

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

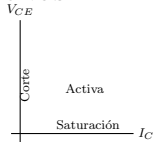
h_{rx} : Reverse voltage ratio

h_{fx} : Forward current transfer ratio

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

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

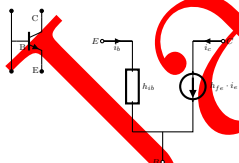
Regiones Operativas



- **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 $I_B = 0$.

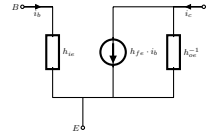
Configuraciones de Montaje

Base Común



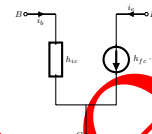
- Baja impedancia de entrada.
- Alta impedancia de salida
- Ganancia unidad, o menor, de corriente.
- Ganancia alta de tensión.

Emisor Común



- Impedancia de entrada media.
- Impedancia de salida media.
- Alta ganancia de corriente.
- Alta ganancia de tensión.

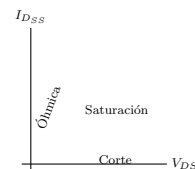
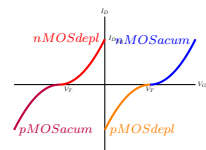
Colector Común



- Alta impedancia de entrada.
- Muy baja impedancia de salida.
- Alta ganancia de corriente.
- Unidad, o menor, ganancia de tensión.

Transistor FET

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



Equivalencias



Resolución de Ejercicios con Transistores

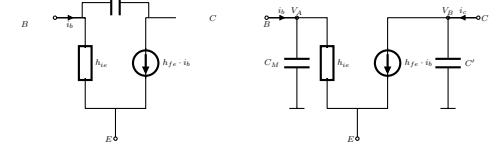
Puntos de Polarización

1. Poner v_{gs} y a veces v_{ds} 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 hay:

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

Impedancias de Entrada y Salida

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).

Resolución de Ejercicios con Opamps

1. Identificar redes de realimentación → 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 (Muestreo) $\left\{ \begin{array}{l} \text{Serie} \rightarrow \text{Tensión} \\ \text{Paralelo} \rightarrow \text{Corriente} \end{array} \right.$

Salida (Realimentación) $\left\{ \begin{array}{l} \text{Serie} \rightarrow \text{Corriente} \\ \text{Paralelo} \rightarrow \text{Tensión} \end{array} \right.$

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.

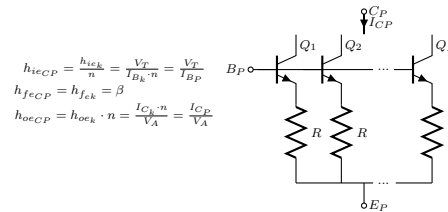
5. **Ganancia en tensión:** Cuando hay más de una red de realimentación, hay una que engloba a las demás. Resolver primero las más pequeñas para que cuando se resuelva la externa se pueda sustituir cada una de ellas por un amplificador equivalente.

- Dibujar la red β y sacar el valor (depende de cada configuración).

Emisor Común (-)
Colector Común (+)

1. Etapas de Dos Transistores

Configuración en Paralelo

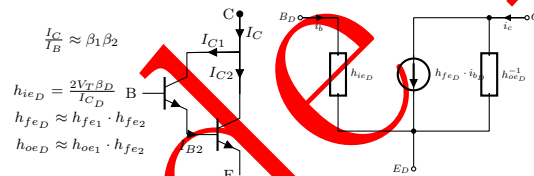


Se comporta como un **único transistor**, necesita una resistencia R (*ballast resistor*) para estabilizar el reparto de corriente entre los transistores. Permite trabajar en **altas corrientes**.

Las resistencias de emisor permiten estabilizar el circuito tensión.

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

Configuración Darlington

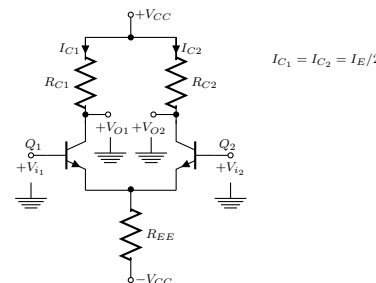


$$h_{ie_D} = h_{ie_1}(1 + h_{fe_1}) \cdot h_{ie_2}$$

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.

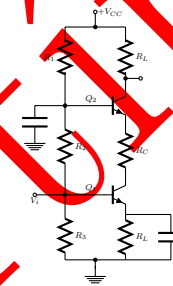
$$\beta_T \approx \beta_1 \cdot \beta_2 \approx \frac{I_C}{I_B}$$

Amplificador Diferencial



$$I_{C1} = I_{C2} = I_E/2$$

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

Una **carga activa o carga dinámica** es un componente de circuito que se comporta como una resistencia no lineal estable contra corriente. Utilizado frecuentemente en la entrada de amplificadores operacionales para incrementar considerablemente la ganancia.

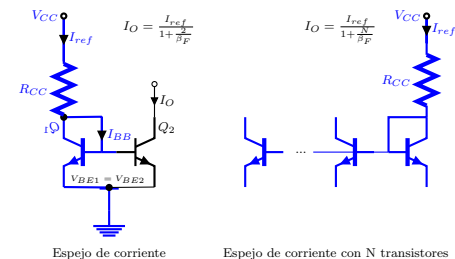
Introducción y Figura de Mérito

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

$$GB = |A_M|BW$$

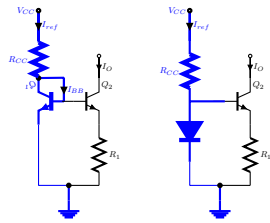
Configuraciones de Fuentes de Corriente

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



Fuente Widlar

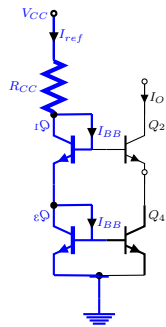
Variación del circuito anterior con una resistencia en el emisor del transistor de salida para obtener corrientes pequeñas constantes en la salida.



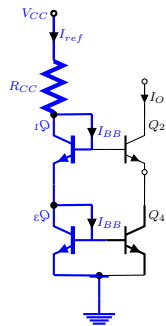
$$I_0^{(k+1)} = \frac{V_T}{R_E} \ln \left(\frac{I_{ref}}{I_O^{(k)}} \right)$$

Fuente de Cascodo

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



Fuente de Wilson



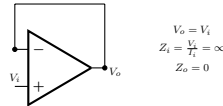
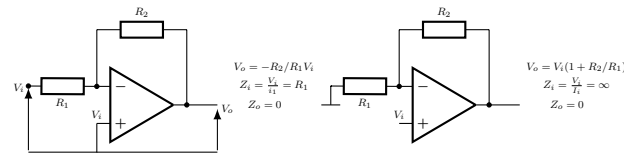
Permite obtener alta ganancia de corriente e impedancia de salida elevada.

6. Amplificador Operacional

- Impedancia de entrada infinita
- Impedancia de salida nula
- Ganancia diferencial infinita
- CMRR infinito

- Margen dinámico $\pm V_{CC}$

Amplificador Inversor:



Corrientes de Polarización Topologías

