

## TEMA II

---

# Electrónica Analógica

Electrónica II 2007

1

## 2 Electrónica Analógica

---

- 2.1 Amplificadores Operacionales.
- 2.2 Aplicaciones de los Amplificadores Operacionales.
- 2.3 Filtros.
- 2.4 Transistores.

2

## 2.1 Amplificadores Operacionales

---

Un poco de historia.  
Ideas básicas.  
Análisis de circuitos con  
realimentación negativa.

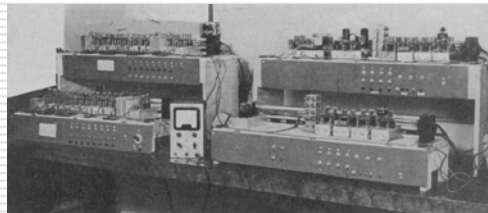
3

## El Amplificador Operacional

---



John Ragazzini



- ◇ El término "Amplificador Operacional" se debe a John Ragazzini, en un artículo publicado en 1947.
- ◇ "El Amp-Op es un amplificador cuya ganancia es tal que permite su uso para operaciones tales como la suma, derivación, integración, . . ."
- ◇ A la derecha el ordenador analógico que utilizaba para cálculos en aerodinámica

4

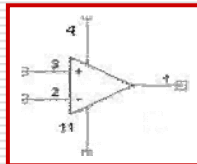
## Un poco de historia

- ◇ El amplificador operacional disfrutó de un gran éxito aunque tenía muchas desventajas.
- ◇ Este hecho condujo a fabricar un amplificador operacional mejorado, más barato y sencillo de usar: el 741
- ◇ Otros diseños del 741 son: el MC1741 de Motorola y el SN72741 de Texas Instruments.
- ◇ Para simplificar el nombre, la mayoría de la gente ha evitado los prefijos y a este amplificador operacional de gran uso se le llama simplemente 741

5

## Ideas básicas

- ◇ Símbolo de un amplificador operacional: los pines 4 y 11 son de alimentación, los pines 2 y 3 son las entradas y el 1 es la salida.



- ◇ Es una cuarta parte del LM324 ya que vienen 4 amplificadores operacionales en un mismo circuito integrado.
- ◇ A la entrada que tiene el signo + se le llama entrada no inversora, y a la que tiene el signo - entrada inversora.

6

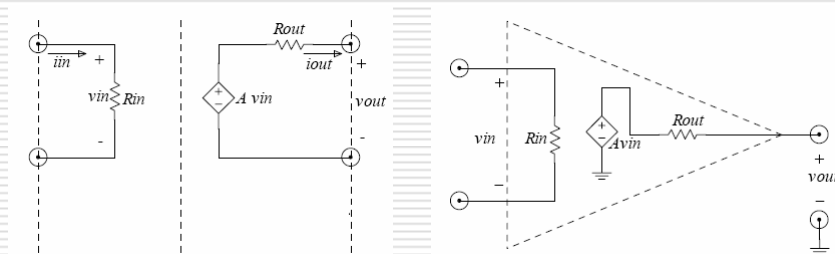
## Ideas básicas

- ◇ Realizan operaciones matemáticas, como sumadores, diferenciadores, integradores, comparadores...
- ◇ Se puede alimentar con tensión sencilla o simétrica:
  - ◇ Tensión sencilla: dos cables, uno positivo y el otro masa (por ejemplo a 12 voltios).
  - ◇ Tensión simétrica: alimentar el circuito con tres cables, el positivo, el de masa y el negativo, con la misma tensión que el positivo pero negativa (por ejemplo  $\pm 12$ ).
- ◇ Si en la salida queremos obtener tensiones:
  - Positivas y negativas -> alimentación simétrica.
  - Solo positivas -> alimentación simple.

7

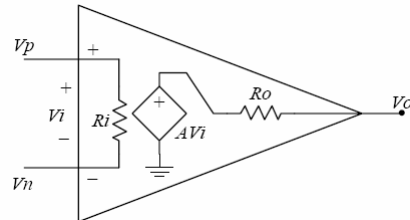
## Ideas básicas

- ◇ El amplificador operacional es una fuente dependiente de voltaje controlada por voltaje



8

## Ideas básicas



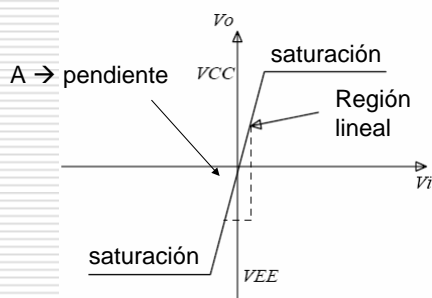
$$V_i = V_p - V_n$$

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

- ◇ Normalmente no se indican explícitamente las entradas de alimentación
- ◇ **Parámetros**
  - ◇  $R_i$  → resistencia de entrada
  - ◇  $R_o$  → resistencia de salida
  - ◇  $V_i$  → voltaje de entrada → diferencia entre los voltajes en los terminales de entrada
  - ◇  $V_o$  → voltaje de salida
  - ◇  $A$  → ganancia en lazo abierto

9

## Ideas básicas



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

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

$$A = 200,000V/V$$

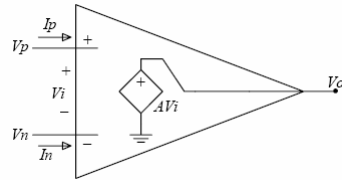
$$V_o = AV_i = A(V_p - V_n)$$

$$\text{Saturación} \rightarrow 10/200,000 = 50\mu V.$$

- ◇ Tenemos dos regiones de operación
  - ◇ Región Lineal
  - ◇ Saturación
- ◇ La ganancia en lazo abierto es extremadamente alta
  - ◇ Para el 741 es del orden de 200000 V0/Vi

10

## Amplificador Operacional Ideal



$$I_p = I_n = 0$$

$$R_i \rightarrow \infty$$

$$R_o = 0$$

$$A \rightarrow \infty$$

- ◇ La resistencia de entrada es infinita → no hay corriente en los terminales de entrada → el Amp-Op no demanda transferencia de potencia de la señal de entrada
- ◇ La resistencia de salida es nula → el voltaje de salida es independiente del valor de la resistencia de carga

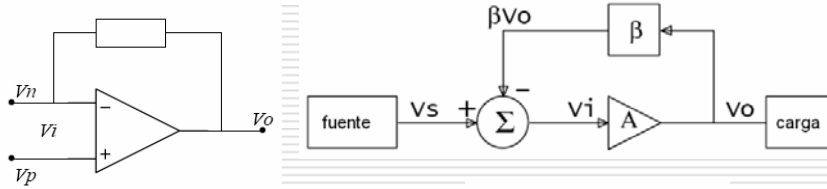
11

## Análisis de circuitos

- ◇ Al analizar circuitos con operacionales se dice que la corriente por las entradas inversora y no inversora del operacional es cero.
- ◇ El funcionamiento del amplificador operacional depende del resto del circuito.
- ◇ El amplificador operacional "lee" la tensión en la entrada no inversora, "le resta" la tensión de la entrada inversora, el resultado lo multiplica por un número muy grande y eso lo saca por la salida.
- ◇ La tensión de salida no puede ser mayor que la de alimentación.

12

## Realimentación



Ganancia en lazo cerrado:

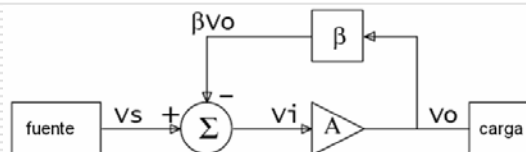
$$G \equiv \frac{V_o}{V_i}$$

$$G \equiv \frac{V_o}{V_s} = \frac{A}{1 + \beta A}$$

- ◇ Diagrama de bloques de un amplificador operacional ideal con realimentación negativa.
- ◇ A la señal de entrada  $V_s$  se le resta un porcentaje de la señal de salida, lo cual produce la señal de error  $V_i$ . Esta señal de error es amplificada y resulta en la señal de salida  $V_o$ .

13

## Realimentación



Ganancia en lazo cerrado:

$$G \equiv \frac{V_o}{V_s} = \frac{A}{1 + \beta A}$$

Parámetro de realimentación

- ◇ La ganancia en lazo cerrado depende de la ganancia en lazo abierto y de la realimentación

14

## Realimentación

Ganancia en lazo cerrado

$$G \equiv \frac{V_o}{V_s} = \frac{A}{1 + \beta A} \xrightarrow{A \rightarrow \infty} G \equiv \frac{1}{\beta}$$

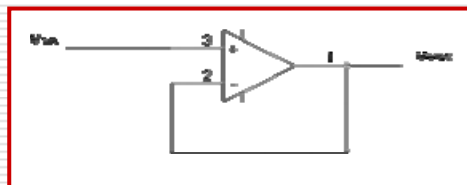
Parámetro de realimentación

- ◇ La ganancia en lazo abierto es muy grande, a efectos prácticos tiende a infinito y por tanto en el límite la ganancia en lazo cerrado solo depende del parámetro de la realimentación
- ◇ Por tanto la red de realimentación tiene el control sobre las características de operación del circuito

15

## Análisis de circuitos con realimentación negativa

Cuando parte de la salida del circuito o toda se reconduce a la entrada inversora.



La tensión en la entrada no inversora es igual a la de la entrada inversora.  
La tensión de salida será igual a la tensión de entrada (**Vin=Vout**).

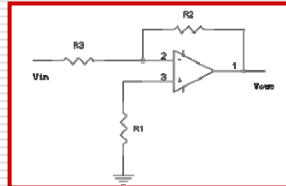
A este circuito se le llama "seguidor de tensión".

16



## Análisis de circuitos. Amplificador inversor

- ◇ Se añade una resistencia R1 desde la entrada + a masa y realimentación negativa mediante una resistencia R2. La entrada - se conecta mediante R3:

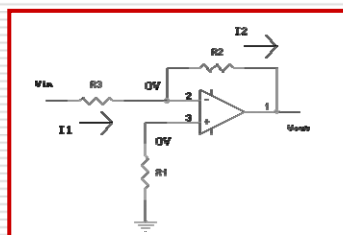


- ◇ La corriente que entra por cualquiera de las dos entradas del operacional es cero:
    - ◇ No circulará corriente por R1
    - ◇ La tensión en la entrada + será 0 ( $V = I \cdot R1 = 0 \cdot R1 = 0$ ).
- Es lo mismo que si conectáramos la entrada + a masa directamente, pero se pone una resistencia porque el circuito trabaja mejor.

17

## Análisis de circuitos. Amplificador inversor

- ◇ Todas las corrientes y tensiones del circuito:



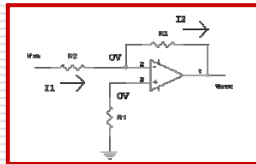
- ◇ Primero se haya la corriente de entrada I1:  $I_1 = \frac{V_{in}}{R_3}$
- ◇ Para ello se tiene en cuenta la tensión a la que esta sometida R3. Que será  $V_{in-0} = V_{in}$ :

$$V_{in-0} = I_1 \cdot R_3$$

18

## Análisis de circuitos. Amplificador inversor

- ◇ Por la entrada del operacional no va corriente ->  $I_2 = I_1$



$$\begin{aligned} 0 - V_{out} &= I_2 \cdot R_2 \\ -V_{out} &= I_2 \cdot R_2 \\ I_2 &= \frac{-V_{out}}{R_2} \end{aligned}$$

- ◇ Igualando I2 e I1:

$$\begin{aligned} I_2 &= I_1 \\ \frac{-V_{out}}{R_2} &= \frac{V_{in}}{R_1} \\ -V_{out} &= V_{in} \frac{R_2}{R_1} \\ V_{out} &= -V_{in} \frac{R_2}{R_1} \end{aligned}$$

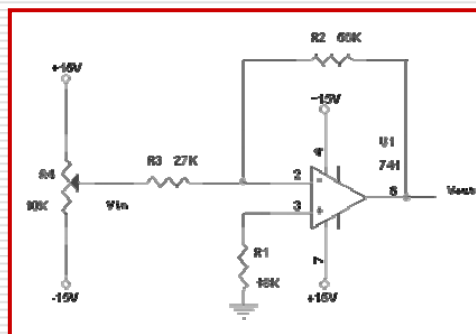
El circuito tiene una ganancia ( $A_v$ ) negativa de  $-(R_2/R_1)$ :

$$V_{out} = A_v \cdot V_{in}$$

19

## Análisis de circuitos. Amplificador inversor

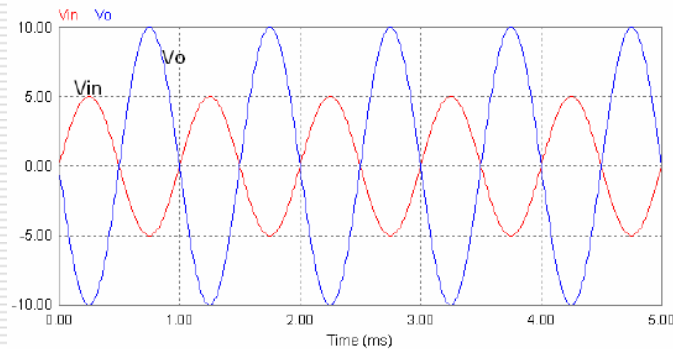
Aplicación práctica:



En este circuito la  $A_v = - 56K / 27K = -2,07$

20

## Análisis de circuitos. Amplificador inversor

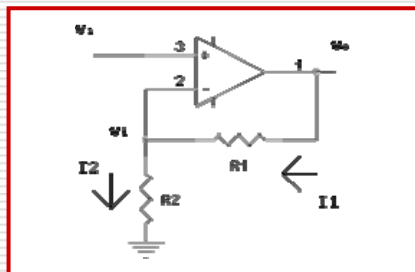


- ◇ Voltajes de salida y entrada para un amplificador inversor de ganancia igual a dos

21

## Análisis de circuitos con realimentación no negativa

La entrada  $V_i$  entra directamente por la entrada no inversora del amplificador operacional (entrada +). La realimentación negativa por medio de la resistencia  $R_1$ :

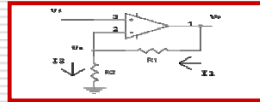


Ahora se halla la relación entre la salida y la entrada.

22

## Análisis de circuitos con realimentación no negativa

$I_1$  es igual a  $I_2$ : Así que no tenemos mas que calcular las dos por separado y luego igualarlas:



Tensión de  $R_2 = V_i \Rightarrow$

$$V_i = I_2 \cdot R_2$$

$$I_2 = \frac{V_i}{R_2}$$

Tensión de  $R_1 = V_o - V_i \Rightarrow$

$$V_o - V_i = I_1 \cdot R_1$$

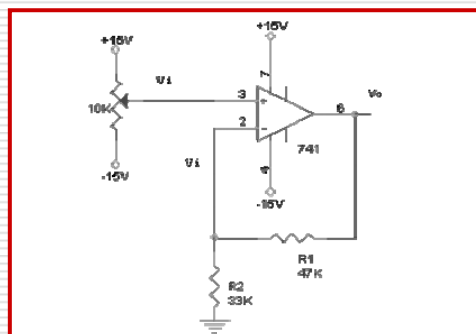
$$I_1 = \frac{V_o - V_i}{R_1}$$

Este circuito tiene una ganancia en tensión  
 $A_v = 1 + R_1 / R_2$

23

## Análisis de circuitos. Amplificador no inversor

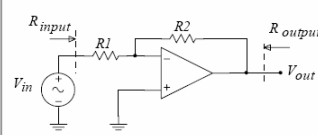
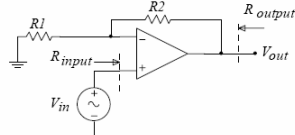
Aplicación práctica:



En este circuito la  $A_v = 1 + 47k/33k = 2,42$

24

# Resumen

	Amplificador Inversor	Amplificador NO Inversor
Ganancia		
$\left(\frac{V_{out}}{V_{in}}\right)$	$-\frac{R2}{R1}$	$1 + \frac{R2}{R1}$
Rinput	$R1$	$\infty$
Routput	$0$	$0$