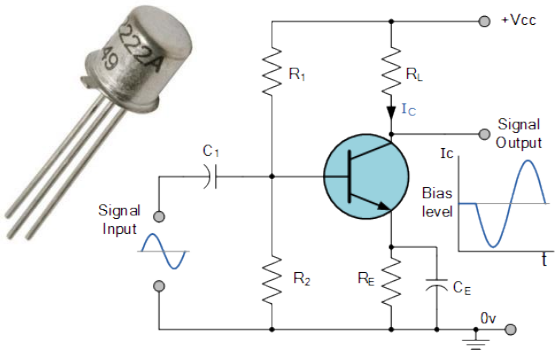
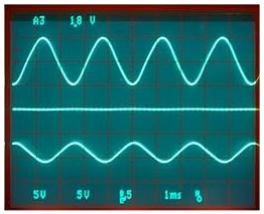
Departamento de Electrónica
Universidad de Alcalá

Tecnología Electrónica

Capítulo 4: **Configuraciones básicas de amplificación con TRTs**





Versión: 2017/02/20

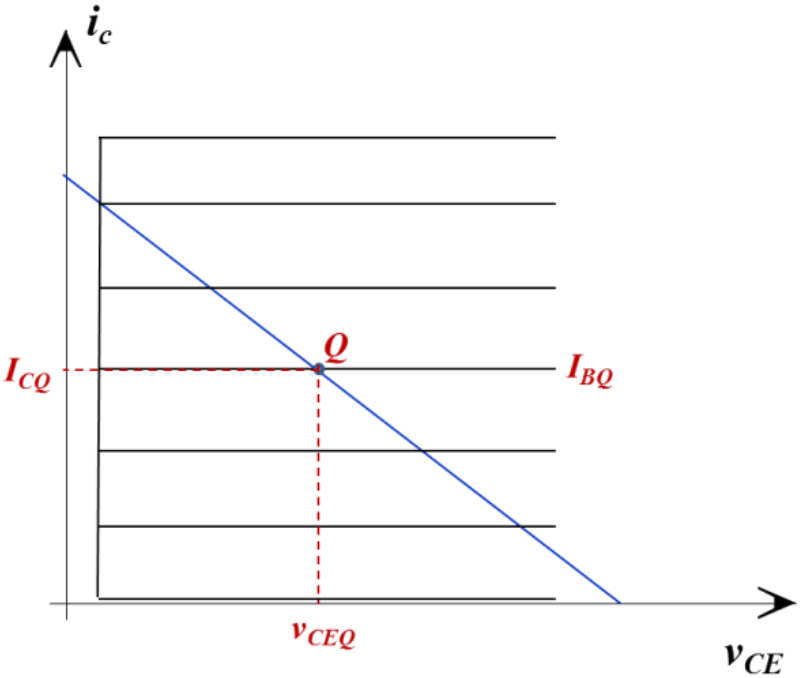
Índice

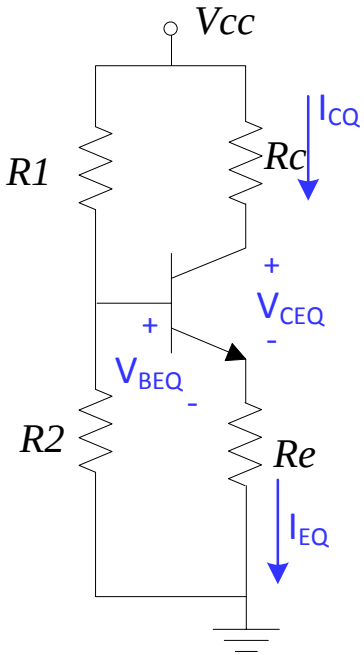
1. Introducción
   - Polarización adecuada
   - Configuraciones básicas de amplificación
2. Amplificación en emisor común
   - Circuito equivalente en pequeña señal
   - Parámetros: ganancias e impedancias terminales
3. Amplificación en base común
   - Análisis en pequeña señal
4. Amplificación en colector común
   - Análisis en pequeña señal
5. Comparativa
6. Amplificador EC con resistor en emisor
7. Conclusiones

1-Introducción

Polarización adecuada: criterios necesarios.

- Criterios para la polarización de un TRT como amplificador:
  - Punto Q en su zona ***activa*** (BJT) o saturación (FET)
  - Elegido para obtener las propiedades deseadas en señal variable
  - Asegurando un valor ***estable*** de Q, esto es: $\boldsymbol{I_{CQ}}$ (BJT), $\boldsymbol{I_{DQ}}$ (FET)
    - *Circuitos de polarización con generadores de corriente o con Re (ó Rs).*



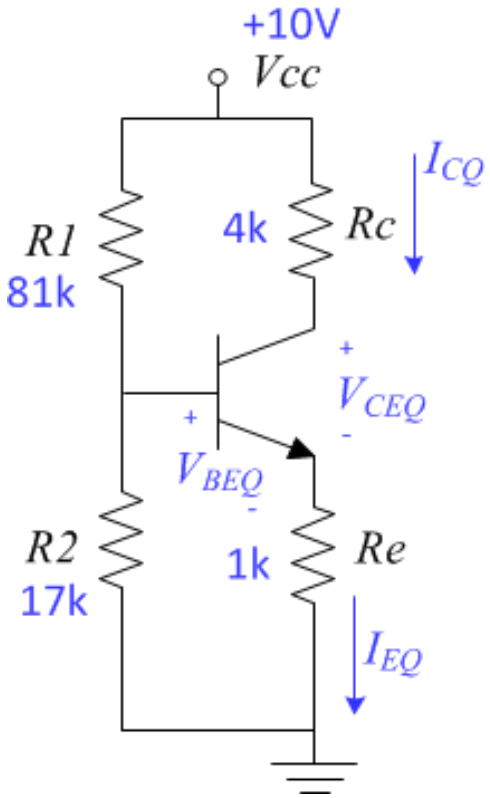


Para este estudio partimos de un mismo circuito de polarización discreto, con una sola alimentación y cuatro resistores.

1-Introducción

Polarización adecuada: ejemplo de estudio

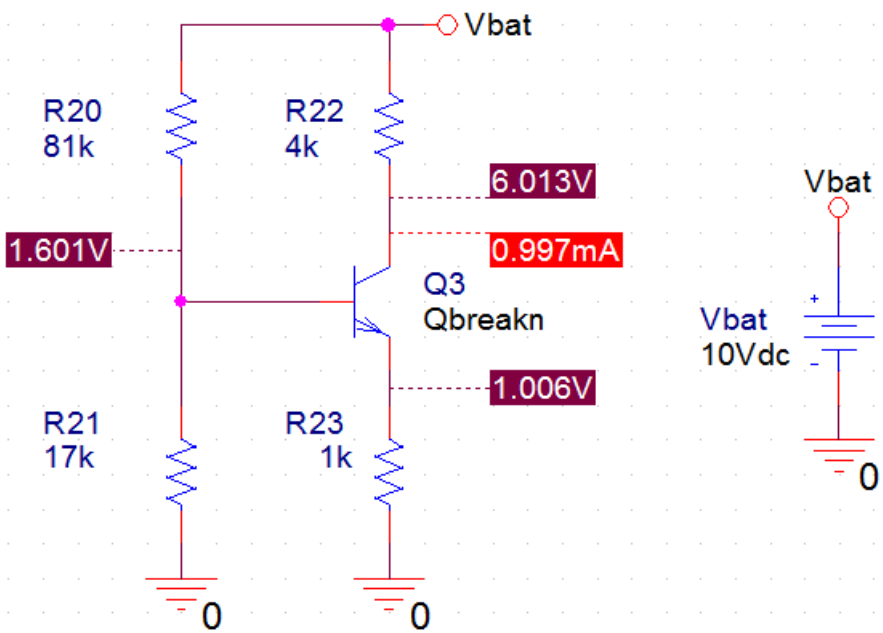
- Ejemplo de diseño: se fija Q a (I_{CQ}, V_{CEQ}) ≈ (1mA, 5V)



PSpice

- Comprobación del punto de trabajo con PSpice. Datos del transistor:

  BJT con β=100 y V_{AF} =100V



- Dimensionado de los resistores del cto. de polarización

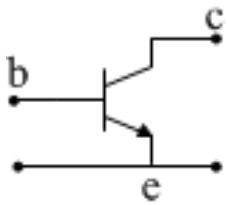
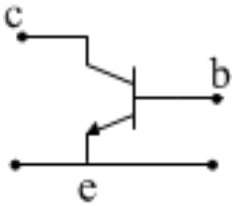
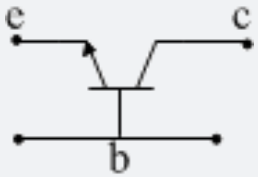
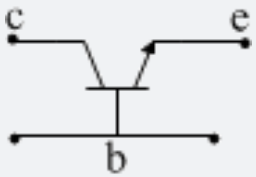
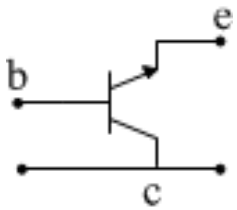
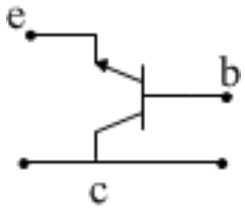
- Modelo en p.s. del BJT:

  g_m =0,04 (A/V); r_π =2,5 kΩ; r_o =100 kΩ

1-Introducción

Configuraciones básicas

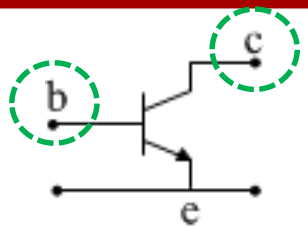
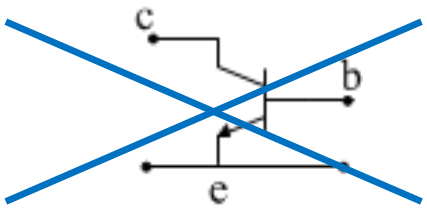
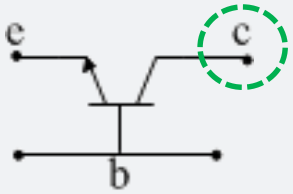
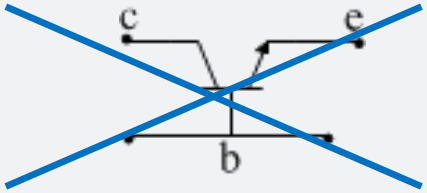
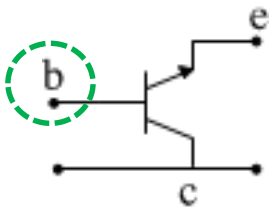
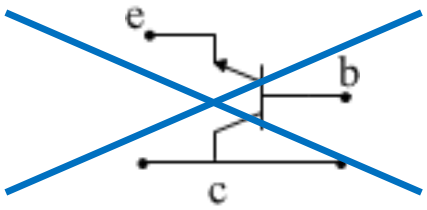
- Tres terminales y dos puertos (E y S) → un terminal común
  - *Las configuraciones básicas de amplificación dependen de cómo se conectan los tres terminales del TRT a los polos de entrada y salida.*

Nombre	Configuración	Configuración errónea
Emisor común:		
Base común:		
Colector común:		

1-Introducción

Configuraciones básicas: combinaciones válidas

- BJT's → los terminales ***preferentes***: **base**=entrada, **colector**=salida
  - *Las otras combinaciones no son satisfactorias*
  - *En el caso de los FET:* ***puerta*** *= entrada,* ***drenador*** *= salida.*

Nombre	Configuración	Configuración errónea
Emisor común:		
Base común:		
Colector común:		

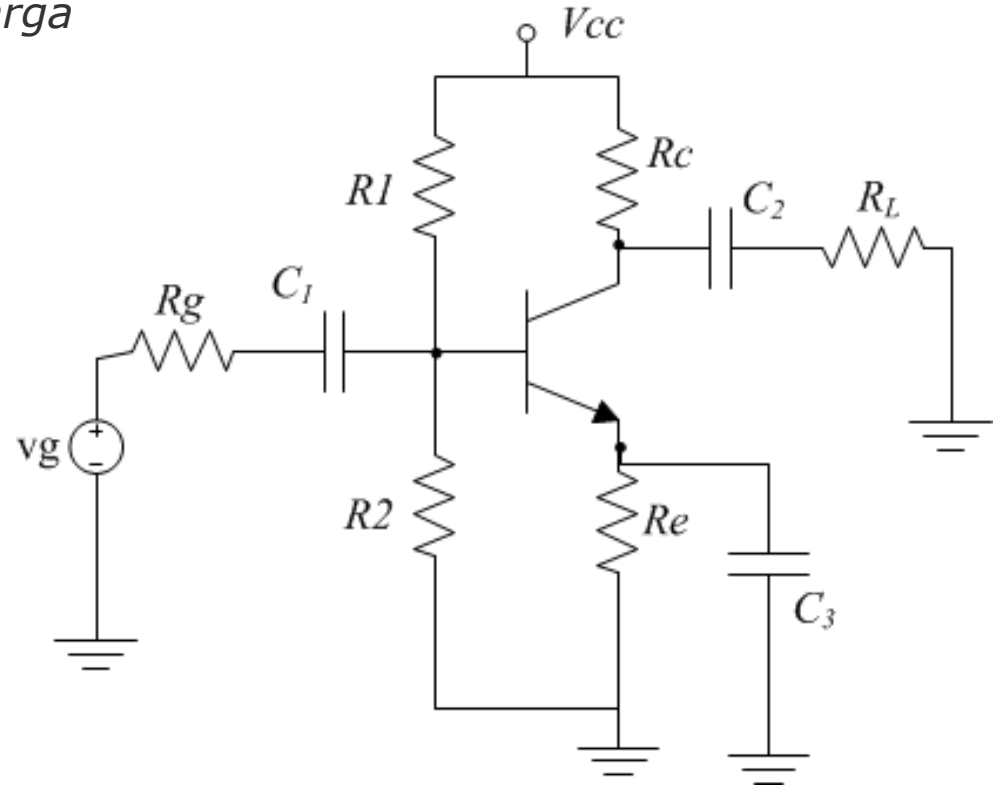
2- Amplificación en emisor común (EC)

Circuito de amplificación: acoplos y desacoplos

1. Primer requisito cumplido: TRT polarizado en el Q deseado
2. Para configurarlo en señal variable como ***EC***, se necesita:
   - *Entrada por **BASE*** ← *Generador de señal*
   - *Salida por **COLECTOR*** ← *Carga*

- Acoplo de señal:
  - Para **generador** y **carga**
  - No modifica el punto Q
  - ➔ Capacidades ***C1*** y ***C2***

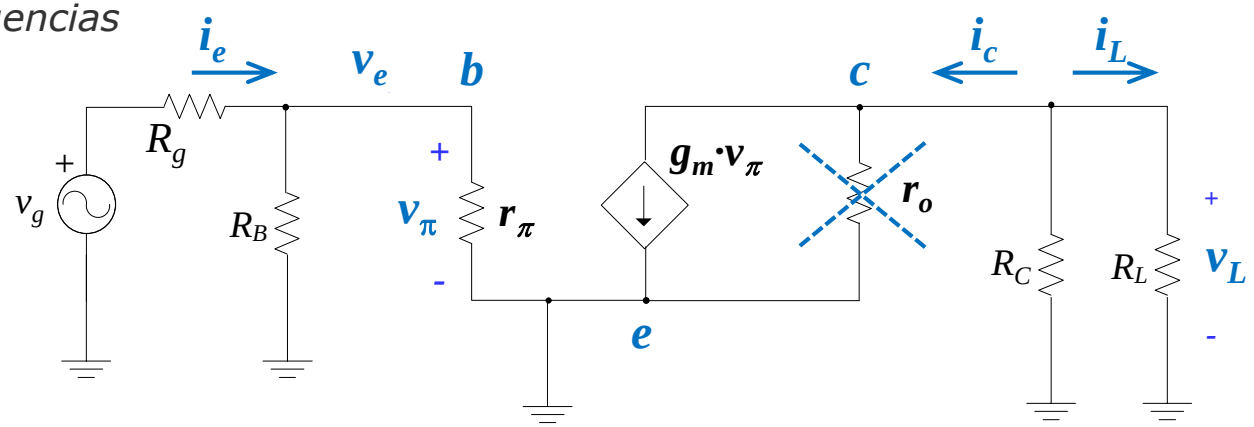
- Desacoplo de Re:
  - Pone el emisor a *masa* para señal.
  - Re *no aparecerá* en el circuito en señal ***C3*** ➔ ***des***-acoplo



2- Amplificación en emisor común (EC)

Características en pequeña señal. Ganancias

- Circuito del amplificador para pequeña señal y en frecuencias medias
  - *Las capacidades C1, C2 y C3 (Ce) se comportan como cortocircuitos para estas frecuencias*



¡*ojo*!

$r_O >> R_C$

→ *se puede simplificar el circuito*

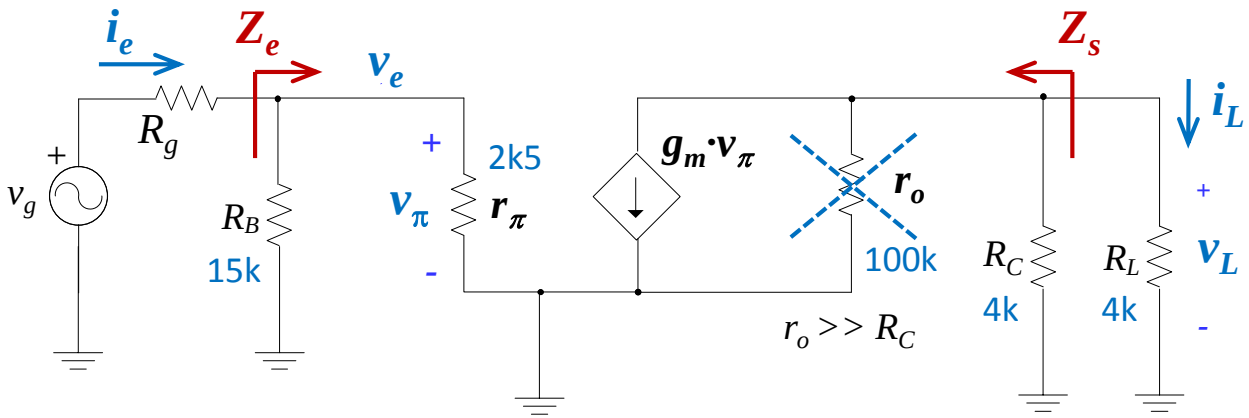
$$A_V = \frac{v_L}{v_e}\begin{cases} v_e = v_\pi = v_{be} \\ v_L = -g_m \cdot v_\pi \cdot (R_C \parallel R_L) \end{cases} A_V = -g_m \cdot (R_C \parallel R_L) \rightarrow A_V \approx -100\left(\frac{V}{V}\right)$$

Órdenes de magnitud

$$A_I = \frac{i_L}{i_e}\begin{cases} i_e = \dfrac{v_\pi}{(R_B \parallel r_\pi)} \\ i_L = -g_m \cdot v_\pi \dfrac{R_C}{R_C + R_L} \end{cases} A_I = -g_m \cdot \frac{R_C}{R_C + R_L}(R_B \parallel r_\pi) \rightarrow A_I \approx -100\left(\frac{A}{A}\right)$$

2- Amplificación en emisor común (EC)

Ganancia de potencia. Impedancias terminales



$$A_P = \frac{P_L}{P_e} = \frac{v_L}{v_e}\frac{i_L}{i_e} = A_V A_I$$

$$\rightarrow A_P \approx +10^4 \left(\frac{W}{W}\right)$$

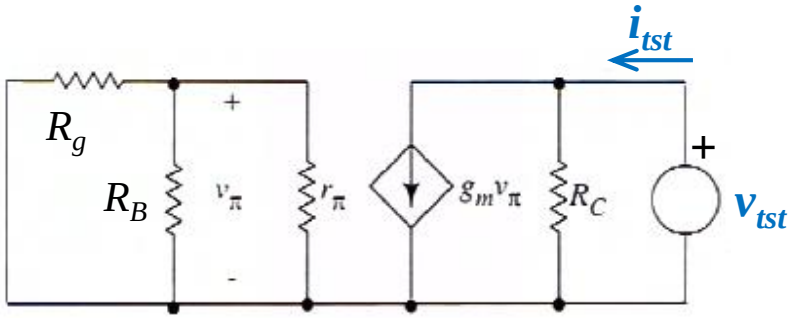
$$Z_e = \frac{v_e}{i_e} = (R_B \parallel r_\pi) \rightarrow [k\Omega]$$

$$Z_S = \left.\frac{v_{tst}}{i_{tst}}\right|_{v_g=0} = R_C \rightarrow [k\Omega]$$

Órdenes de magnitud

¡ *Recuerde las condiciones de medida de la impedancia de salida* !

$v_g=0$



- Ejercicios de estudio:

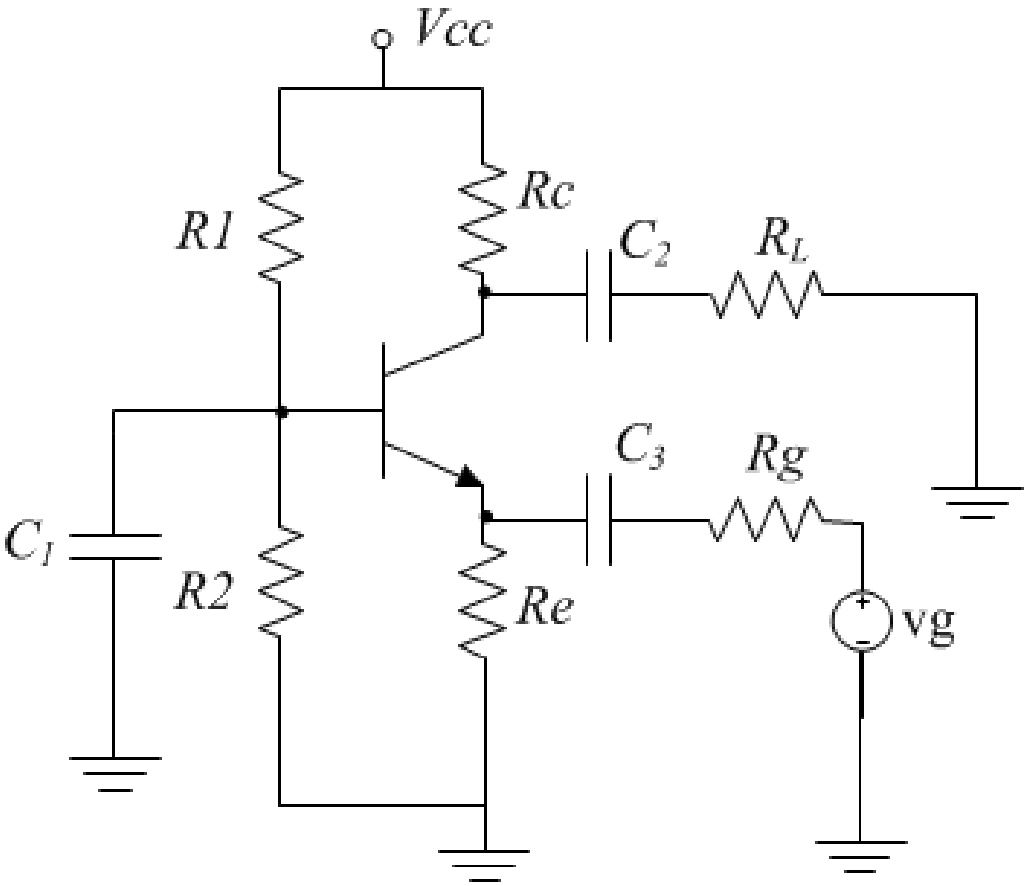
  Para ésta y las configuraciones que siguen, obtenga los ***valores prácticos*** *de ganancias e impedancias terminales. Datos adicionales: R_L=4kΩ y R_g=100Ω*

3- Amplificación en base común (BC)

Configurado por los acoplos y desacoplos en señal

- Punto de partida: BJT adecuadamente polarizado
  - *Mismo punto Q (mismo circuito)*
  - *Entrada por EMISOR*
  - *Salida por* ***COLECTOR***

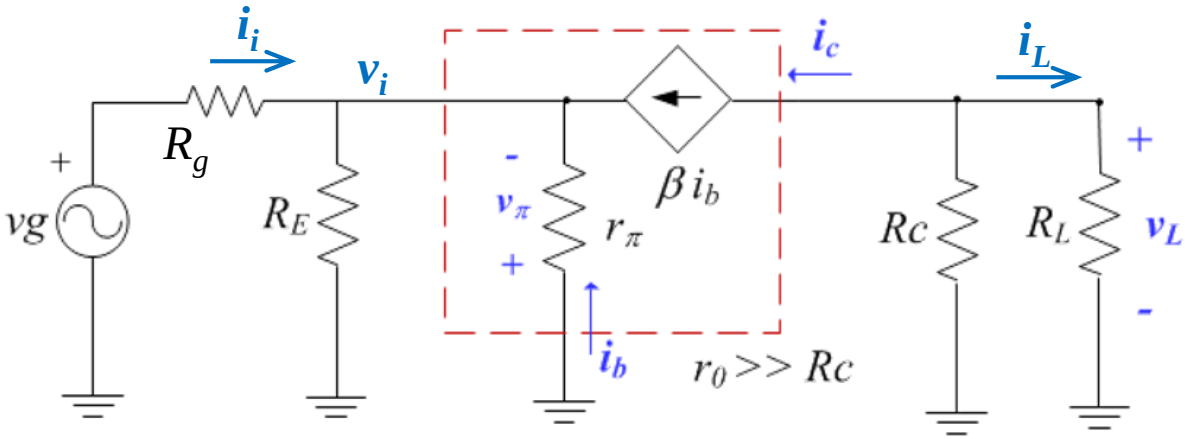
- A destacar
  - *Observe cómo el circuito en señal se puede reconfigurar con una ubicación apropiada de los elementos de* **acoplo** *y* **desacoplo***…*



3- Amplificación en base común (BC)

Obtención de las ganancias en p.s.

- El análisis se simplifica con un modelo alternativo para el BJT → $\beta \cdot i_b$



$$A_v = \frac{v_L}{v_i}\begin{cases} v_L = -\beta \cdot i_b \cdot (R_C \parallel R_L) \\ i_b = \dfrac{v_\pi}{r_\pi} = -\dfrac{v_i}{r_\pi} \end{cases} A_v = g_m \cdot (R_C \parallel R_L)$$

$$\rightarrow A_v \approx +100\left(\frac{V}{V}\right)$$

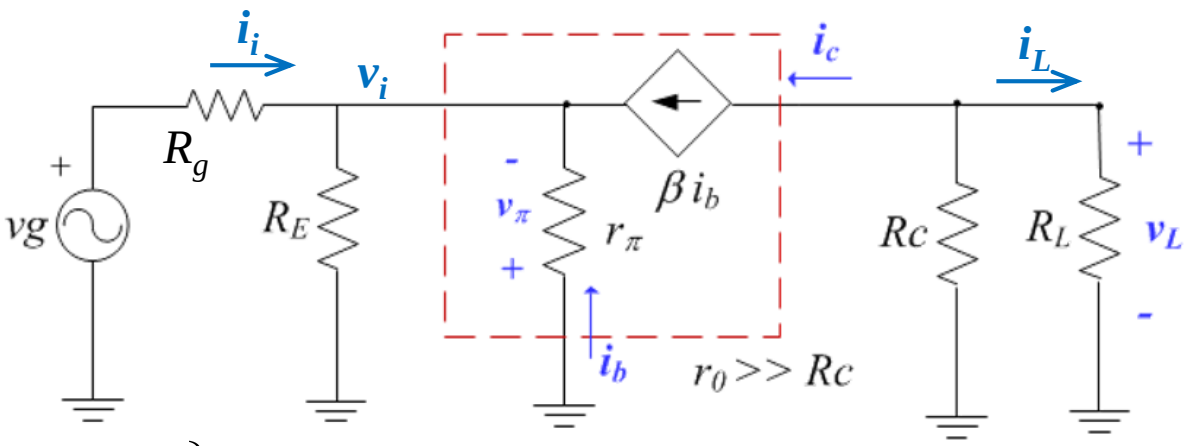
$$A_P = A_V \cdot A_I \approx +100\left(\frac{W}{W}\right)$$

$$A_i = \frac{i_L}{i_i}\begin{cases} i_i = \dfrac{v_i}{R_E} - (\beta+1)\cdot i_b = -i_b\left(\dfrac{r_\pi}{R_E} + (\beta+1)\right) \\ i_L = -\beta \cdot i_b \dfrac{R_C}{R_C + R_L} \end{cases} A_i \underset{\beta >> 1}{=} \frac{R_C}{R_C + R_L} \cdot \frac{R_E}{R_E + \dfrac{1}{g_m}}$$

$$\rightarrow A_I \approx +1\left(\frac{A}{A}\right)$$

3- Amplificación en base común (BC)

Obtención de las impedancias terminales



$$\left.\begin{aligned} Z_e &= \frac{v_i}{i_i} \\ i_i &= \frac{v_i}{R_E} + (\beta+1)\cdot\frac{v_i}{r_\pi} \end{aligned}\right\} Z_e = \left(R_E \parallel \frac{1}{g_m}\right) = \frac{R_E}{1+g_m\cdot R_E} \quad \rightarrow [10\Omega]\downarrow\downarrow$$

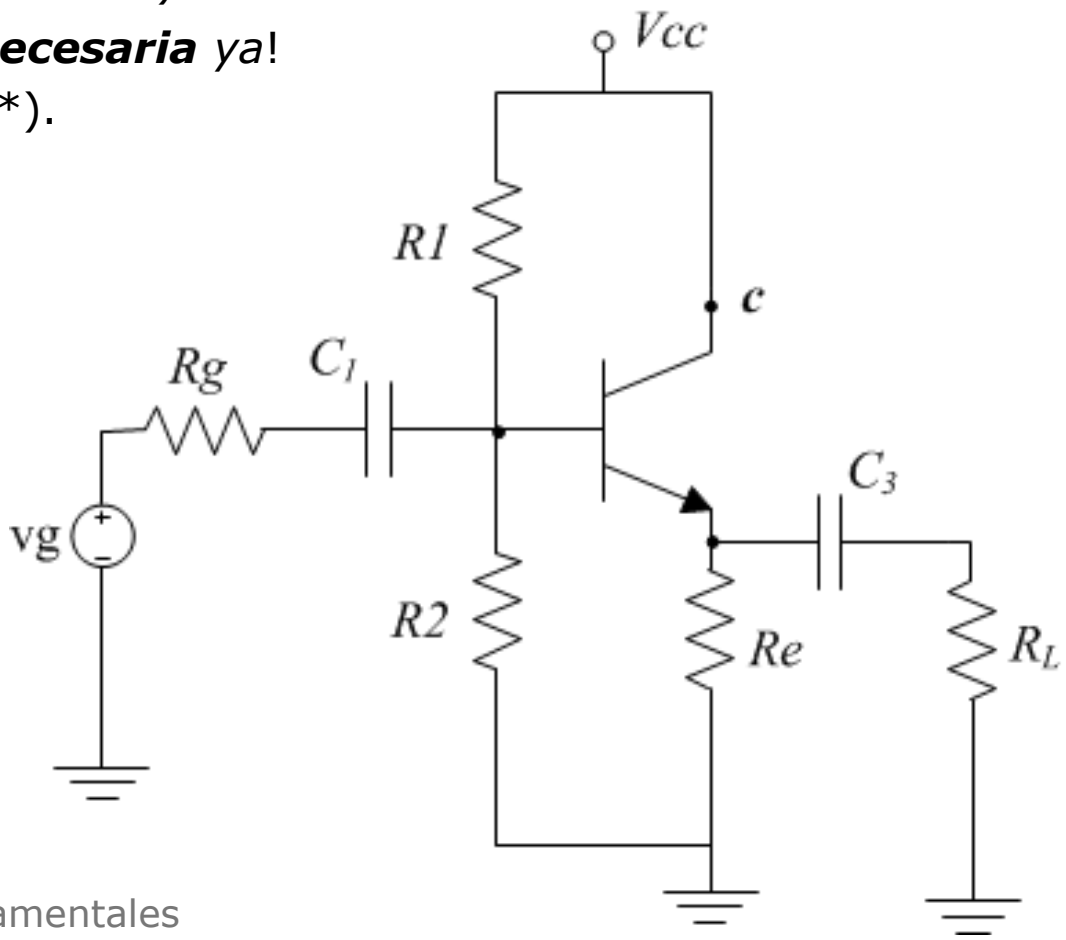
¡ *Recuerde las condiciones de medida de la impedancia de salida* !

$$\left.\begin{aligned} Z_s &= \left.\frac{v_{tst}}{i_{tst}}\right|_{v_g=0} \\ i_{tst} &= \frac{v_{tst}}{R_C} \end{aligned}\right\} Z_s = R_C \quad \rightarrow [k\Omega]$$

4- Amplificación en colector común

Configurado por los acoplos y desacoplos en señal

- Punto de partida: BJT adecuadamente polarizado
  - Mismo punto Q (mismo circuito)
    - i*pero la* Rc ***no es necesaria*** *ya*!
    - Justifique por qué (*).
  - Entrada por **BASE**
  - Salida por EMISOR

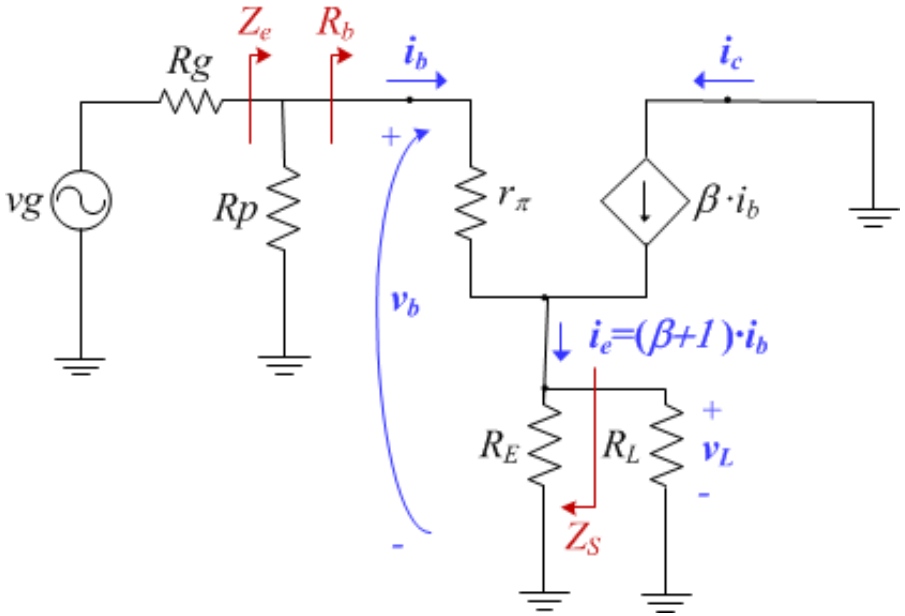


(*) Revise qué resistores son fundamentales para mantener el punto Q ***estable***.

4- Amplificación en colector común

Obtención de las ganancias

- Modelo alternativo para el BJT:
  - *En función de i_b y β, se facilita el análisis del cto.*
  - *Fijemos la atención en la* ***R_b*** *…*



$$R_b = \frac{v_b}{i_b} = \frac{i_b \cdot r_\pi + (\beta+1)\cdot i_b \cdot (R_E \parallel R_L)}{i_b} =$$
$$= r_\pi + (\beta+1)\cdot(R_E \parallel R_L)$$

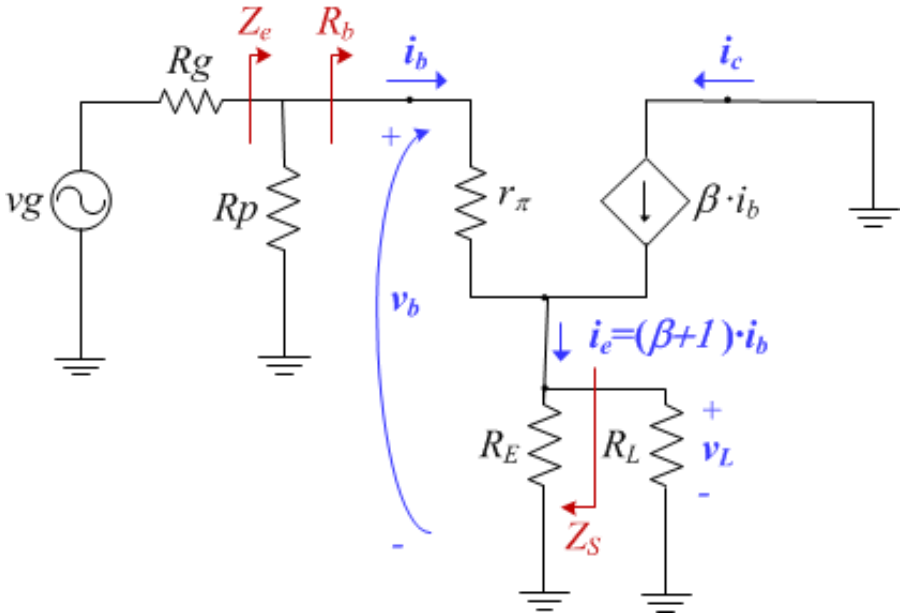
$$A_V = \frac{v_L}{v_e}\begin{cases} v_L = (\beta+1)\cdot i_b \cdot (R_E \parallel R_L) \\ v_e = i_b \cdot R_b \end{cases} A_V = \frac{(\beta+1)(R_E \parallel R_L)}{r_\pi + (\beta+1)(R_E \parallel R_L)} \quad \rightarrow A_V \approx +1\left(\frac{V}{V}\right)$$

$$A_I = \frac{i_L}{i_e}\begin{cases} i_L = (\beta+1)\cdot i_b \cdot \dfrac{R_E}{R_E + R_L} \\ i_b = i_e \dfrac{R_p}{R_p + R_b} \end{cases} A_I = \frac{R_p}{R_p + R_b}(\beta+1)\frac{R_E}{R_E + R_L} \quad \rightarrow A_I \approx +100\left(\frac{A}{A}\right)$$

4- Amplificación en colector común

Impedancias terminales: escalado de impedancias

- El amplificador en CC no es unilateral:
  - *La R_L "se ve" en la Z_e*
  - *La R_g "se ve" en la Z_s*
  - *Ambas Z son función de β …*



$$Z_e = (R_p \parallel R_b) \quad \rightarrow [100k\Omega]$$

$$R_b = r_\pi + (\beta+1)\cdot(R_E \parallel R_L)$$

$$Z_S = (R_E \parallel R_{em}) \quad \rightarrow R_{em} \rightarrow [10\Omega]$$

$$R_{em} = \frac{r_\pi + (R_p \parallel R_g)}{(\beta+1)}$$

- ***Escalado* de impedancias:**
  - *Desde la entrada, la R que hay **tras** el emisor "**se ve multiplicada**" por (β+1) …*
  - *Desde la salida, la R que hay **antes** del emisor "**se ve dividida**" por (β+1)*

5- Comparativa

Amplificadores básicos con un Transistor bipolar

- Para un punto de trabajo dado y con distintas configuraciones en AC:

BJT	Z_i	Z_0	G_v	G_i	G_p	
EC	Media 1kΩ	Alta 10kΩ	Alta -100	Alta -100	Muy alta 10^4	**A. Potencia**
BC	Muy baja 10Ω	Alta 10kΩ	Alta 100	No +1	Alta 100	**A. Corriente**
CC	Muy alta 100kΩ	Muy baja 10Ω	No +1	Alta 100	Alta 100	**A. Tensión (Seguidor)**

- Observaciones y conclusiones:
  - *Esta comparativa contempla solo* **órdenes de magnitud**.
    - Los valores concretos de estas características dependen de los valores prácticos en cada circuito: polarización, parámetros en p.s., etc.
  - *Aún así, proporciona información sobre los puntos fuertes y débiles de cada configuración:*
    - No existe una ***configuración óptima***, para todos los criterios vistos.

5- Comparativa

Amplificadores básicos: con transistores MOSFET

- Para un punto de trabajo dado y con distintas configuraciones en AC.
  - *Los resultados son similares a los del BJT, con las siguientes equivalencias*
    - Fuente común SC → EC; Puerta c. GC → BC; Drenador c. DC → CC
  - *Existen diferencias apreciables en las impedancias de entrada*
    - Ausencia de resistencia de entrada en el modelo del FET
    - En DC, al ser I_G =0, pueden usarse resistores de polarización de puerta de muy alto valor.

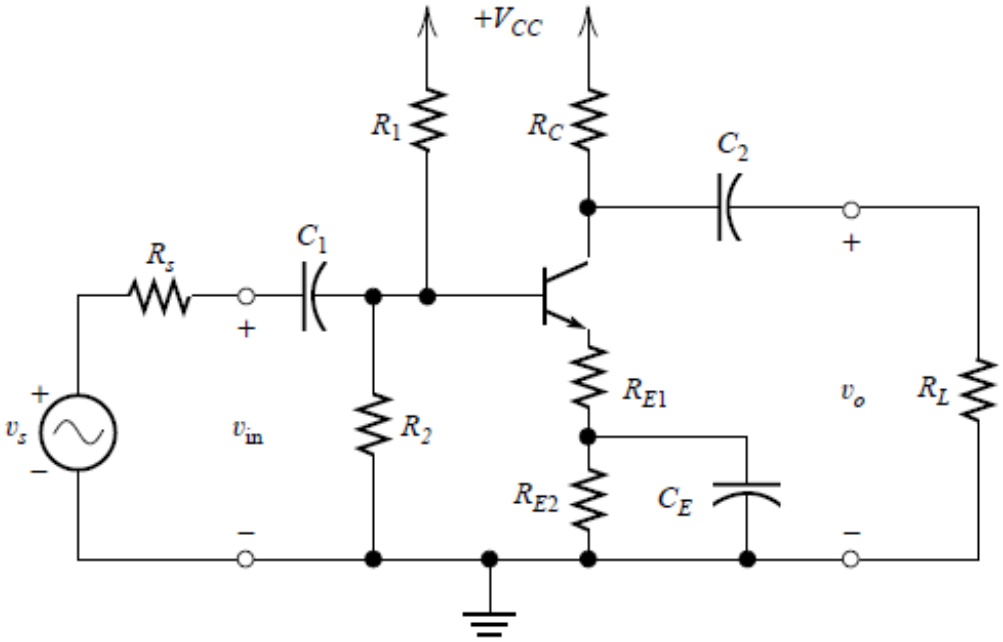
FET	Z_i	Z_0	G_v	G_i	G_p	
SC	Alta 10kΩ	Alta 10kΩ	Alta -100	Alta -100	Muy alta 10^4	**A. Potencia**
GC	Muy baja 10Ω	Alta 10kΩ	Alta 100	No +1	Alta 100	**A. Corriente**
DC	Muy alta MΩ	Muy baja 10Ω	No +1	Alta 100	Alta 100	**A. Tensión (Seguidor)**

6- Amplificador EC con R_E

Una variante interesante

- El amplificador en EC (SC) es muy usado como etapa amplificadora → pero tiene un margen lineal ***muy reducido***.
  - En el BJT, la tensión en b-e (v_π) no puede superar los 5mV ⇒ $v_{out} \leq$ **0,5V**

- Mejor margen dinámico(*) se obtiene con una R_E en señal:



- En señal, es un EC:
  - Entrada por **BASE** y salida por **COLECTOR**.

- Desacoplo ***parcial*** de $\boldsymbol{R_E}$:
  - En señal variable, se puede desacoplar con C_E parte de ella (o no).
  - En **DC** se tiene una R_E mayor, para **mejor estabilidad** de Q.

(*) *máxima variación admisible en funcionamiento*

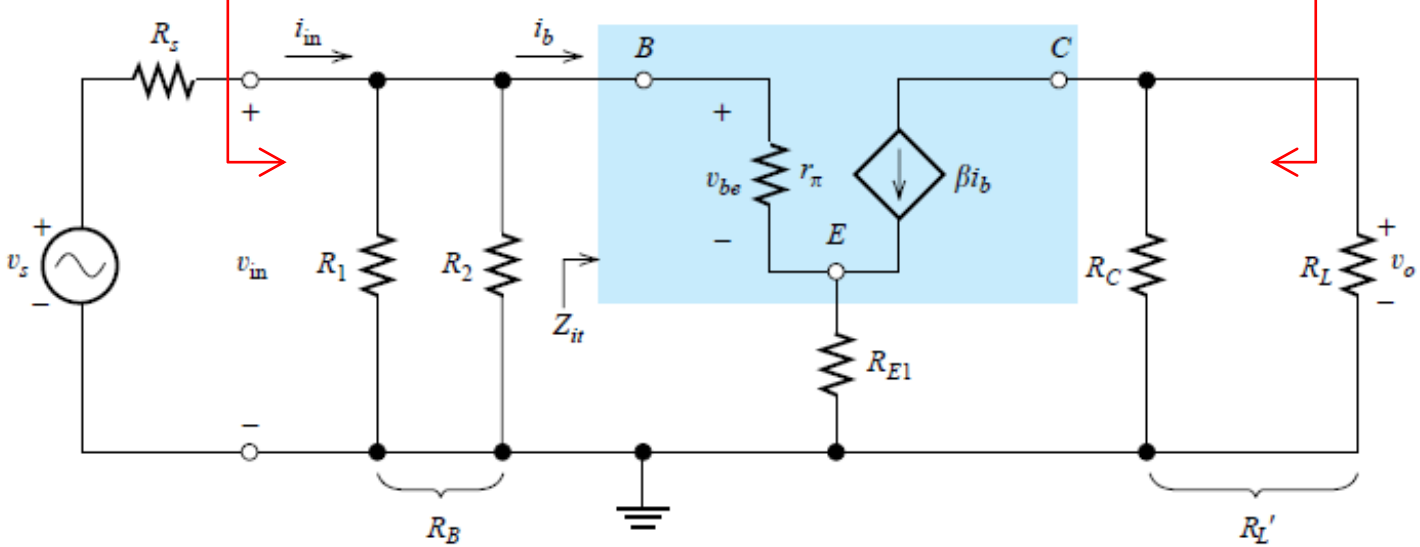
6- Amplificador EC con R_E

Parámetros en señal variable. Comparativa.

- Comparte ciertas propiedades con el CC:
  - La impedancia de entrada aumenta → *escalado de la R_{E1} en base.*
  - ***Mejores*** propiedades en señal → por la ***realimentación*** de $\boldsymbol{R_{E1}}$

$$Z_e \approx R_B \,||\, [r_\pi + (\beta+1)\cdot R_{E1}] \quad \rightarrow \text{ ¡aumenta! } \uparrow\uparrow$$

$$Z_s \approx R_C \quad \rightarrow \approx$$



$$A_V = \frac{v_o}{v_{in}} = \frac{-\beta\cdot(R_C \,||\, R_L)}{r_\pi + (\beta+1)\cdot R_{E1}} \quad \rightarrow \text{ si } \left\{ \begin{array}{c} r_\pi << (\beta+1)\cdot R_{E1} \\ \beta >> 1 \end{array} \right\} \rightarrow \boxed{A_V \approx \frac{-(R_C \,||\, R_L)}{R_{E1}}} \quad \rightarrow \neq f(\beta) \text{ !!}$$

7-Conclusiones

- Configuraciones básicas de amplificación
  - El terminal común da nombre a la configuración
  - Tres posibilidades válidas, según se conecten generador y carga (entrada y salida) a los terminales del dispositivo

- La red de polarización puede independizarse de la red en señal
  - Usando elementos de acoplo/desacoplo en AC
    - *Capacidades, transformadores, etc.*
  - Mayor flexibilidad → pero **a costa de las bajas frecuencias**
    - *<u>Observación</u>: La respuesta en frecuencia se estudiará posteriormente*

- No hay ninguna configuración de amplificador ***ideal***
  - Algunos parámetros son buenos, pero nunca todos a la vez
  - Normalmente se necesitarán **una o varias etapas** de **dos o más TRTs** para poder cumplir las especificaciones dadas.

Referencias

- Básicas:
  - Malik: secciones 7.4, 7.5 y 7.6
- Complementarias:
  - Hambley: sección 4.7
  - Sedra: secciones 4.7 (MOS) y 5.7 (BJT)

- Materiales:
  - Elaborados por los profesores de la materia.
  - Algunas gráficas extraídas de los textos referenciados.

Control de revisiones

- 2017-02-20: versión preliminar.