

AMPLIFICADORES OPERACIONALES

Amplificadores diferenciales

Amplificadores operacionales. El AO ideal

Aplicaciones lineales de los AOs

Aplicaciones no lineales de los AOs

Características reales de los AOs

Oscilador Astable

cei@upm.es

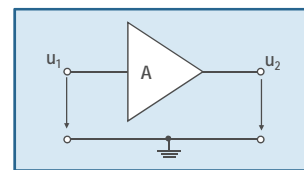
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



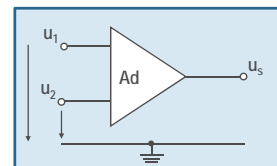
POLITÉCNICA

Amplificadores diferenciales

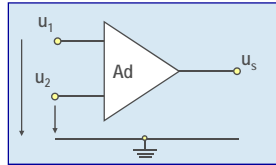
Los amplificadores, analizados en la lección anterior, tienen como entrada una sola tensión medida respecto a una tensión de referencia (masa)



Los **AMPLIFICADORES DIFERENCIALES** tienen dos entradas y dan una salida proporcional a la diferencia de las tensiones aplicadas a la entrada



Amplificadores diferenciales



Tensión en modo común
Tensión común a ambas entradas

$$u_{mc} = \frac{u_1 + u_2}{2}$$

Tensión en modo diferencial

$$u_d = u_1 - u_2$$

Rechazo en modo común

Capacidad del amplificador de rechazar señales en modo común

Ganancias

Modo común: A_{mc}
Diferencial: A_d

$$A_{mc} \ll A_d$$

Real

$$u_s = A_d \cdot u_d + A_{mc} \cdot u_{mc}$$

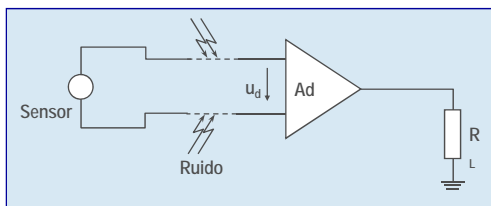
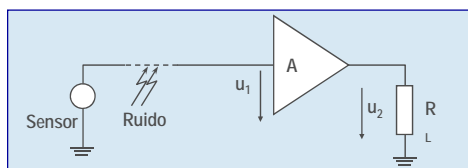
Ideal

$$u_s = A_d \cdot u_d$$

Amplificadores diferenciales

Ventaja

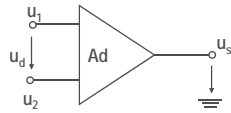
Son más inmunes al ruido y no tenemos que referir las señales a masa



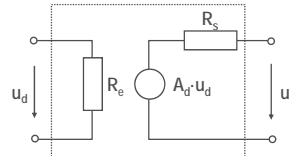
El amplificador diferencial no amplifica el ruido con lo que a R_L no le llega ruido

Amplificadores diferenciales

Símbolo



Circuito Equivalente



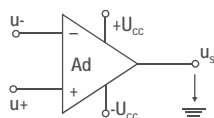
Razón de rechazo en modo común

$$RRMC = \frac{|A_d|}{|A_{mc}|}$$

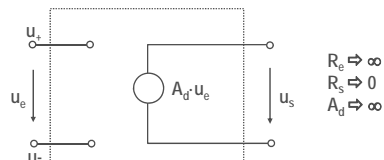
Amplificador Operacional

- Es un amplificador diferencial que se integra en un circuito y se caracteriza por tener:
 - Ganancia de tensión muy alta
 - Alta impedancia de entrada
 - Baja impedancia de salida
 - Amplifica tensión y potencia

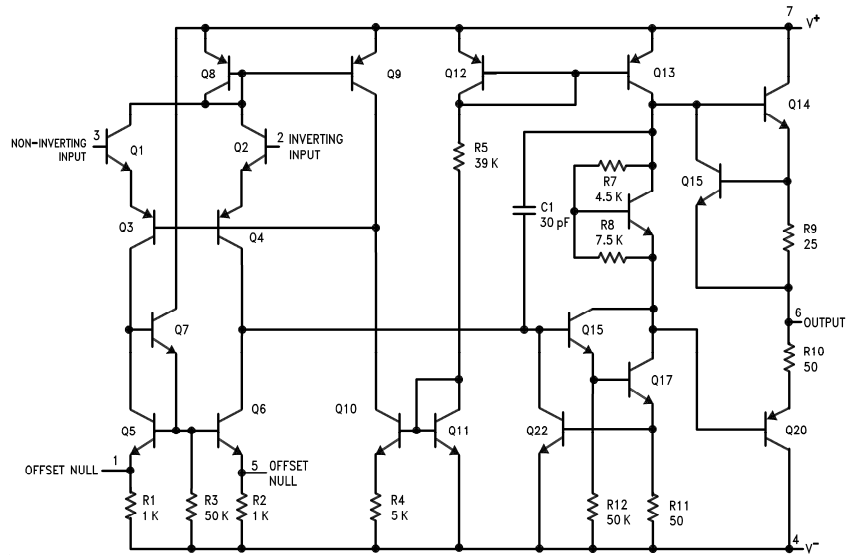
Símbolo



Amplificador Operacional Ideal (Circuito Equivalente)

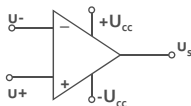


Amplificador Operacional uA741: Estructura interna



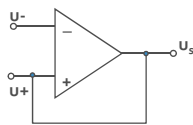
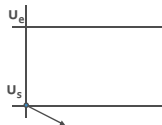
Utilización de los Aos: realimentación

En lazo abierto



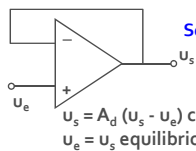
Si $u_- > u_+ \rightarrow u_s = -U_{CC}$
 Si $u_- < u_+ \rightarrow u_s = +U_{CC}$

Con realimentación positiva



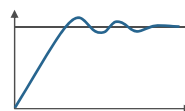
Si $u_+ \uparrow \rightarrow u_s \uparrow$
 se magnifica el efecto
 $u_s = A_d (u_s - u_e)$

Con realimentación negativa



Seguidor de tensión

$u_s = A_d (u_s - u_e)$ como $A_d \rightarrow \infty$
 $u_e = u_s$ equilibrio



Si inicialmente $u_s = 0$

Aplicaciones lineales de los AOs

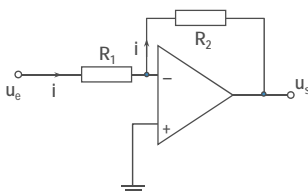
- Una aplicación lineal se tiene cuando se realimenta negativamente el amplificador
- Se suelen considerar **características ideales**:
 - $R_e = \infty$. . . la corriente de entrada al AO es cero
 - $R_s = 0$. . . se comporta como una fuente ideal de tensión
 - Con realimentación negativa $u_+ = u_-$

Tipos

Amplificador inversor
 Integrador
 Derivador
 Sumador
 Amplificador de ganancia positiva
 Amplificador diferencial

Aplicaciones lineales de los AOs

Amplificador inversor

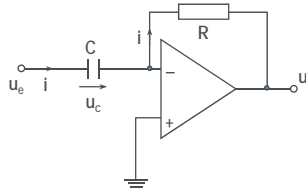


$$u_- = u_+ = 0V$$

$$\frac{u_e - 0}{R_1} = \frac{0 - u_s}{R_2}$$

$$u_s = -\frac{R_2}{R_1} u_e$$

Derivador



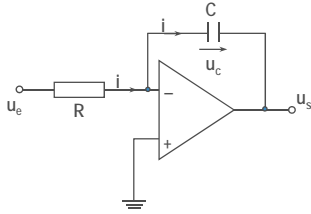
$$u_- = u_+ = 0V$$

$$i = C \frac{du_e}{dt} = \frac{-u_s}{R}$$

$$u_s = -CR \frac{du_e}{dt}$$

Aplicaciones lineales de los AOs

Integrador



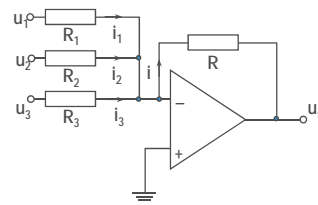
$$u_- = u_+ = 0V$$

$$i = \frac{u_e - 0}{R} = C \frac{du_c}{dt} = -C \frac{du_s}{dt}$$

$$\frac{du_s}{dt} = \frac{-1}{RC} u_e$$

$$u_s(t) - u_s(0) = \frac{-1}{RC} \int_0^t u_e dt$$

Sumador



$$u_- = u_+ = 0V$$

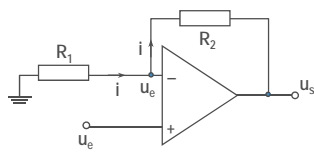
$$i = i_1 + i_2 + i_3$$

$$-\frac{u_s}{R} = \frac{u_1}{R_1} + \frac{u_2}{R_2} + \frac{u_3}{R_3}$$

$$u_s = -R \left(\frac{u_1}{R_1} + \frac{u_2}{R_2} + \frac{u_3}{R_3} \right)$$

Aplicaciones lineales de los AOs

Amplificador de ganancia positiva

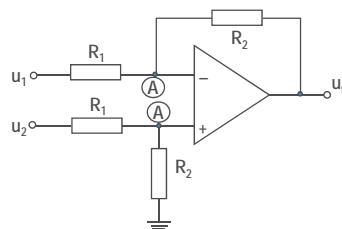


$$u_- = u_+ = u_e$$

$$\frac{0 - u_e}{R_1} = \frac{u_e - u_s}{R_2}$$

$$u_s = u_e \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

Amplificador diferencial



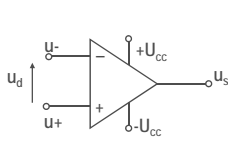
$$u_- = u_+ = u_A = u_2 \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\frac{u_1 - u_A}{R_1} = \frac{u_A - u_s}{R_2}$$

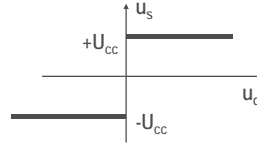
$$u_s = \frac{R_2}{R_1} (u_2 - u_1)$$

Aplicaciones no lineales de los AOs

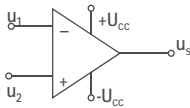
Realimentación positiva o bucle abierto



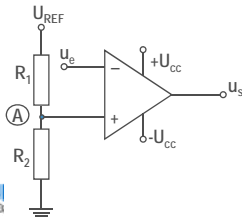
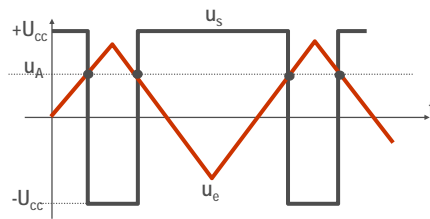
$$\begin{aligned} \text{Si } u_- > u_+ &\rightarrow u_s = -U_{CC} \\ \text{Si } u_- < u_+ &\rightarrow u_s = +U_{CC} \end{aligned}$$



Comparador



$$u_s \begin{cases} u_1 > u_2 \rightarrow u_s = -U_{CC} \\ u_1 < u_2 \rightarrow u_s = +U_{CC} \end{cases}$$

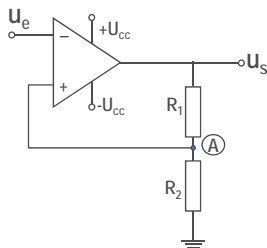


$$\begin{aligned} u_e > u_A &\rightarrow u_s = -U_{CC} \\ u_e < u_A &\rightarrow u_s = +U_{CC} \end{aligned}$$

$$u_A = U_{REF} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Aplicaciones no lineales de los AOs

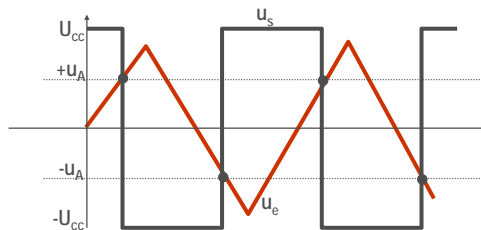
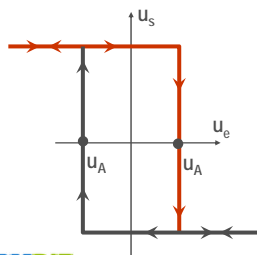
Comparador con histéresis



$$u_A = u_s \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \pm U_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

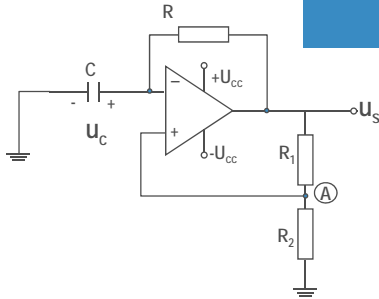
$$\text{Si } u_s = +U_{CC} \quad u_{\text{comp}} = u_A = +U_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\text{Si } u_s = -U_{CC} \quad u_{\text{comp}} = u_A = -U_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$



Aplicaciones no lineales de los AOs

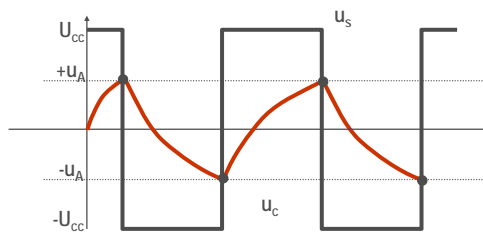
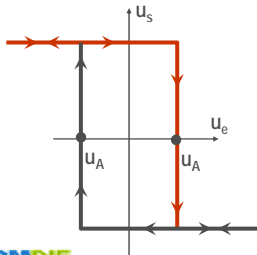
Oscilador Astable



$$u_A = u_s \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \pm U_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

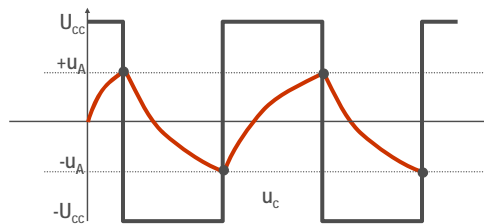
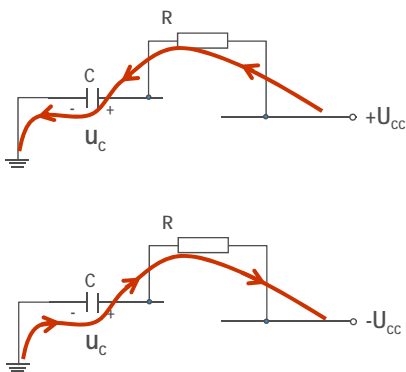
$$\text{Si } u_s = +U_{CC} \quad u_{\text{comp}} = u_A = +U_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\text{Si } u_s = -U_{CC} \quad u_{\text{comp}} = u_A = -U_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$



Aplicaciones no lineales de los AOs

Oscilador Astable



Problema

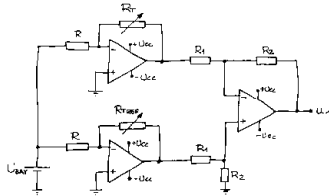


Figura 1

$$R(T) = R_0(1 + \alpha T)$$

$$R_0 = 100\Omega$$

$$\alpha = 4 \cdot 10^{-3} (\text{°C})^{-1}$$

$$T \text{ en } \text{°C}$$

$$T_{REF} = 25\text{°C}$$

$$U_{SAT} = 5\text{V}$$

$$R = 200\Omega$$

$$R_1 = 200\Omega$$

$$R_2 = 200\Omega$$

$$U_{CC} = \pm 15\text{V}$$

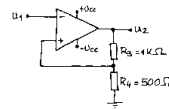


Figura 2

$$R_3 = 1\text{k}\Omega$$

$$R_4 = 500\Omega$$

Se quiere medir la temperatura en un proceso industrial utilizando una RTD. Esta se sitúa en el interior del horno y se coloca otra a una temperatura constante T_{REF} de 25°C. Se propone el circuito de la figura 1 para realizar la medida:

- a) Calcule la relación entre u_1 y T (temperatura a medir).
- b) Calcule el margen de temperaturas a las que la medida es fiable (margen de medida).
- c) Calcule la sensibilidad del proceso de medida e indique cómo podría mejorarse.

Si a la salida u_1 se conecta un circuito (como el mostrado en la figura 2) para encender una refrigeración cuando se supere una temperatura dada, dibuje la curva que relaciona u_2 con la temperatura y comente el funcionamiento del sistema suponiendo que la refrigeración se conecta cuando $u_2 = -15\text{V}$.