

Taller de Electrónica para Síntesis Musical

Teoría de circuitos

Estudio de Música Electroacústica
Escuela Universitaria de Música
Universidad de la República, Uruguay

Martín Tarragona, Juan Martín López, Martín Rocamora

Contenido

① Transistor

② Circuitos integrados

③ Amplificador operacional

① Transistor

② Circuitos integrados

③ Amplificador operacional

Transistor

Características:

- dispositivo semi-conductor (activo)



Bardeen, Shockley y Brattain (1948)

Transistor

Características:

- dispositivo semi-conductor (activo)
- presenta al menos tres terminales



Bardeen, Shockley y Brattain (1948)

Transistor

Características:

- dispositivo semi-conductor (activo)
- presenta al menos tres terminales
- usado como amplificador y llave de control



Bardeen, Shockley y Brattain (1948)

Transistor

Características:

- dispositivo semi-conductor (activo)
- presenta al menos tres terminales
- usado como amplificador y llave de control
- clave en el desarrollo de la electrónica



Bardeen, Shockley y Brattain (1948)

Transistor

Características:

- dispositivo semi-conductor (activo)
- presenta al menos tres terminales
- usado como amplificador y llave de control
- clave en el desarrollo de la electrónica

Operación simplificada

- un voltaje (o corriente) entre dos de sus terminales puede cambiar la corriente (o voltaje) entre otro par de terminales



Bardeen, Shockley y Brattain (1948)

Transistor

Características:

- dispositivo semi-conductor (activo)
- presenta al menos tres terminales
- usado como amplificador y llave de control
- clave en el desarrollo de la electrónica

Operación simplificada

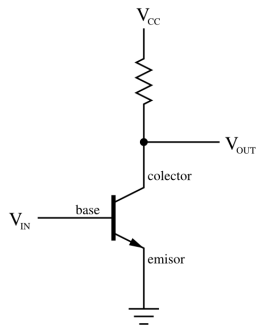
- un voltaje (o corriente) entre dos de sus terminales puede cambiar la corriente (o voltaje) entre otro par de terminales
- **propiedad de amplificación:** la señal de salida (controlada) puede ser mayor que la señal de entrada (de control)



Bardeen, Shockley y Brattain (1948)

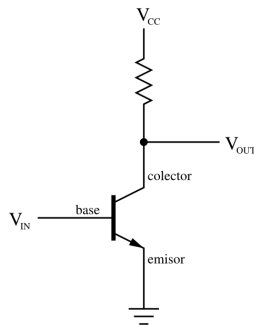
Transistor

- en un transistor **bipolar** las terminales se denominan: **base**, **colector** y **emisor**



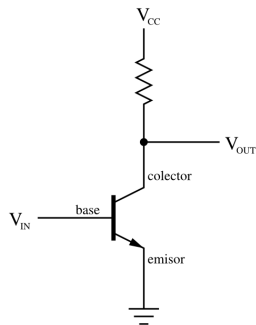
Transistor

- en un transistor **bipolar** las terminales se denominan: **base**, **colector** y **emisor**
- una corriente en la base puede controlar una corriente más grande en el colector



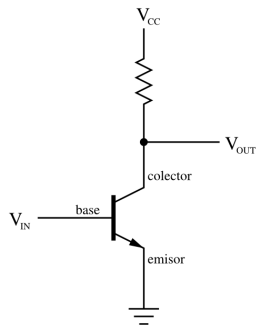
Transistor

- en un transistor **bipolar** las terminales se denominan: **base**, **colector** y **emisor**
- una corriente en la base puede controlar una corriente más grande en el colector
- relación proporcional: $I_C = \beta I_B$, $\beta \gg 1$



Transistor

- en un transistor **bipolar** las terminales se denominan: **base**, **colector** y **emisor**
- una corriente en la base puede controlar una corriente más grande en el colector
- relación proporcional: $I_C = \beta I_B$, $\beta \gg 1$
- $I_E = I_B + I_C = (1 + \beta)I_B \sim \beta I_B = I_C$



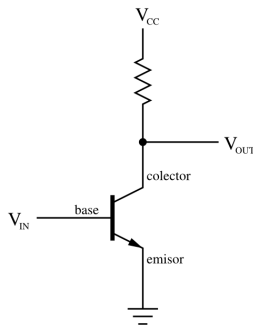
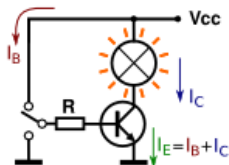
Transistor

- en un transistor **bipolar** las terminales se denominan: **base**, **colector** y **emisor**
- una corriente en la base puede controlar una corriente más grande en el colector
- relación proporcional: $I_C = \beta I_B$, $\beta \gg 1$
- $I_E = I_B + I_C = (1 + \beta)I_B \sim \beta I_B = I_C$



Funcionamiento como llave

- corte y saturación



Transistor

- en un transistor **bipolar** las terminales se denominan: **base**, **colector** y **emisor**
- una corriente en la base puede controlar una corriente más grande en el colector
- relación proporcional: $I_C = \beta I_B$, $\beta \gg 1$
- $I_E = I_B + I_C = (1 + \beta)I_B \sim \beta I_B = I_C$

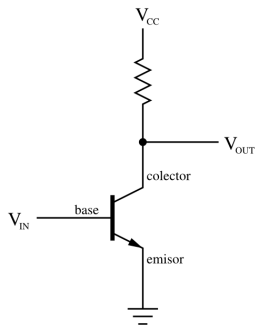
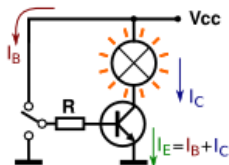


Funcionamiento como llave

- **corte** y **saturación**

$$V_{IN} = 0 \Rightarrow I_B = 0$$

$$I_C = 0 \text{ y } V_{OUT} = V_{CC}$$



Transistor

- en un transistor **bipolar** las terminales se denominan: **base**, **colector** y **emisor**
- una corriente en la base puede controlar una corriente más grande en el colector
- relación proporcional: $I_C = \beta I_B$, $\beta \gg 1$
- $I_E = I_B + I_C = (1 + \beta)I_B \sim \beta I_B = I_C$



Funcionamiento como llave

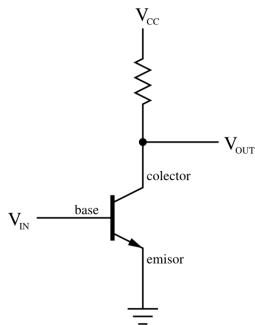
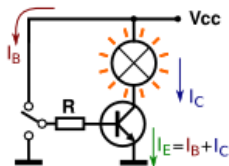
- **corte y saturación**

$$V_{IN} = 0 \Rightarrow I_B = 0$$

$$I_C = 0 \text{ y } V_{OUT} = V_{CC}$$

$$V_{IN} = V_{CC} \Rightarrow I_B = \frac{V_{CC}}{R}$$

$$I_C \gg I_B \text{ y } V_{OUT} \rightarrow 0$$



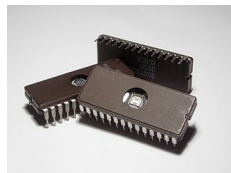
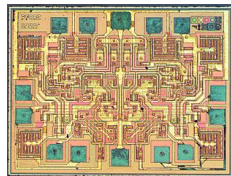
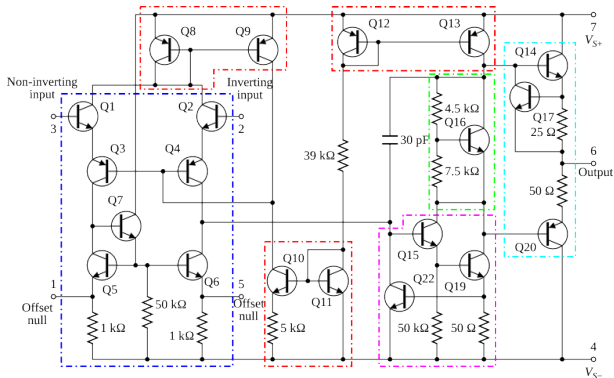
① Transistor

② Circuitos integrados

③ Amplificador operacional

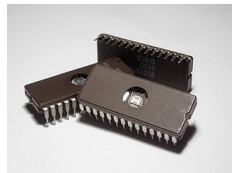
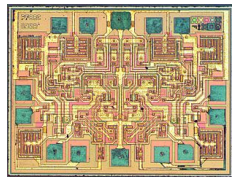
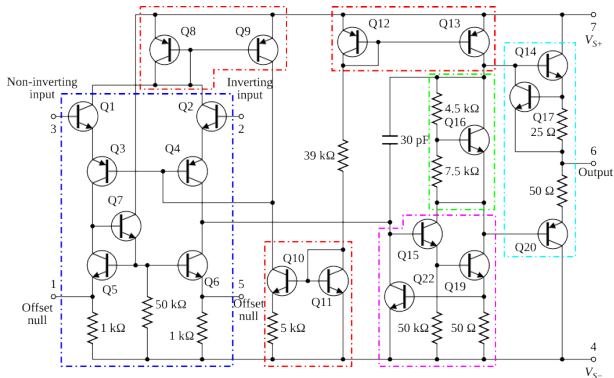
Circuitos integrados

- en tamaño reducido se pueden integrar billones de transistores y componentes



Circuitos integrados

- en tamaño reducido se pueden integrar billones de transistores y componentes
- ejemplos: contadores de tiempo, compuertas lógicas, amplificadores operacionales, etc



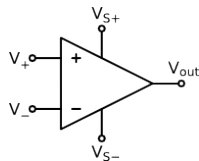
① Transistor

② Circuitos integrados

③ Amplificador operacional

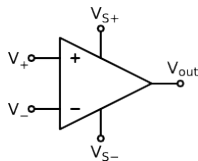
Amplificador operacional

- amplificador con entrada diferencial ($V_+ - V_-$) y una única salida V_{out}



Amplificador operacional

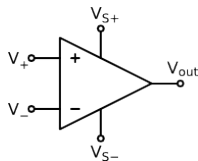
- amplificador con entrada diferencial ($V_+ - V_-$) y una única salida V_{out}
- fuente de alimentación positiva y negativa, V_{S+} y V_{S-}



Amplificador operacional

- amplificador con entrada diferencial ($V_+ - V_-$) y una única salida V_{out}
- fuente de alimentación positiva y negativa, V_{S+} y V_{S-}
- voltaje de salida: diferencia de voltaje en terminales de entrada por una ganancia

$$V_{out} = G (V_+ - V_-)$$



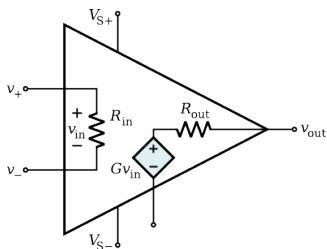
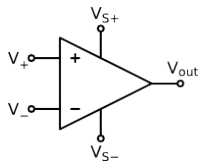
Amplificador operacional

- amplificador con entrada diferencial ($V_+ - V_-$) y una única salida V_{out}
- fuente de alimentación positiva y negativa, V_{S+} y V_{S-}
- voltaje de salida: diferencia de voltaje en terminales de entrada por una ganancia

$$V_{out} = G (V_+ - V_-)$$

- parámetros ideales y reales:

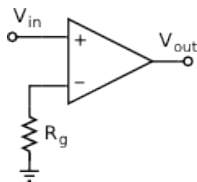
| | G | R_{in} | R_{out} |
|-------|----------|--------------|------------|
| ideal | ∞ | ∞ | 0 |
| real | 10^5 | 1 M Ω | 1 Ω |



Amplificador operacional

Funcionamiento sin realimentación (lazo abierto)

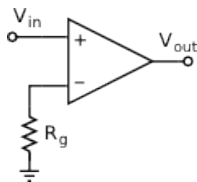
- incluso una diferencia muy pequeña entre terminales de entrada será muy amplificada



Amplificador operacional

Funcionamiento sin realimentación (lazo abierto)

- incluso una diferencia muy pequeña entre terminales de entrada será muy amplificada
- el voltaje de salida no puede exceder los límites de tensión de alimentación



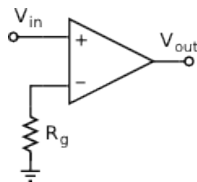
Amplificador operacional

Funcionamiento sin realimentación (lazo abierto)

- incluso una diferencia muy pequeña entre terminales de entrada será muy amplificada
- el voltaje de salida no puede exceder los límites de tensión de alimentación
- por lo que necesariamente satura

$$V_+ > V_- \Rightarrow (V_+ - V_-) > 0 \Rightarrow V_{out} = V_{s+}$$

$$V_+ < V_- \Rightarrow (V_+ - V_-) < 0 \Rightarrow V_{out} = V_{s-}$$



Amplificador operacional

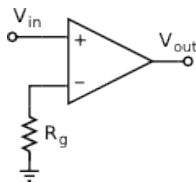
Funcionamiento sin realimentación (lazo abierto)

- incluso una diferencia muy pequeña entre terminales de entrada será muy amplificada
- el voltaje de salida no puede exceder los límites de tensión de alimentación
- por lo que necesariamente satura

$$V_+ > V_- \Rightarrow (V_+ - V_-) > 0 \Rightarrow V_{out} = V_{s+}$$

$$V_+ < V_- \Rightarrow (V_+ - V_-) < 0 \Rightarrow V_{out} = V_{s-}$$

- es un **comparador** entre voltajes de entrada



Amplificador operacional

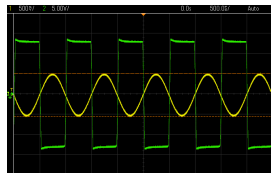
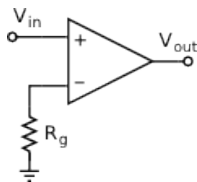
Funcionamiento sin realimentación (lazo abierto)

- incluso una diferencia muy pequeña entre terminales de entrada será muy amplificada
- el voltaje de salida no puede exceder los límites de tensión de alimentación
- por lo que necesariamente satura

$$V_+ > V_- \Rightarrow (V_+ - V_-) > 0 \Rightarrow V_{out} = V_{s+}$$

$$V_+ < V_- \Rightarrow (V_+ - V_-) < 0 \Rightarrow V_{out} = V_{s-}$$

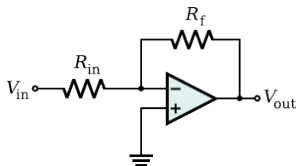
- es un **comparador** entre voltajes de entrada
- lo que tiene diversas aplicaciones



Amplificador operacional

Funcionamiento con realimentación (lazo cerrado)

- un comportamiento más controlado se logra por **realimentación negativa**: una porción de la salida se conecta a la entrada inversora

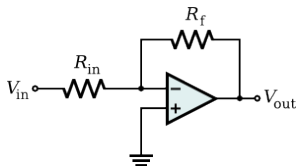


configuración inversora

Amplificador operacional

Funcionamiento con realimentación (lazo cerrado)

- un comportamiento más controlado se logra por **realimentación negativa**: una porción de la salida se conecta a la entrada inversora
- esto tiene el efecto de reducir la ganancia

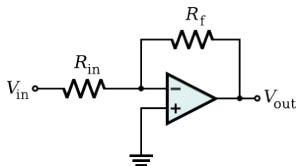


configuración inversora

Amplificador operacional

Funcionamiento con realimentación (lazo cerrado)

- un comportamiento más controlado se logra por **realimentación negativa**: una porción de la salida se conecta a la entrada inversora
- esto tiene el efecto de reducir la ganancia
- la ganancia queda determinada por el circuito de realimentación



configuración inversora

$$V_+ = 0 \Rightarrow V_- = 0$$

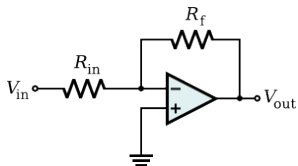
$$I = \frac{V_{in} - V_-}{R_{in}} = \frac{V_- - V_{out}}{R_f}$$

$$V_{out} = -\frac{R_f}{R_{in}} V_{in}$$

Amplificador operacional

Funcionamiento con realimentación (lazo cerrado)

- un comportamiento más controlado se logra por **realimentación negativa**: una porción de la salida se conecta a la entrada inversora
- esto tiene el efecto de reducir la ganancia
- la ganancia queda determinada por el circuito de realimentación



configuración inversora

$$V_+ = 0 \Rightarrow V_- = 0$$

$$I = \frac{V_{in} - V_-}{R_{in}} = \frac{V_- - V_{out}}{R_f}$$

$$V_{out} = -\frac{R_f}{R_{in}} V_{in}$$

- hay inversión y escalado de la entrada

Amplificador operacional

Funcionamiento con realimentación (lazo cerrado)

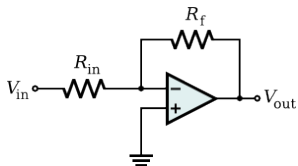
- un comportamiento más controlado se logra por **realimentación negativa**: una porción de la salida se conecta a la entrada inversora
- esto tiene el efecto de reducir la ganancia
- la ganancia queda determinada por el circuito de realimentación

$$V_+ = 0 \Rightarrow V_- = 0$$

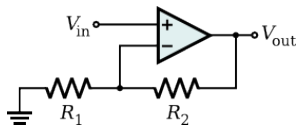
$$I = \frac{V_{in} - V_-}{R_{in}} = \frac{V_- - V_{out}}{R_f}$$

$$V_{out} = -\frac{R_f}{R_{in}} V_{in}$$

- hay inversión y escalado de la entrada



configuración inversora



configuración no inversora

Amplificador operacional

Funcionamiento con realimentación (lazo cerrado)

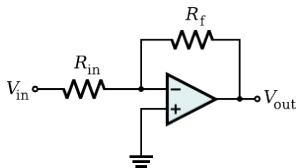
- un comportamiento más controlado se logra por **realimentación negativa**: una porción de la salida se conecta a la entrada inversora
- esto tiene el efecto de reducir la ganancia
- la ganancia queda determinada por el circuito de realimentación

$$V_+ = V_{in} \Rightarrow V_- = V_{in}$$

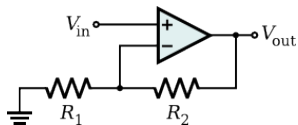
$$I = \frac{V_{in}}{R_1} = \frac{V_{out} - V_{in}}{R_2}$$

$$V_{out} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_{in}$$

- hay solo escalado de la entrada



configuración inversora

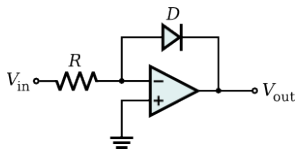


configuración no inversora

Amplificador operacional

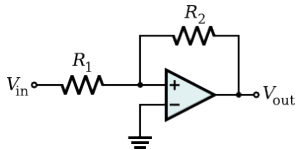
Funcionamiento con realimentación (lazo cerrado)

Existen muchas otras configuraciones típicas

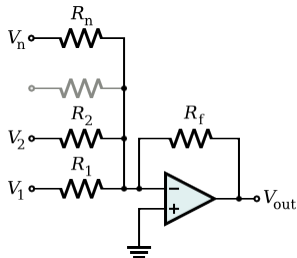


amplificador logarítmico

$$V_{out} = -V_T \ln\left(\frac{V_{in}}{I_s R}\right)$$



Schmitt trigger (comparador con histéresis)



amplificador sumador

$$V_{out} = -R_f \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_n}{R_n} \right)$$