

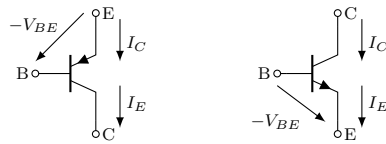
Electrónica de Circuitos

3º Ingeniería de Telecomunicaciones — UPV/EHU

"Under-promise and over-deliver."

Javier de Martín – 2016/17

Transistor BJT



Parámetros

$h_{ix}(\Omega)$: Impedancia de entrada

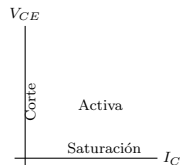
h_{rx} : Reverse voltage ratio

h_{fx} Forward current transfer ratio

$h_{ox}(\Omega^{-1})$: Admitancia de salida

| Base Común | Emisor Común | Colector Común |
|--|---|----------------------------------|
| $h_{ib} = \frac{h_{ie}}{1 + h_{ie}} \ll h_{ie}$ | $h_{ie} = \frac{v_{be}}{i_b} = \frac{V_T \beta}{I_C}$ | $h_{ic} = \frac{v_{bc}}{i_b}$ |
| $h_{rb} = \frac{v_{eb}}{v_{cb}}$ | $h_{re} = \frac{v_{be}}{v_{ce}}$ | $h_{rc} = \frac{v_{bc}}{v_{ec}}$ |
| $h_{fb} = \frac{-h_{fe}}{1 + h_{fe}} \approx -1$ | $h_{fe} = \frac{i_c}{i_b} = \beta$ | $h_{fc} = \frac{i_e}{i_b}$ |
| $h_{ob} = \frac{h_{oe}}{1 + h_{fe}}$ | $h_{oe} = \frac{i_c}{v_{ce}}$ | $h_{oc} = \frac{i_e}{v_{ec}}$ |

Regiones Operativas



Región Activa: I_C depende directamente de la corriente de base I_B , de la ganancia de corriente β y de las resistencias conectadas al colector y emisor. En esta región se produce amplificación de la señal.

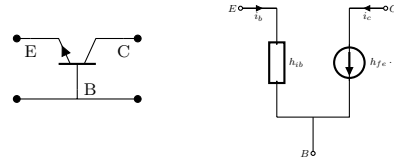
Región Inversa:

Región de Saturación: $I_C = I_E = I_{max}$. La corriente depende del V_{CC} y de las resistencias conectadas al colector y emisor. Este modo aparece cuando la corriente de base es lo suficientemente grande como para inducir una corriente de colector β veces más grande.

Región de Corte: $I_C = I_E = 0$. V_{CE} es la alimentación del circuito, al no haber corriente circulando no hay caída tensión. Este modo se da cuando $I_B = 0$.

Configuraciones de Montaje

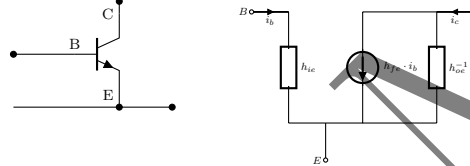
Base Común



Entrada por el emisor, salida por el colector.

Baja impedancia de entrada, alta impedancia de salida, ganancia unidad, o menor, de corriente y ganancia alta de tensión.

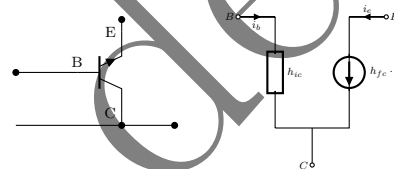
Emisor Común



Entrada por la base y salida por el colector.

Impedancia de entrada media, impedancia de salida media, alta ganancia de corriente y alta ganancia de tensión.

Colector Común o Seguidor de Emisor

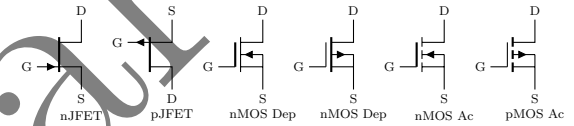
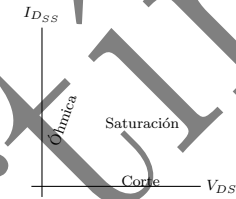
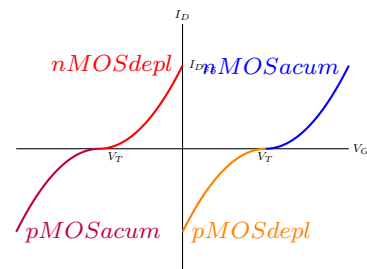


Entrada por base y salida por emisor.

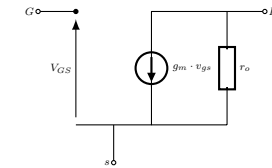
Alta impedancia de entrada, muy baja impedancia de salida, alta ganancia de corriente y unidad, o menor, ganancia de tensión.

Transistor FET

$$g_m = \frac{2}{|V_T|} \sqrt{I_D \cdot I_{DSS}}$$



$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{gs}}{V_T}\right)^2$$

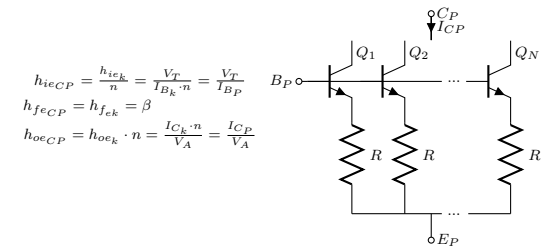


Equivalencias



Amplificadores Multietapa

Paralelo

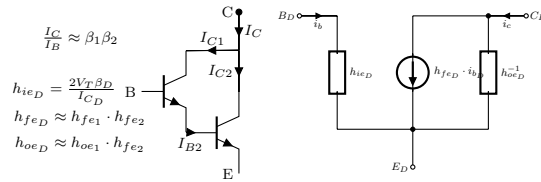


Se comporta como **un único transistor**, necesita una resistencia R (ballast resistor) para estabilizar el reparto de corriente entre los transistores. Permite trabajar en **altas corrientes**.

Las resistencias de emisor permiten estabilizar el circuito tensión.

$$I_{CN} = \frac{I_{CP}}{N} \quad V_{BE_N} + I_{CN}$$

Darlington

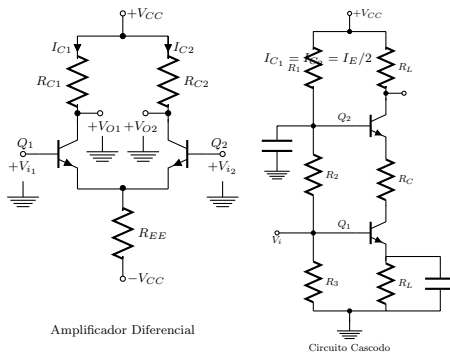


$$h_{ieD} = h_{ie1}(1 + h_{fe1}) \cdot h_{ie2}$$

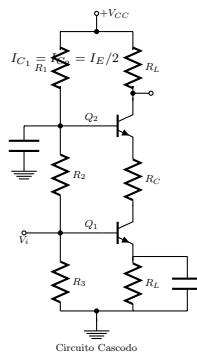
Gran ganancia de corriente pero baja impedancia de salida. Las fugas del primer transistor son amplificadas por el segundo, sólo es aconsejable en agrupaciones de 2 transistores.

$$\beta_T \approx \beta_1 \cdot \beta_2 \approx \frac{I_C}{I_B}$$

Amplificador Diferencial



Amplificador Diferencial



Circuito Cascodo

Circuito Cascodo: Permite trabajar con **mayores tensiones de salida**. Buen comportamiento en **alta frecuencia**. Se utiliza como etapa de entrada, no intermedia.

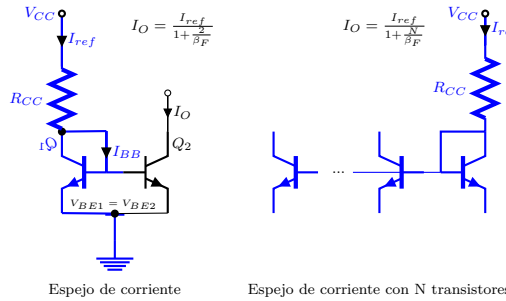
4. Fuentes de Corriente y Cargas Activas

La **figura de mérito** de un amplificador es el producto de la ganancia por el ancho de banda.

$$GB = |A_M|BW$$

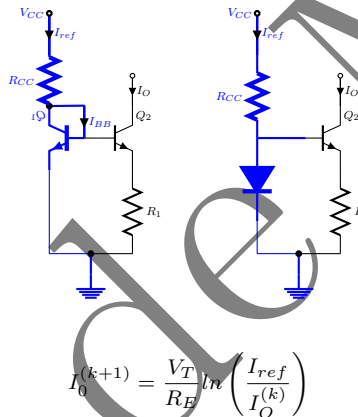
Configuraciones de Fuentes de Corriente

Espejo de Corriente: Permite obtener una corriente constante (fuente de corriente).



Widlar + R

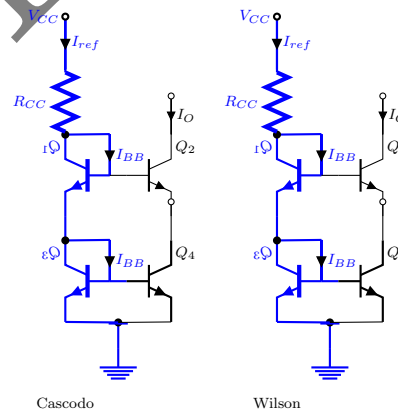
Variación del circuito anterior con una resistencia en el emisor del transistor de salida para obtener corrientes pequeñas constantes en la salida.



Esta configuración se puede encontrar sin R₁ y sería Widlar.

Fuente de Cascodo

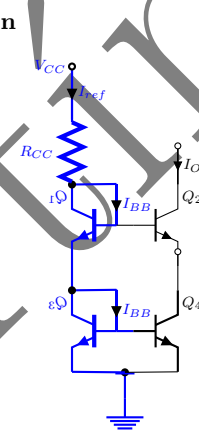
Proporciona impedancia de salida alta, mucho mayor que en las otras fuentes.



Cascodo

Wilson

Fuente de Wilson



Permite obtener alta ganancia de corriente e impedancia de salida elevada.

Etapas de Potencia

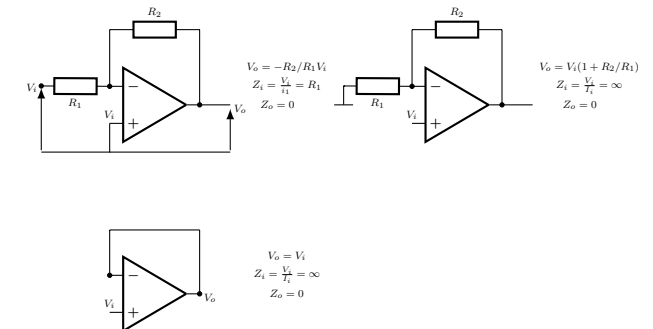
Clase A

Clase B

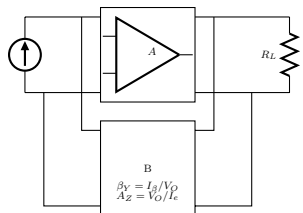
Circuitos de Protección de Cortocircuitos

Amplificador Operacional

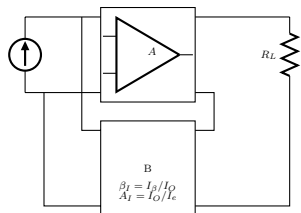
Impedancia de entrada infinita, impedancia de salida nula, ganancia diferencial infinita, CMRR infinito y margen dinámico $\pm V_{CC}$.



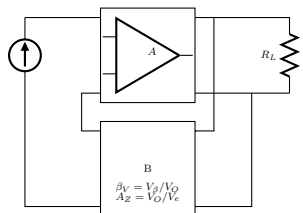
Topologías



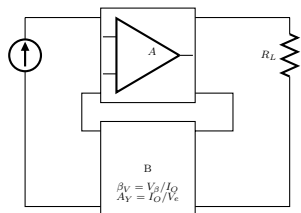
Paralelo-Paralelo (Y)



Paralelo-Serie (g)



Serie-Paralelo (h)



Serie-Serie (z)

Ejercicios con Transistores

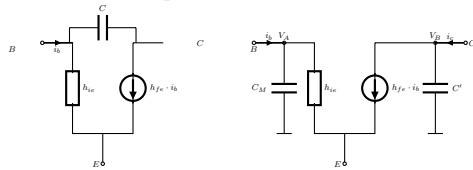
Puntos de Polarización

1. Poner v_i , y a veces v_o , a cero voltios.
2. Buscar rama de diferencial \rightarrow Corriente de referencia.

Pequeña Señal

1. **Localizar entradas inversora y no inversora:**
Recorrer el camino desde la entrada hasta la salida:
 - $E.C.$ o $S.C.$ \rightarrow cambiar el signo
 - $B.C.$ o $G.C.$ \rightarrow mantener el signo
 - $C.C.$ o $D.C.$ \rightarrow mantener el signo
- Modo Diferencial $\rightarrow v_i/2$ y puntos de unión a tierra.
- Modo Común $\rightarrow v_i$ y puntos de unión mediante R a tierra.

Condensador entre dos patas de un BJT.



$$\frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = (\text{Componentes en paralelo con el } C)$$

$$C_M = C \left(1 - \frac{V_B}{V_A}\right) \quad C' = C \left(1 - \frac{V_A}{V_B}\right)$$

Si entre dos ramas del circuito diferencial hay:

- **Condensador:** En pequeña señal y para el análisis en frecuencia colocarlo como $2C$.
- **Resistencia:** En pequeña señal colocar $R/2$.

Al realizar el **modo diferencial** no se tienen en cuenta las impedancias y h_{oe} de los transistores que hay en los caminos cruzados. Para el **modo común** se hace una impedancia equivalente (colocarla como $2 \cdot > Z_{eq}$):

$$Z_{eq} = h_{oe}^{-1} \cdot \left(1 + \frac{V_{RX}}{V_T}\right)$$

Impedancias de Entrada y Salida

Impedancia de entrada:

$$Z_i = \frac{V_i}{I_i}$$

Impedancia de salida:

1. Eliminar la excitación de entrada
2. Sustituir R_L por un generador de tensión.

$$Z_o = \frac{V_o}{I_o}$$

Factor de Rechazo al Modo Común

$$CMRR = 20 \cdot \log_{10} \left| \frac{g_D}{g_C} \right|$$

Para mejorar CMRR \rightarrow disminuir la ganancia en el modo común \rightarrow incrementar R_E . Sustituir las resistencias por cargas activas (fuentes de corriente que en alterna se comportan como resistencias).

Potencia Disipada en una Carga

$$P_{RL} = \frac{2 \cdot V_{CC}^2}{\pi^2 \cdot R_L}$$

Ejercicios con Opamps

1. Identificar redes de realimentación \rightarrow camino que une la salida de una etapa con la entrada.

2. **Identificar el tipo de alimentación:**

a) Entrada:

- 1) **Serie:** El camino de realimentación **no** está directamente unido a la **entrada** de la etapa.
- 2) **Paralelo:** El camino de realimentación **está** unido a la **entrada** de la etapa.

b) Salida:

- 1) **Serie:** El camino de realimentación **no** está directamente unido a la **salida** de la etapa.
- 2) **Paralelo:** La red de realimentación **está** directamente unida a la **salida** de la etapa.

Entrada (Realimentación) $\begin{cases} \text{Serie} \rightarrow \text{Tensión} \\ \text{Paralelo} \rightarrow \text{Corriente} \end{cases}$

Salida (Muestreo) $\begin{cases} \text{Serie} \rightarrow \text{Corriente} \\ \text{Paralelo} \rightarrow \text{Tensión} \end{cases}$

3. **Asignar signos a las entradas del OPAMP:**

Suponer que la salida del OPAMP aumenta y recorrer el camino hasta la entrada del OPAMP. Si al llegar a la entrada la señal sigue aumentando $-$ y si la señal disminuye $+$.

4. **Punto de trabajo de los transistores:** Deducir que las entradas están a $0V$ y que por las redes de realimentación no circula corriente. Lo normal es que la red de realimentación una la entrada con la salida del circuito, así que la salida es probable que esté también a $0V$.

5. **Ganancia en tensión:** Cuando hay más de una red de realimentación, hay una que engloba a las demás. Resolver primero las más pequeñas para que cuando se resuelva la externa se pueda sustituir cada una de ellas por un amplificador equivalente \rightarrow Dibujar la red β y sacar el valor (depende de cada configuración). Dibujar

la etapa entera con realimentación incluida en pequeña señal. Repartir la realimentación entre los lados. Si la entrada es de corriente \rightarrow sustituir el generador de tensión por uno de corriente con resistencia en paralelo. Resolver el circuito en pequeña señal y calcular A :

$$G = \frac{A}{1 + A\beta}$$

También, para obtener la ganancia total se puede hacer de forma aproximada, dibujando la red β del circuito exterior y asumiendo que $A \gg 1/\beta$ por tanto $G = 1/\beta$.