

# 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

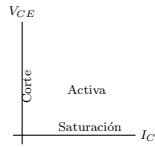
$h_{rx}$ : Reverse voltage ratio

$h_{fx}$ : Forward current transfer ratio

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

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

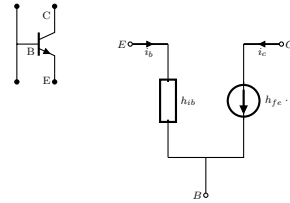
### Regiones Operativas



- **Región Activa:** La corriente de colector  $I_C$  depende directamente de la corriente de base  $I_B$ , de la ganancia de corriente  $\beta$  y de las resistencias conectadas al colector y emisor. En esta región se produce amplificación de la señal.
- **Región Inversa:**
- **Región de Saturación:** La corriente  $I_C = I_E = I_{max}$ . La corriente depende del voltaje de alimentación del circuito 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  $\beta$  veces más grande.
- **Región de Corte:** La corriente  $I_C = I_E = 0$ . El voltaje  $V_{CE}$  es el de alimentación del circuito, al no haber corriente circulando no hay caída tensión. Este modo aparece, normalmente, cuando  $I_B = 0$ .

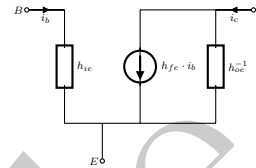
## Configuraciones de Montaje

### Base Común



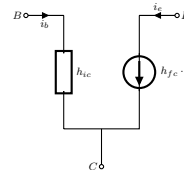
- Baja impedancia de entrada.
- Alta impedancia de salida
- Ganancia unidad, o menor, de corriente.
- Ganancia alta de tensión.

### Emisor Común



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

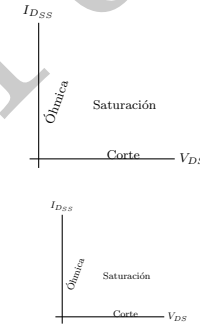
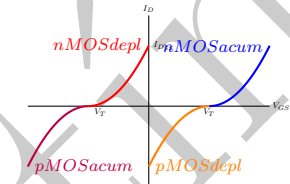
### Colector Común



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

## Transistor FET

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



## Equivalencias



## Resolución de Ejercicios con Transistores

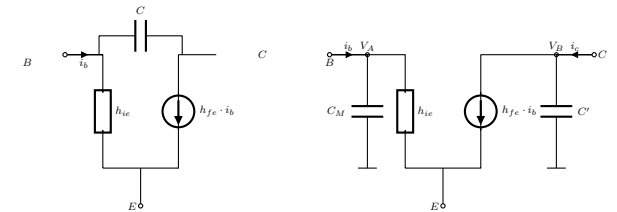
### Puntos de Polarización

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.
  - 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.



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

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

## Impedancias de Entrada y Salida

### Factor de Rechazo al Modo Común

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

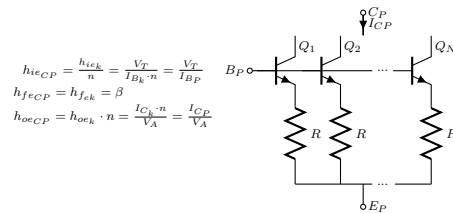
Para mejorar CMRR  $\rightarrow$  disminuir la ganancia en el modo común  $\rightarrow$  incrementar  $R_E$ . Sustituir las resistencias por cargas activas (fuentes de corriente que en alterna se comportan como resistencias).

## Resolución de Ejercicios con Operacionales

- Identificar redes de realimentación  $\rightarrow$  cuando haya un camino que une la salida de una etapa con la entrada.

## 1. Etapas de Dos Transistores

### Configuración en Paralelo

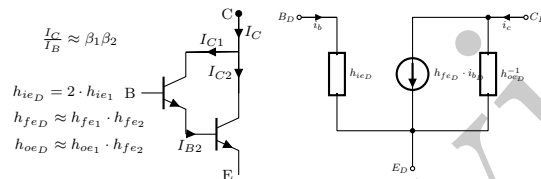


Se comporta como un **único transistor**, necesita una resistencia  $R$  (*ballast resistor*) para estabilizar el reparto de corriente entre los transistores. Permite trabajar en **altas corrientes**.

Las resistencias de emisor permiten estabilizar el circuito tensión.

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

### Configuración Darlington

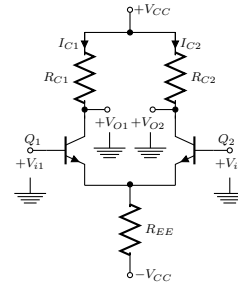


$$h_{ieD} = h_{ie1} (1 + h_{fe1}) \cdot h_{ie2}$$

**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 de continua**, simétrico con 2 entradas y 2 salidas. Amplifica exclusivamente la diferencia de sus entradas:  $V_O = k \cdot (V_{i1} - V_{i2})$ . Tiene los siguientes modos de funcionamiento:

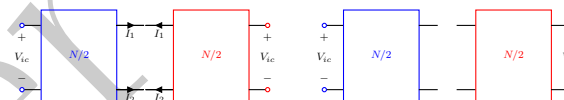
- Salida Diferencial:** La señal de salida se toma entre las salidas de cada semi-red ( $V_O = V_{O1} - V_{O2}$ ).
- Salida Asimétrica:** La señal de salida se toma de la salida de una semi-red ( $V_O = V_{Ox}$ ). Para este modo es necesaria una  $R_{EE}$  elevada.

Tiene efectos parásitos como las **corrientes de polarización** que provocan caídas de tensión en las resistencias internas de las fuentes de señal a amplificar.

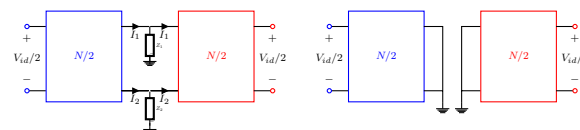
Mirar página 23— salida simétrica y tal

### Teorema de Bartlett

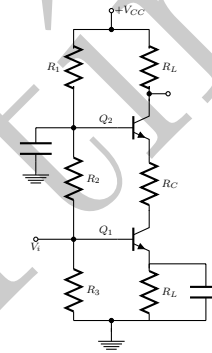
Simplifica el análisis de **redes simétricas**. Las corrientes totales que atraviesan las ramas que unen ambas semi-redes son nulas. El comportamiento del circuito no se altera si se abren dichas ramas.



**Red simétrica con entrada diferencial**, los nodos que unen ambas semi-redes están a cero voltios por ser nula la corriente que atraviesan las impedancias que los unen a masa. El comportamiento del circuito no se altera si se abren dichas ramas y se unen nodos comunes a masa.



## Circuito Cascado



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

### Etapas CMOS

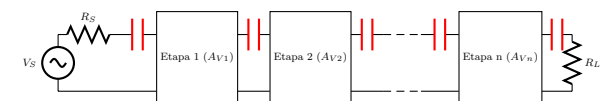
## 2.- Amplificadores Multietapa

### Clasificación

**De alterna o de acoplo RC:** Se agrupan en cascada de amplificadores monoetapa conectándose mediante condensadores de acoplo. **De continua o de acoplo directo** No existen condensadores de paso y amplifican tensiones continuas.

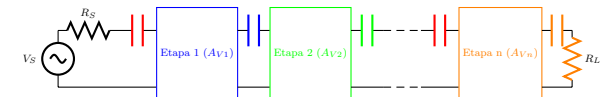
### Análisis en Continua

**Amplificadores RC:** Cada etapa puede analizarse independientemente. No existe dependencia entre los puntos de trabajo de las distintas etapas.



**Amplificadores de continua:** Todas las etapas están inter-relacionadas, es aconsejable seguir un orden para su análisis.

### Ganancia en Pequeña Señal

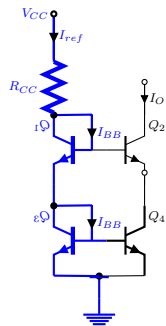


La **ganancia total** es el producto de las ganancias de cada etapa:

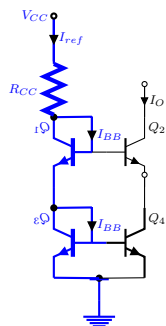
$$A_v = \frac{v_o}{v_s} = \frac{v_o}{v_{o(n-1)}} \cdot \frac{v_{o2}}{v_{o1}}$$

**Ganancia de una etapa:**

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.

## Cargas Activas

## FC y CA con Amplificadores Diferenciales

## Polarización Independiente de $V_{CC}$

## Desplazador de Nivel

## 5. Etapas de Potencia

### Clasificación

**Clase A:** El transistor conduce durante el **ciclo completo**.

**Clase B:** El transistor conduce durante **medio ciclo**.

**Clase AB:** El transistor conduce durante algo **más de medio ciclo**.

**Clase C:** El transistor conduce durante algo **menos de medio ciclo**.

### Definiciones

**Potencia Consumida:** Potencia suministrada por la fuente de alimentación de continua.

$$P_{CC} = \frac{1}{T} \int_0^T V_{CC} \cdot i_C(t) dt = V_{CC} \cdot \langle i_C(t) \rangle$$

**Potencia Entregada a la Carga:** Potencia de la señal amplificada en la carga de alterna.

$$P_O = V_{oeff} \cdot I_{oeff} = V_{Leff} \cdot I_{Leff} = P_L$$

**Potencia disipada por el transistor:** Consumida en el transistor, lo calienta.

$$P_D = P_{CC} - P_O - P_{resto}$$

**Rendimiento de la etapa:** Potencia entregada a la carga, respecto de la consumida de la fuente de alimentación.

$$\eta(\%) = \frac{P_O}{P_{CC}} \cdot 100\%$$

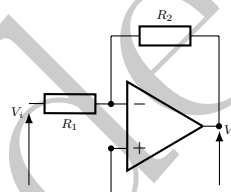
## Amplificadores Clase A

## Amplificadores Clase B y Clase AB

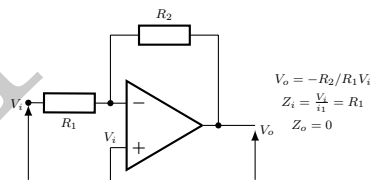
## Consideraciones Térmicas

## 6. Amplificador Operacional

- Impedancia de entrada infinita
- Impedancia de salida nula
- Ganancia diferencial infinita
- CMRR infinito
- Margen dinámico  $\pm V_{CC}$



Amplificador Inversor:

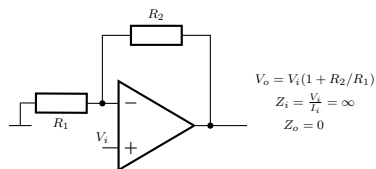


$$V_o = -R_2/R_1 V_i$$

$$Z_i = \frac{V_i}{I_i} = R_1$$

$$Z_o = 0$$

Amplificador No Inversor:

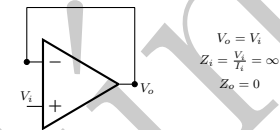


$$V_o = V_i (1 + R_2/R_1)$$

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

$$Z_o = 0$$

Seguidor:



$$V_o = V_i$$

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

$$Z_o = 0$$

## Efectos no ideales



## Corrientes de Polarización

## 7. Realimentación