

04_amplificadores_1etapa_bjt

June 19, 2026

1 Tema 3 - Amplificadores de Una Etapa BJT y Combinacion de Etapas

Electronica General - 2o GIERM

1.1 Objetivos de aprendizaje

- Dominar el modelo de pequena senal del BJT y sus parametros (r_π , g_m , r_o)
 - Analizar el amplificador **Emisor Comun (CE)** y calcular A_v , r_{in} , r_{out}
 - Analizar el amplificador **Colector Comun (CC)** y comprender su papel como buffer
 - Comparar sistematicamente las configuraciones BJT frente a las equivalentes MOS
 - Diseñar combinaciones de etapas: **Cascode** (CE+CB) y **Buffer** (CE+CC)
 - Resolver ejercicios completos con valores tipicos del BJT
-

1.2 1. Modelo de Pequena Senal del BJT

El BJT en zona activa directa se linealiza alrededor del **punto de operacion** (I_C , V_{CE}). El modelo hibrido- π tiene tres parametros fundamentales:

Parametro	Expresion	Significado
g_m	$\frac{I_C}{V_T}$	Transconductancia
r_π	$\frac{\beta}{g_m} = \frac{V_T}{I_B}$	Resistencia de entrada (base-emisor)
r_o	$\frac{V_A}{I_C}$	Resistencia de salida (efecto Early)

Diferencia clave con MOS: El BJT tiene r_π **finita** (tipicamente $\sim 1\text{ k}\Omega$), mientras que el MOSFET tiene impedancia de entrada **infinita** ($r_{gs} \rightarrow \infty$).

1.3 2. Comparacion BJT vs MOS: Parametros de Pequena Senal

Parametro	BJT	MOSFET
Transconductancia	$g_m = \frac{I_C}{V_T} \approx 3.846$ mA/V	$g_m = \frac{2I_D}{V_{EFF}}$ (menor para misma I)
Impedancia de entrada	$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} \approx 1\text{ k}\Omega$ (finita)	$r_{gs} \rightarrow \infty$ (infinita)
Impedancia de salida	$r_o = \frac{V_A}{I_C} \approx 20\text{ k}\Omega$	$r_o = \frac{1}{\lambda I_D}$
Ganancia intrinseca	$g_m \cdot r_o = \frac{V_A}{V_T}$	$g_m \cdot r_o = \frac{2}{\lambda V_{EFF}}$

Ventaja del BJT: Mayor g_m para la misma corriente ($V_T = 26\text{ mV}$ vs $V_{EFF} \sim 200\text{ mV}$ típico).

Ventaja del MOS: Impedancia de entrada infinita (no consume corriente de gate).

1.4 3. Amplificador Emisor Comun (CE)

Es la configuracion **fundamental** del BJT, equivalente al Source Comun (CS) en MOS.

El transistor amplifica la senal de entrada (base) y la invierte en la salida (colector).

1.4.1 Esquema del circuito

- Entrada: senal v_s con resistencia de fuente R_S
- Transistor: BJT en configuracion emisor comun
- Salida: en el nodo de colector, con R_L (o carga activa)

1.4.2 Analisis del Emisor Comun (CE)

Aplicando el modelo hibrido- π al circuito CE:

$$A_v = -\frac{r_\pi}{r_\pi + R_S} \cdot g_m \cdot (r_o \parallel R_L)$$

$$r_{in} = r_\pi$$

$$r_{out} = r_o$$

Donde $r_o \parallel R_L = \frac{r_o \cdot R_L}{r_o + R_L}$

Nota: El signo negativo en A_v indica **inversion de fase** (igual que en CS con MOS).

1.5 4. Amplificador Colector Comun (CC) - Seguidor de Emisor

Es la configuracion **buffer** del BJT, equivalente al Drain Comun (CD) en MOS.

La salida se toma del emisor. El colector va directamente a V_{CC} (AC ground).

1.5.1 Caracteristicas principales:

- Ganancia de voltaje $A_v \approx 1$ (pero ligeramente menor)
- **Alta** impedancia de entrada
- **Baja** impedancia de salida
- **No invierte** la senal

1.5.2 Analisis del Colector Comun (CC)

Aplicando el modelo hibrido- π al circuito CC:

$$A_v \approx \frac{1}{1 + \frac{R_S + r_\pi}{(1 + g_m r_\pi)(r_o \parallel R_L)}}$$

$$r_{in} = r_\pi + (1 + g_m r_\pi)(r_o \parallel R_L)$$

$$r_{out} = \frac{R_S + r_\pi}{1 + g_m r_\pi}$$

Observacion: La ganancia es cercana a 1, pero la r_π finita del BJT reduce la impedancia de entrada respecto al caso MOS (donde $r_{in} \rightarrow \infty$).

1.6 5. Cargas Activas: Espejo de Corriente como Carga

Sustituir R_L por un **espejo de corriente** (carga activa) aumenta drasticamente la ganancia.

Con carga activa, $R_L \rightarrow r_{o,carga}$ (resistencia de salida del espejo), que es mucho mayor.

$$A_v^{\text{activa}} = -g_m \cdot (r_{o1} \parallel r_{o,carga})$$

Si $r_{o,carga} \approx r_{o1}$:

$$A_v^{\text{activa}} \approx -\frac{g_m \cdot r_o}{2}$$

Con carga activa, la ganancia se acerca al limite intrinseco $g_m \cdot r_o$, que para el BJT es $V_A/V_T \approx 77$ (con $V_A = 2$ V).

1.7 6. Combinacion de Etapas: Cascode (CE + CB)

El **cascode** combina un Emisor Comun (CE) con un Base Comun (CB) en serie. Es equivalente al CS + CG en tecnologia MOS.

1.7.1 Objetivo: Aumentar r_{out}

La etapa CB “mira” hacia el emisor de Q2 y ve la r_o del CE amplificada:

$$r_{out}^{cascode} \approx g_{m2} \cdot r_{o2} \cdot r_{o1}$$

Esto resulta en una resistencia de salida **mucho mayor** que un CE simple.

1.7.2 Ganancia del Cascode

Con carga activa cascode:

$$A_v^{cascode} \approx -g_m \cdot (r_{out,cascode} \parallel r_{out,carga_cascode})$$

1.8 7. Combinacion de Etapas: Buffer (CE + CC)

El **buffer** combina un Emisor Comun (CE) para ganancia con un Colector Comun (CC) para reducir la impedancia de salida.

Es equivalente al CS + CD en tecnologia MOS.

1.8.1 Ventajas

- Ganancia de voltaje elevada (proporcionada por CE)
 - Impedancia de salida baja (proporcionada por CC)
 - Ideal para **driving low-impedance loads**
-

1.9 8. Tabla Resumen: Todas las Configuraciones

Valores calculados con: $I_C = 100 \mu A$, $V_T = 26 \text{ mV}$, $\beta = 100$, $V_A = 2 \text{ V}$, $R_S = 100 \Omega$, $R_L = 5 \text{ k}\Omega$

1.10 9. Ejercicios Resueltos

1.10.1 Ejercicio 1: Analisis CE con valores dados

Enunciado: Un BJT con $I_C = 200 \mu A$, $\beta = 150$, $V_A = 5 \text{ V}$ se usa en configuracion CE con $R_S = 50 \Omega$ y $R_L = 10 \text{ k}\Omega$. Calcular g_m , r_π , r_o , A_v , r_{in} , r_{out} .

1.10.2 Ejercicio 2: Analisis CC (Seguidor de Emisor)

Enunciado: Con los mismos parametros del Ejercicio 1, configurar el BJT como colector comun. Calcular A_v , r_{in} , r_{out} y verificar que actua como buffer.

1.10.3 Ejercicio 3: Cascode BJT

Enunciado: Dos transistores identicos ($I_C = 100 \mu A$, $\beta = 100$, $V_A = 2 \text{ V}$) forman un cascode. Calcular r_{out} del cascode y comparar con CE simple.

1.10.4 Ejercicio 4: Diseno de Buffer CE+CC

Enunciado: Se necesita un amplificador con $|A_v| > 10$ y $r_{out} < 500 \Omega$. Usar una combinacion CE+CC con $I_C = 500 \mu A$, $\beta = 200$, $V_A = 10 \text{ V}$, $R_S = 100 \Omega$, $R_L = 2 k\Omega$. Verificar si cumple las especificaciones.

1.11 10. Catalogo de Configuraciones BJT

Referencia rapida de las 6 configuraciones principales.

1.12 11. Comparacion Final: Amplificadores MOS vs BJT

Aspecto	MOS	BJT
g_m para misma I	Menor ($2I_D/V_{EFF}$)	Mayor (I_C/V_T)
Impedancia entrada	∞ (ventaja)	r_π finita
CS / CE A_v	$-g_m(r_o \parallel R_L)$	$-\frac{r_\pi}{r_\pi + R_S} g_m(r_o \parallel R_L)$
CD / CC A_v	≈ 1	≈ 1 (algo menor por r_π)
Cascode r_{out}	$(g_m r_o) r_o$	$(g_m r_o) r_o$
Consumo de gate/base	Cero (MOS)	$I_B = I_C/\beta$ (BJT)

Conclusion: El BJT ofrece mayor g_m (y por tanto mayor ganancia) para la misma corriente de polarizacion, pero el MOS tiene impedancia de entrada infinita. La eleccion depende de la aplicacion.

1.13 12. Resumen de Formulas Clave

1.13.1 Parametros del BJT

$$g_m = \frac{I_C}{V_T}, \quad r_\pi = \frac{\beta}{g_m}, \quad r_o = \frac{V_A}{I_C}$$

1.13.2 Emisor Comun (CE)

$$A_v = -\frac{r_\pi}{r_\pi + R_S} \cdot g_m \cdot (r_o \parallel R_L)$$
$$r_{in} = r_\pi, \quad r_{out} = r_o$$

1.13.3 Colector Comun (CC)

$$A_v \approx \frac{1}{1 + \frac{R_S + r_\pi}{(1 + g_m r_\pi)(r_o \parallel R_L)}}$$

$$r_{in} = r_\pi + (1 + g_m r_\pi)(r_o \parallel R_L), \quad r_{out} = \frac{R_S + r_\pi}{1 + g_m r_\pi}$$

1.13.4 Cascode (CE + CB)

$$r_{out}^{\text{cascode}} = g_m \cdot r_o \cdot r_o$$

1.13.5 Carga Activa

$$A_v^{\text{activa}} \approx -\frac{g_m \cdot r_o}{2}$$