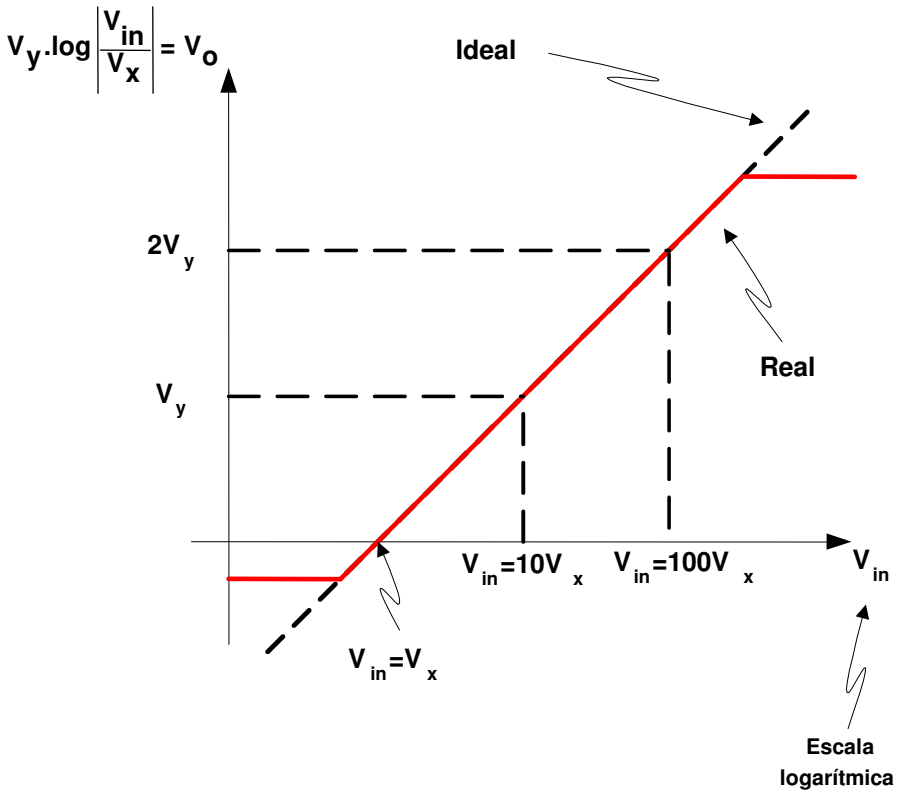
Aplicación del TCSH301

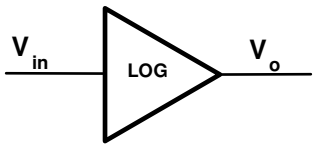
Utilización del amplificador de transimpedancia como amplificador electrométrico.



AMPLIFICADOR LOGARÍTMICO [PERE página 130]

Amplificador cuya tensión de salida es proporcional al logaritmo de la tensión de entrada.





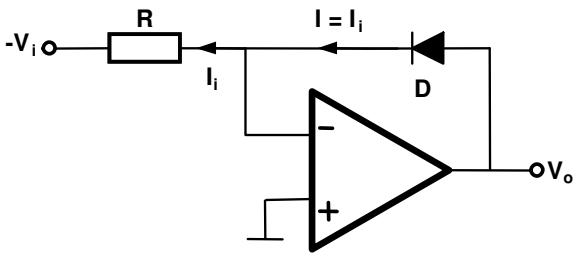
$$v_o = V_y \cdot \log_{10}\left|\frac{v_{in}}{V_x}\right|$$

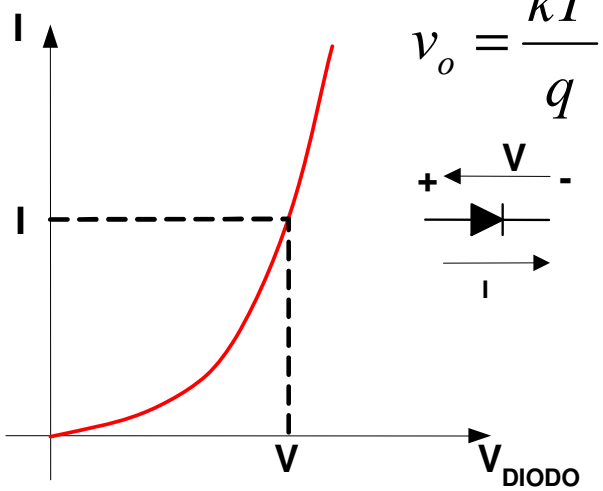
AMPLIFICADOR LOGARÍTMICO

Arquitecturas de implementación

- Amplificador logarítmico con diodo
- Amplificador logarítmico de video
- Amplificador logarítmico de detección sucesiva

Amplificador logarítmico con diodo





$$v_o = \frac{kT}{q} \ln \frac{i_i}{I_o} \cong 0{,}06 \log \frac{v_i}{R \cdot I_o}$$