

ELECTRONICA APLICADA I

Profesor Titular Dr. Ing. Guillermo Riva

Profesor Adjunto Ing. Martin Guido

- **Parámetros Híbridos (Parte 1)**

Introducción.

- Parámetros híbridos.
- Modelo emisor común.
- Definición de parámetros híbridos para emisor común.
- Determinación del valor de los parámetros híbridos a partir de las curvas del transistor.
- Circuito equivalente de etapa amplificadora emisor común.
- Impedancia de entrada y salida.
- Ejemplo.
- Ganancias de corriente, tensión y potencia.
- Concepto de reflexión de Impedancia.
- Ejemplo.

Parámetros Híbridos.

Introducción

Para determinar las carecteristicas de un amplificador se sustituye el transisstor por un modelo para pequeña señal que nos permite obtener un circuito equivalente.

*Luego aplicando las leyes de teoria de los circuito podemos extraer las caracteristicas deseadas del mismo como ser :
Ganacias de corriente, tensión, inpedancia de entrada y salida etc.*

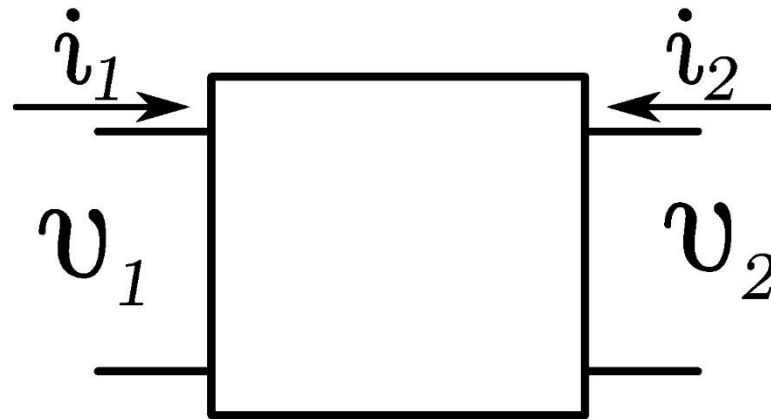
Parámetros Híbridos.

En la tabla siguiente observamos las características de las tres configuraciones típicas.

	Emisor Común	Base Común	Colector Común
A_V	<i>Alta</i>	<i>Alta(+)</i>	<i>Baja(≈ 1)</i>
A_i	<i>Alta</i>	<i>Atenua</i>	<i>Alta</i>
Z_i	<i>Media</i>	<i>Baja</i>	<i>Alta</i>
Z_o	<i>Media</i>	<i>Media</i>	<i>Baja</i>
Inversión de Fase	Si	No	No
Aplicaciones	Universal.	Amplificador de RF.	Amplificadores de Aislamiento.

Parámetros Híbridos.

Se parte de la teoría del cuadripolo o redes de dos pares de terminales:



En general:

$$v_1 = h_{11}i_1 + h_{12}v_2$$

$$i_2 = h_{21}i_1 + h_{22}v_2$$

Para transistores:

$$v_1 = h_i i_1 + h_r v_2$$

$$i_2 = h_f i_1 + h_o v_2$$

Parámetros Híbridos.

Definición :

$$h_i = \left. \frac{v_1}{i_1} \right|_{v_2=0}$$

$$h_r = \left. \frac{v_1}{v_2} \right|_{i_1=0}$$

$$h_f = \left. \frac{i_2}{i_1} \right|_{v_2=0}$$

$$h_o = \left. \frac{i_2}{v_2} \right|_{i_1=0}$$

*Significado de los parámetros
y subindices :*

h_i : impedancia de entrada.

h_r : ganancia inversa de tensión.

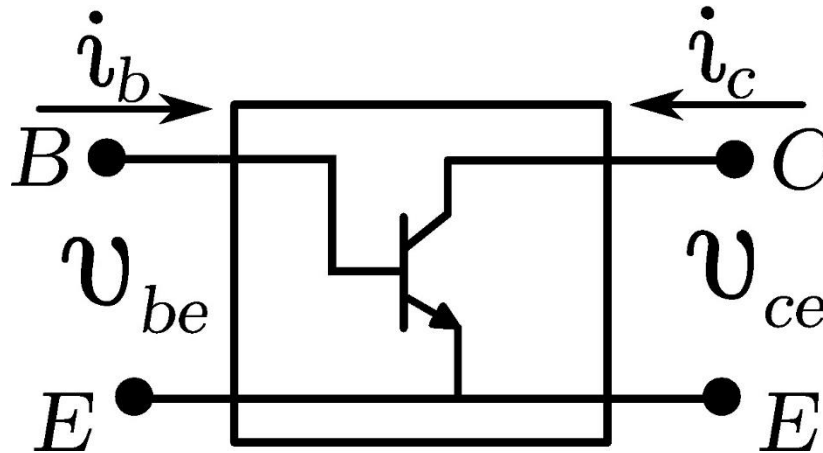
h_f : ganancia directa de corriente.

h_o : admitancia de salida.

i : entrada r : inversa

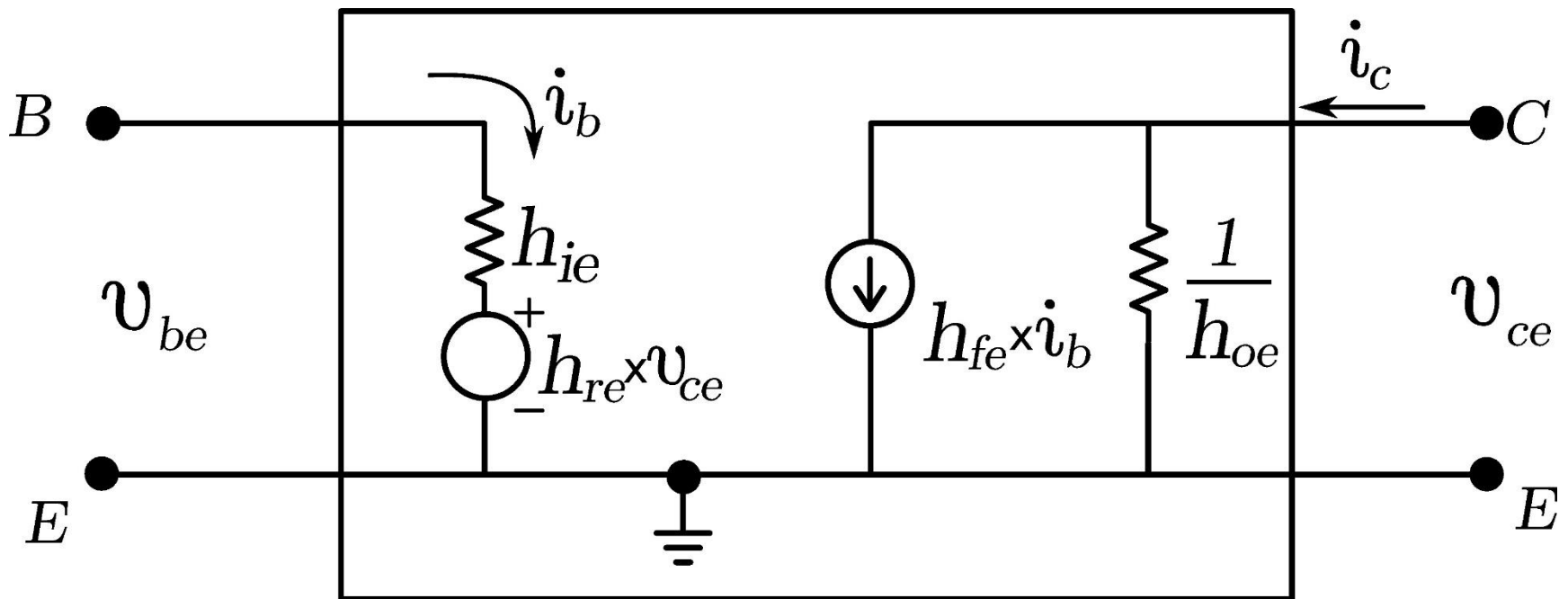
f : directa o : salida

Parámetros Híbridos. Modelo Emisor Común.



$$\begin{array}{ll}
 i_1 = i_b & \text{Ley de Kirchhoff de voltaje} \\
 i_2 = i_c & \text{en la malla de entrada.} \\
 v_1 = v_{be} & \left. \begin{array}{l} \text{Ley de Kirchhoff de corriente} \\ \text{en la malla de salida.} \end{array} \right\} \begin{array}{l} v_{be} = h_{ie} i_b + h_{re} v_{ce} \\ i_c = h_{fe} i_b + h_{oe} v_{ce} \end{array} \\
 v_2 = v_{ce} &
 \end{array}$$

Parámetros Híbridos. Modelo Completo



Parámetros Híbridos. Modelo Completo.

$$h_{oe} \rightarrow 10^{-4} \text{ } S(mho) \text{ a } 10^{-6} \text{ } S(mho)$$

$$\frac{1}{h_{oe}} \rightarrow 10^4 \text{ } \Omega \text{ a } 10^6 \text{ } \Omega \rightarrow \textit{circuito abierto}$$

$$h_{re} \cong 0$$

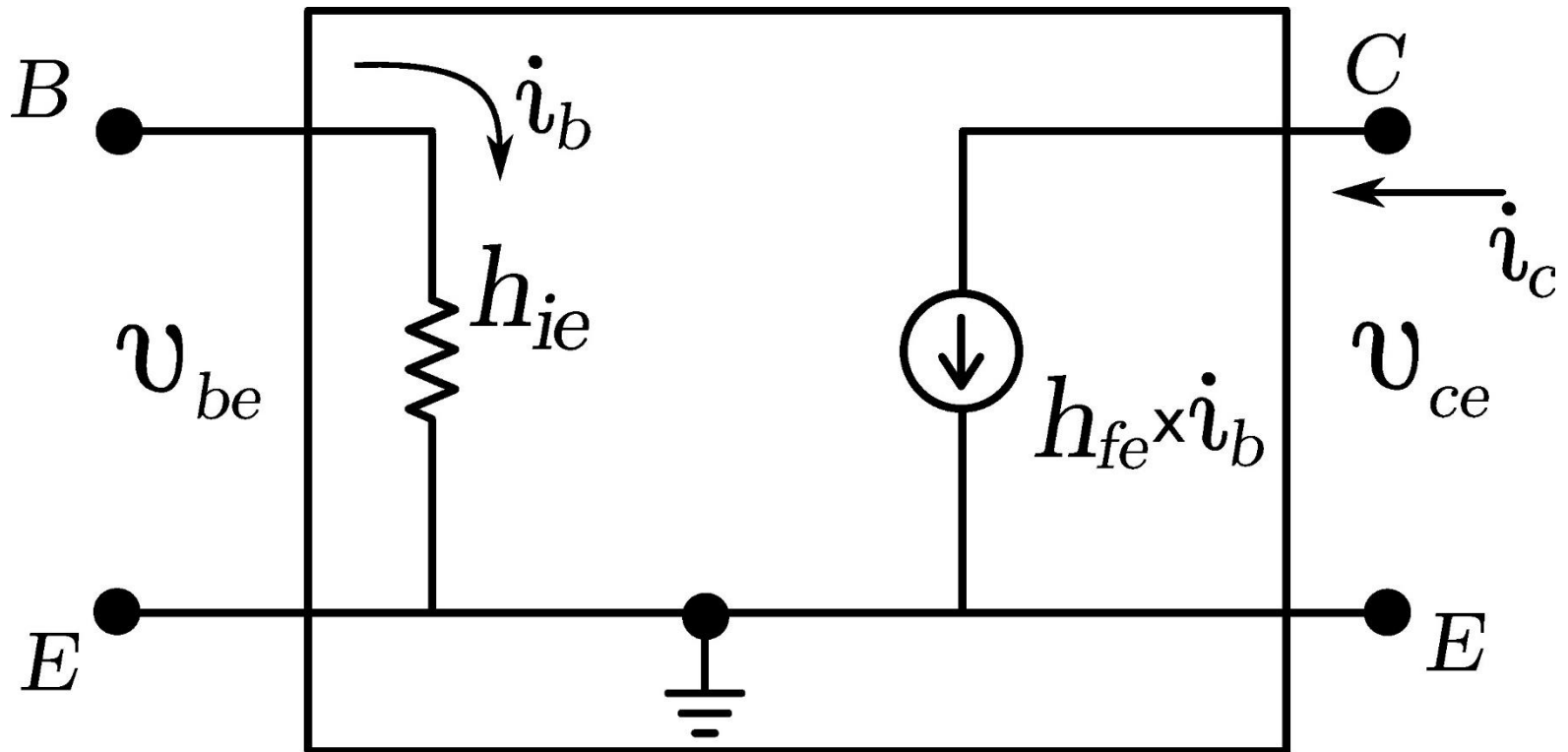
S : *Siemens*

(mho) : *Es la unidad admitancia fuera de uso*

pero se la puede encontrar en alguna bibliografía.

Entre colector y base existe una capacidad Cbc interelectrodica. Para bajas frecuencias la reactancia capacitiva Xbc es alta y la realimentación es despreciable, por lo que se puede considerar a hre aproximadamente igual a cero.

Parámetros Híbridos. Modelo Simplificado



Parámetros Híbridos para emisor común.

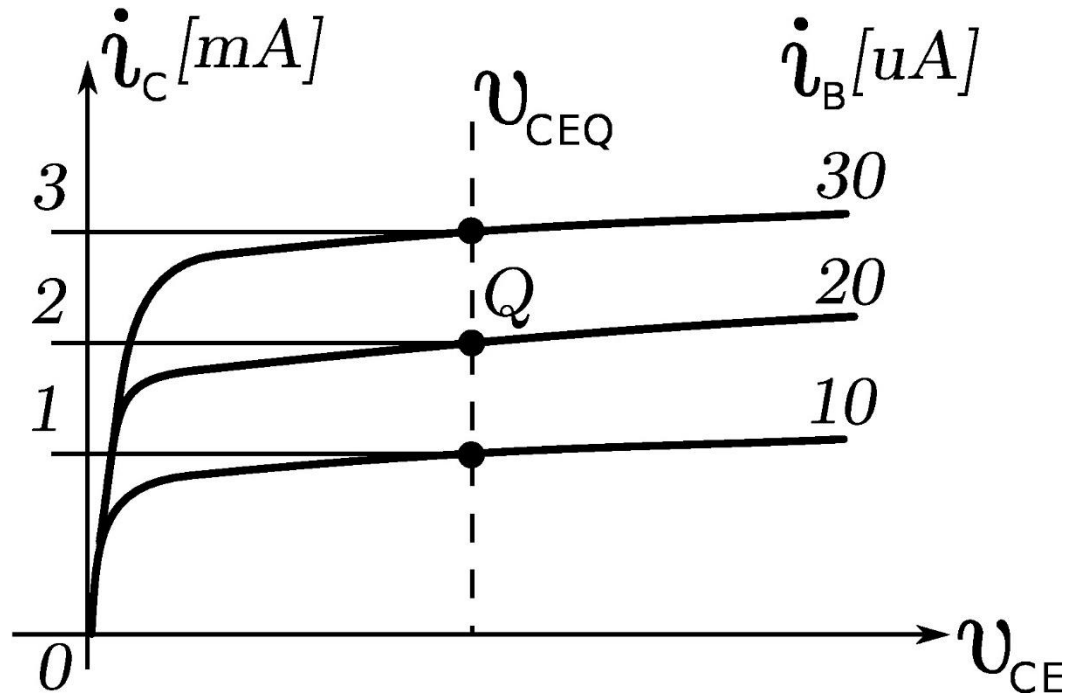
$$h_{ie} = \left. \frac{v_{be}}{i_b} \right|_{\substack{v_{ce}=0 \\ V_{CEQ}=cte}} \left\{ \begin{array}{l} \text{Impedancia de entrada del Transistor en emisor} \\ \text{común con la salida en cortocircuito.} \end{array} \right.$$

$$h_{re} = \left. \frac{v_{be}}{v_{ce}} \right|_{\substack{i_b=0 \\ I_{BQ}=cte}} \left\{ \begin{array}{l} \text{Ganancia inversa de tensión en emisor común} \\ \text{con la entrada abierta.} \end{array} \right.$$

$$h_{fe} = \left. \frac{i_c}{i_b} \right|_{\substack{v_{ce}=0 \\ V_{CEQ}=cte}} \left\{ \begin{array}{l} \text{Ganancia de corriente en emisor común con la} \\ \text{salida en cortocircuito para corriente alterna.} \end{array} \right.$$

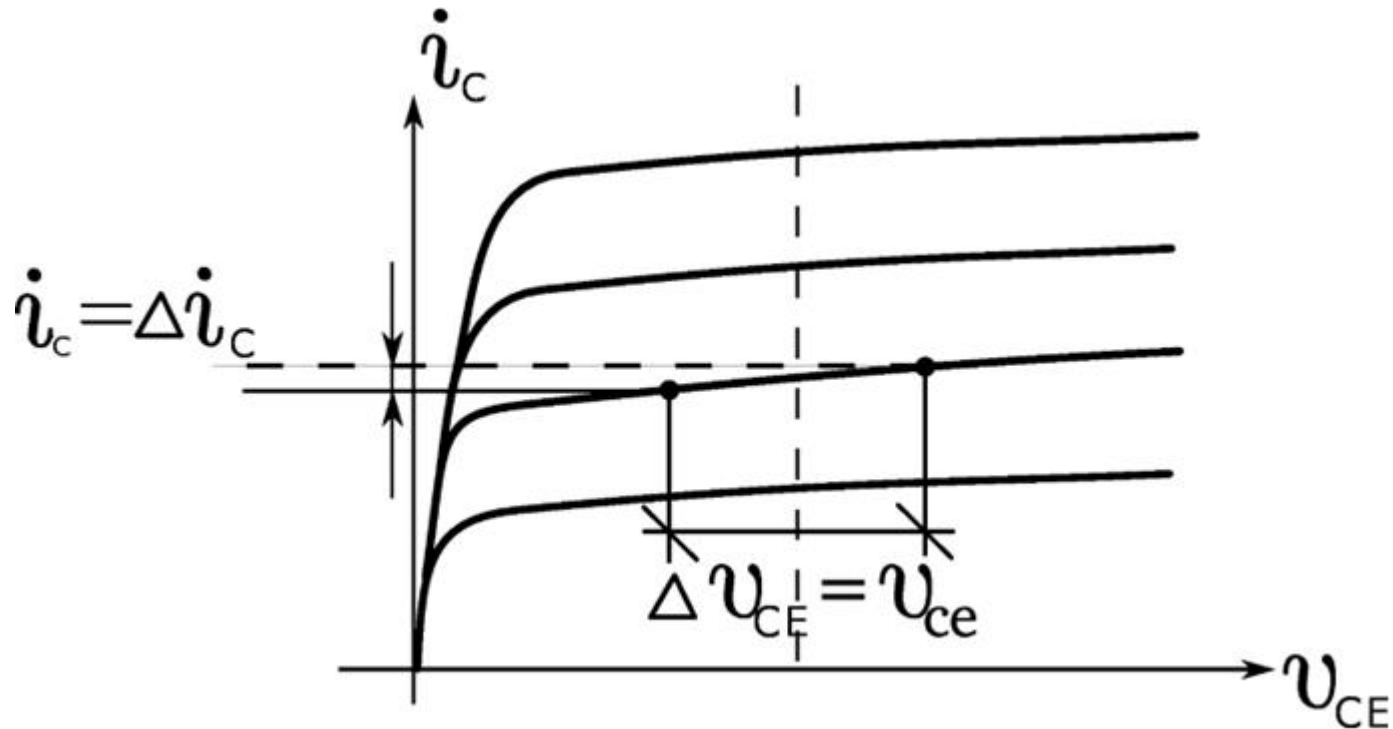
$$h_{oe} = \left. \frac{i_c}{v_{ce}} \right|_{\substack{i_b=0 \\ I_{BQ}=cte}} \left\{ \begin{array}{l} \text{Admitancia de salida en emisor común con la} \\ \text{entrada abierta.} \end{array} \right.$$

Valor de h_{fe} a partir de las características i-v.



$$h_{fe} = \left. \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B} \right|_Q = \frac{3mA - 1mA}{30\mu A - 10\mu A} = 100$$

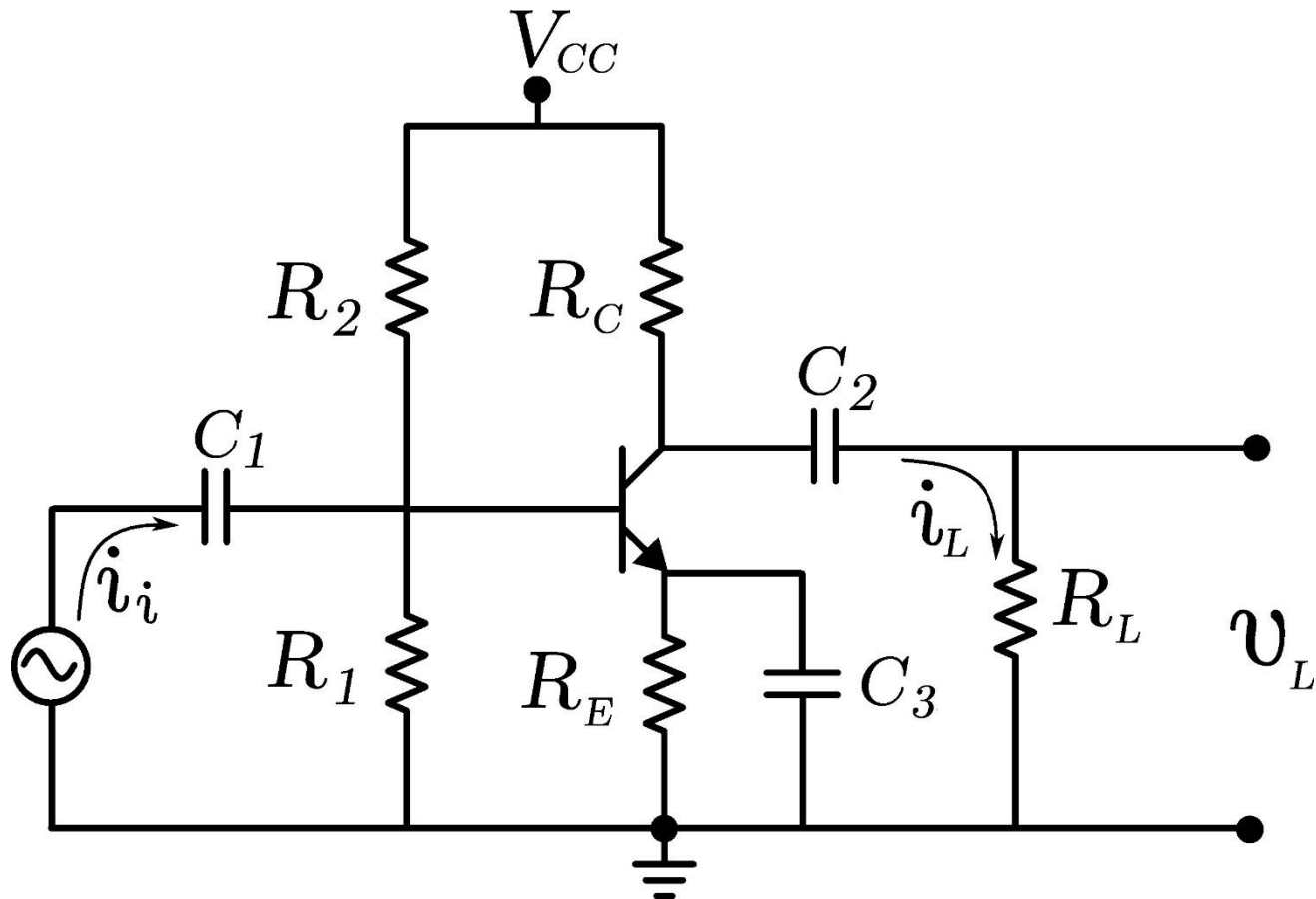
Valor de h_{oe} a partir de las características i-v.



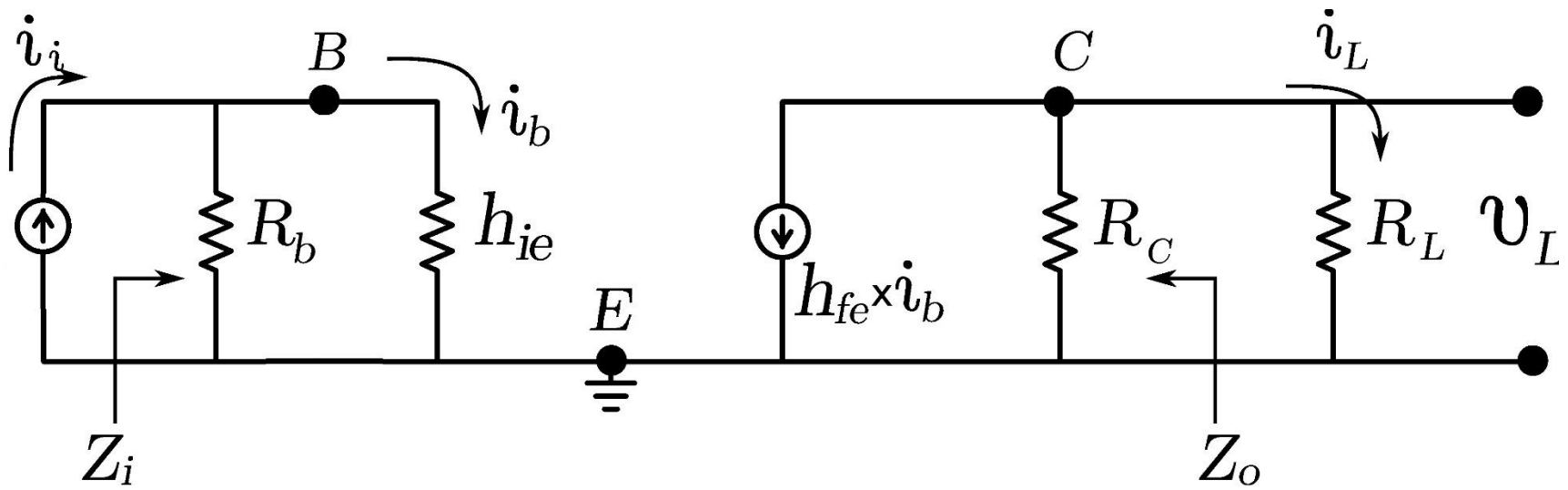
$$h_{oe} = \left. \frac{\Delta i_c}{\Delta v_{CE}} \right|_Q$$

$$h_{ie} = \frac{25 \text{ mV}}{I_{BQ}} = \frac{25 \text{ mV}}{\frac{I_{CQ}}{h_{fe}}} = h_{fe} \times \frac{25 \text{ mV}}{I_{CQ}}$$

Amplificador Emisor Común.



Amplificador Emisor Común. Circuito Equivalente.



$$Z_i = R_b // h_{ie}$$

$$Z_o = R_c$$

Amplificadora Emisor Común.

Ganancia de Corriente.

$$A_i = \frac{i_L}{i_i} = \frac{i_L}{i_b} \times \frac{i_b}{i_i}$$

$$i_L = \frac{v_L}{R_L} = \frac{-h_{fe} i_b \times (R_C // R_L)}{R_L} = -h_{fe} i_b \times \frac{R_C \cancel{R_L}}{R_C + R_L} \times \frac{1}{\cancel{R_L}}$$

$$\frac{i_L}{i_b} = -h_{fe} \times \frac{R_C}{R_C + R_L}$$

$$i_b = \frac{v_i}{h_{ie}} = i_i \times \frac{R_b \cancel{h_{ie}}}{R_b + h_{ie}} \times \frac{1}{\cancel{h_{ie}}} = i_i \times \frac{R_b}{R_b + h_{ie}}$$

$$\frac{i_b}{i_i} = \frac{R_b}{R_b + h_{ie}}$$

$$A_i = -h_{fe} \times \frac{R_C}{R_C + R_L} \times \frac{R_b}{R_b + h_{ie}} \quad (\text{El signo } - \text{ significa inversión de fase})$$

$$\text{Si } \left\{ \begin{array}{l} R_L \ll R_C \\ h_{ie} \ll R_b \end{array} \right\} \Rightarrow A_i = -h_{fe} \times \frac{\cancel{R_C}}{\cancel{R_C}} \times \frac{\cancel{R_b}}{\cancel{R_b}} \cong -h_{fe} \quad (\text{En general } |A_i| < h_{fe})$$

Amplificadora Emisor Común.

Ganancia de tensión.

$$A_V = \frac{v_L}{v_i} = \frac{i_L}{i_i} \times \frac{R_L}{Z_i}$$

$$A_V = A_i \times \frac{R_L}{Z_i} = -h_{fe} \times \frac{R_C}{R_C + R_L} \times \frac{R_b}{R_b + h_{ie}} \times \frac{R_L}{\frac{R_b \times h_{ie}}{R_b + h_{ie}}} = -h_{fe} \times \frac{R_C \times R_L}{R_C + R_L} \times \frac{1}{h_{ie}}$$

$$A_V = -h_{fe} \times \frac{R_C // R_L}{h_{ie}}$$

Si $R_L \ll R_C$:

$$A_V \cong -h_{fe} \times \frac{\cancel{R_C} \times R_L}{\cancel{R_C}} \times \frac{1}{h_{ie}} \cong -h_{fe} \times \frac{R_L}{h_{ie}} = -\frac{R_L}{h_{ie}/h_{fe}} = -\frac{R_L}{h_{ib}}$$

$$A_V = -\frac{R_L}{h_{ib}}$$

Amplificadora Emisor Común.

Ganancia de Potencia.

$$A_P = \frac{P_L}{P_i} = \frac{v_L \times i_L}{v_i \times i_i} = A_V \times A_i$$

$$\text{Como: } A_V = \frac{v_L}{v_i} = \frac{i_L \times R_L}{i_i \times Z_i} = A_i \times \frac{R_L}{Z_i}$$

$$A_P = A_i \times \frac{R_L}{Z_i} \times A_i = A_i^2 \times \frac{R_L}{Z_i} \quad A_P \text{ en funcion de la } A_i$$

$$\text{Como: } A_i = \frac{i_L}{i_i} = \frac{\frac{v_L}{R_L}}{\frac{v_i}{Z_i}} = \frac{v_L}{R_L} \times \frac{Z_i}{v_i} = \frac{v_L}{v_i} \times \frac{Z_i}{R_L} = A_V \frac{Z_i}{R_L}$$

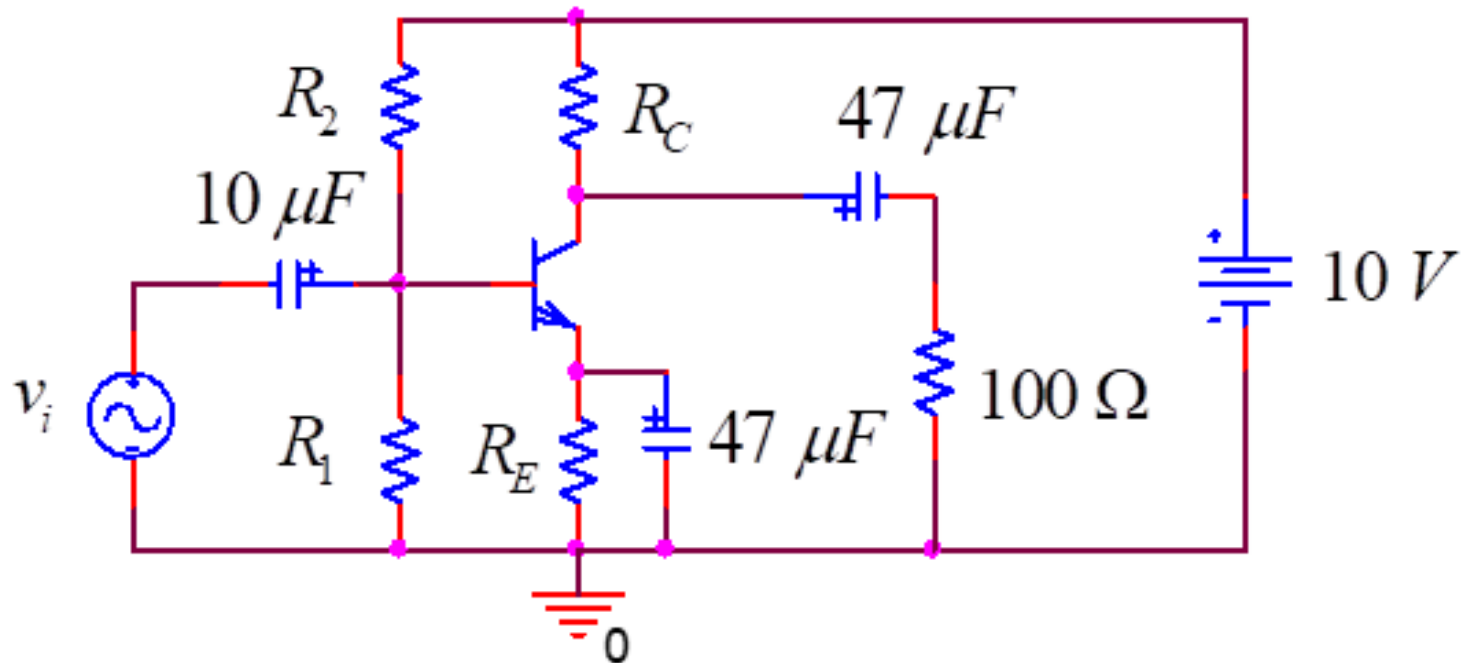
$$A_P = A_V \times A_V \times \frac{Z_i}{R_L} = A_V^2 \times \frac{Z_i}{R_L} \quad A_P \text{ en funcion de la } A_V$$

Amplificador Emisor común. Ejemplo:

Para el circuito de la figura hallar Z_i , Z_o , A_v y A_i .

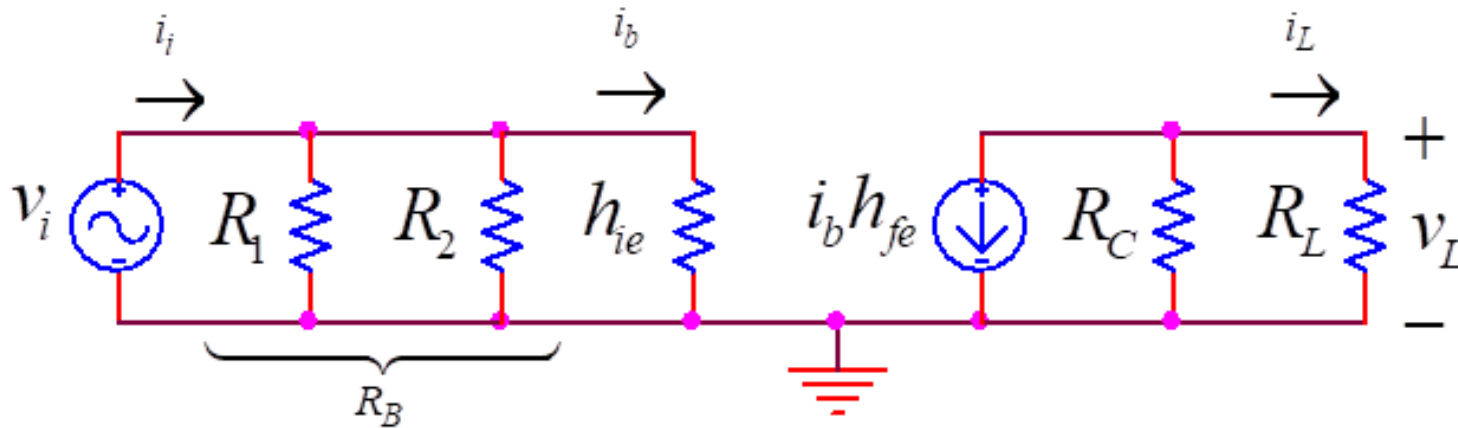
Datos: $V_{CEQ} = 5$, $I_{CQ} = 10 \text{ mA}$, $\beta = 300$

$R_1 = 3.658 \text{ K}\Omega$, $R_2 = 16.667 \text{ K}\Omega$, $R_C = 400 \Omega$ y $R_E = 100 \Omega$



Amplificador Emisor común. Ejemplo:

Circuito equivalente.



Determinación de Z_i .

$$R_B = R_1 // R_2 = \frac{3658 \times 16667}{3658 + 16667} = 3000 \, \Omega = 3 \, K\Omega$$

$$h_{ie} = h_{fe} \frac{25mV}{I_{CQ}} = 300 \frac{25 \, mV}{10 \, mA} = 750 \, \Omega$$

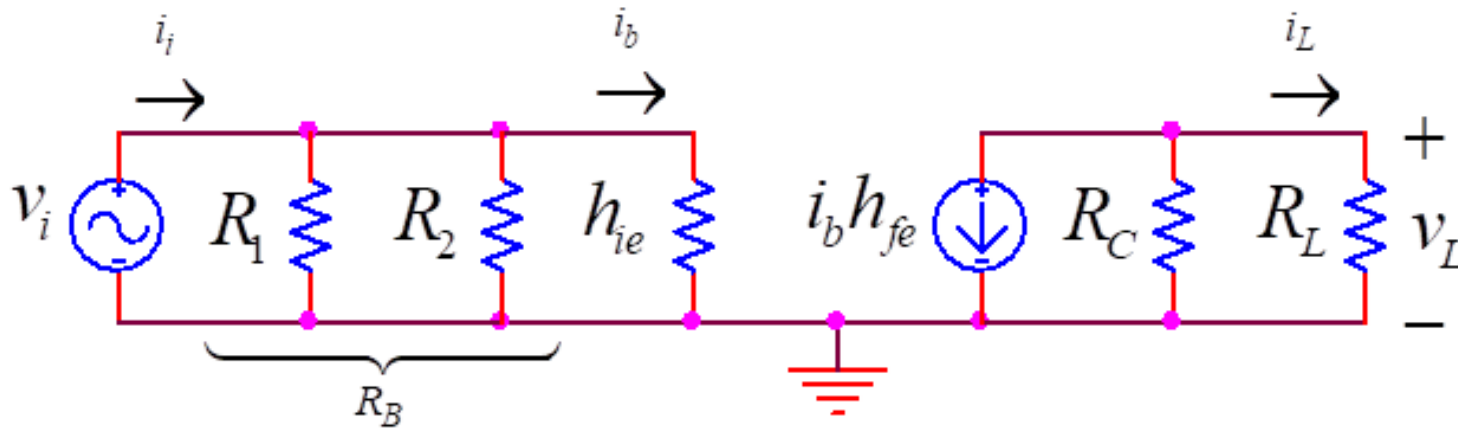
$$Z_i = R_b // h_{ie} = \frac{3000 \times 750}{3000 + 750} = 600 \, \Omega$$

Determinación de Z_o .

$$Z_o = R_c = 400 \, \Omega$$

Amplificador Emisor común. Ejemplo:

Circuito equivalente.



Determinación de A_i .

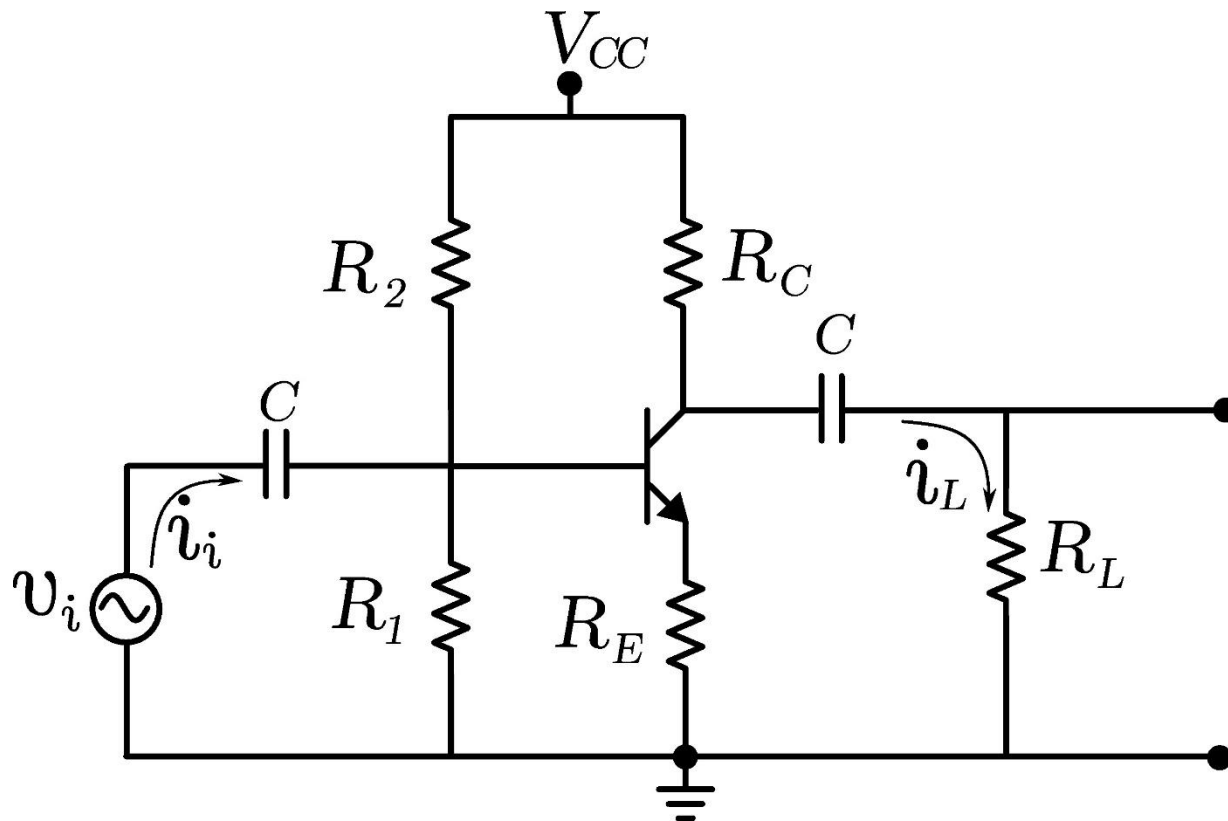
$$A_i = \frac{i_L}{i_i} = -h_{fe} \times \frac{R_C}{R_C + R_L} \times \frac{R_b}{R_b + h_{ie}} = -300 \times \frac{400}{400 + 100} \times \frac{3000}{3000 + 750} = -192$$

Determinación de A_v .

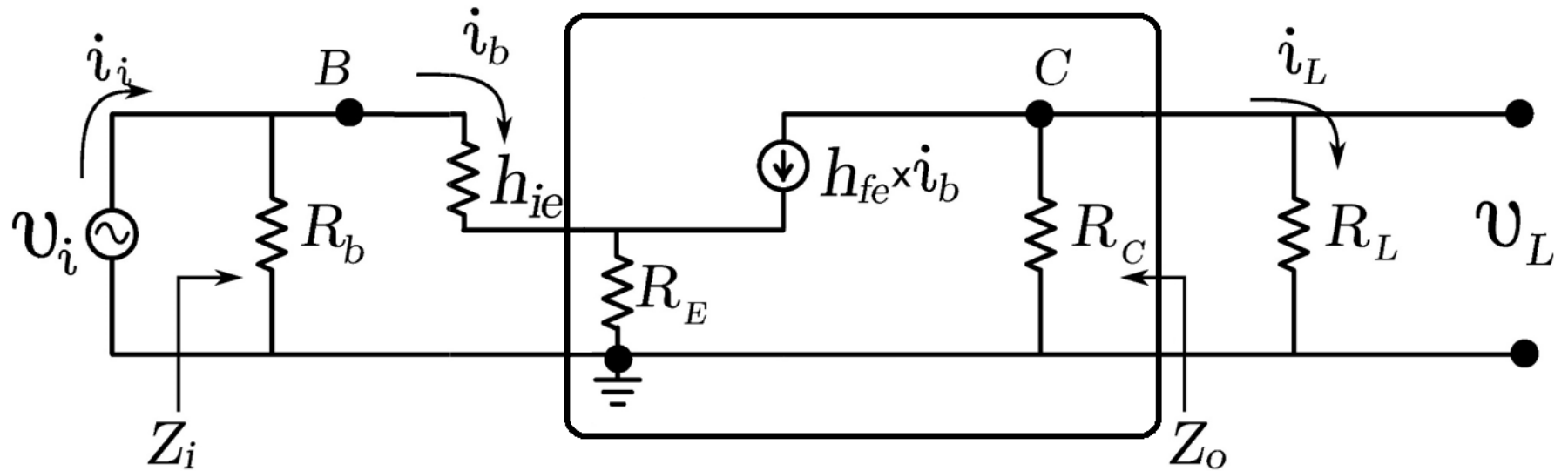
$$A_v = \frac{v_L}{v_i} = A_i \times \frac{R_L}{Z_i} = -192 \times \frac{100}{600} = -32$$

Amplificador emisor común sin capacitor de desacople.

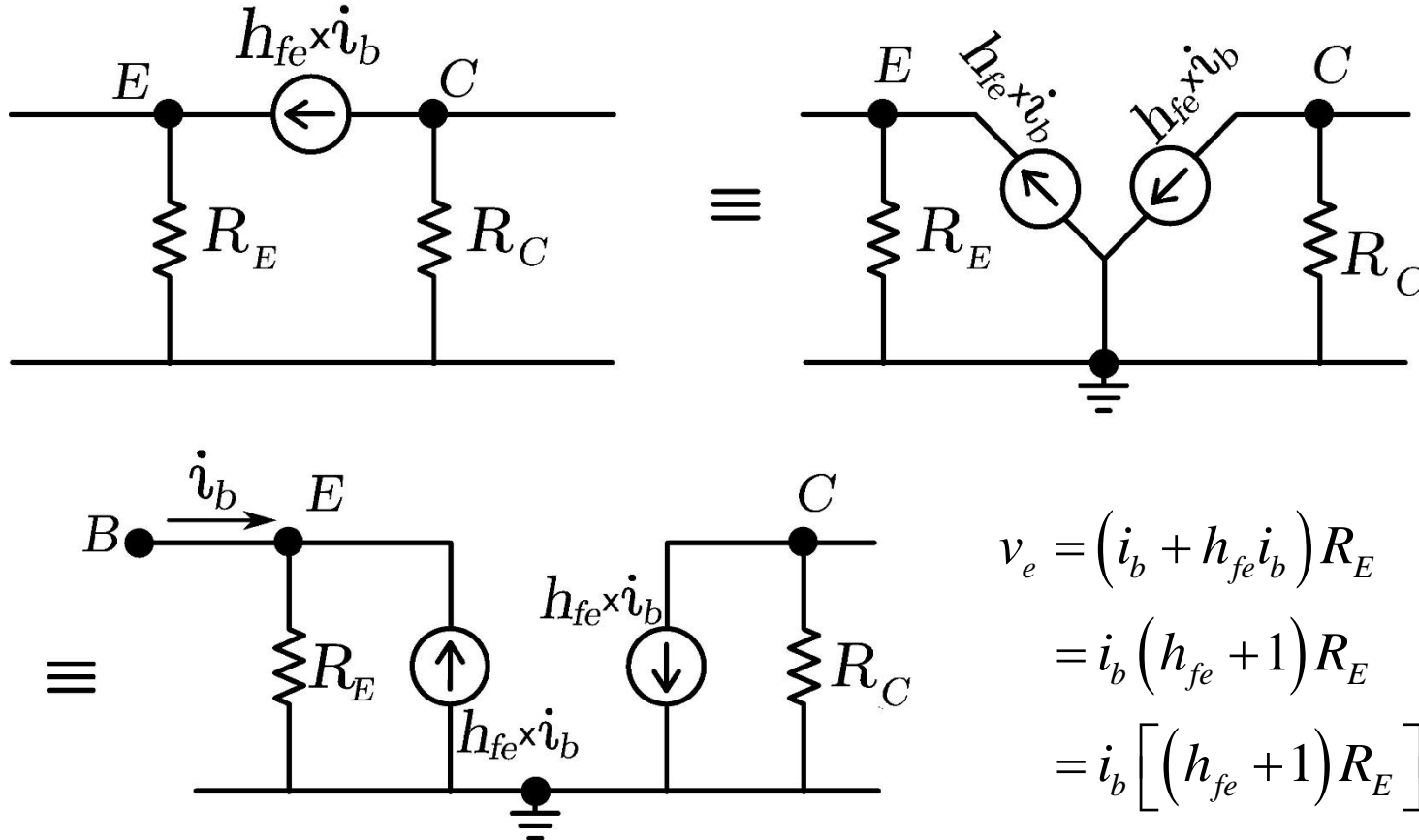
Concepto de reflexión de impedancia.



Circuito equivalente para señal débil.



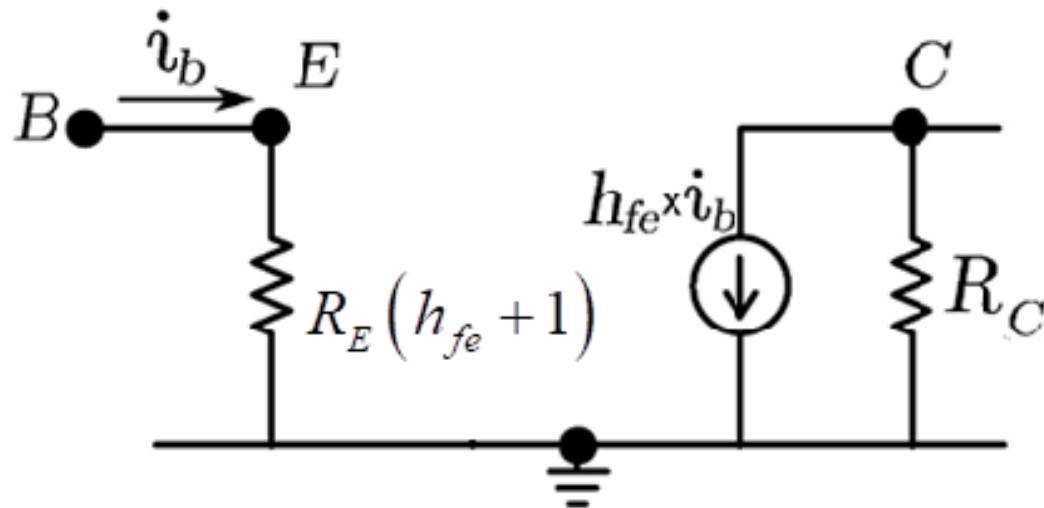
Desdoblamos la fuente de corriente.



$$\begin{aligned}
 v_e &= (i_b + h_{fe} i_b) R_E \\
 &= i_b (h_{fe} + 1) R_E \\
 &= i_b \left[(h_{fe} + 1) R_E \right]
 \end{aligned}$$

Desdoblamos la fuente de corriente.

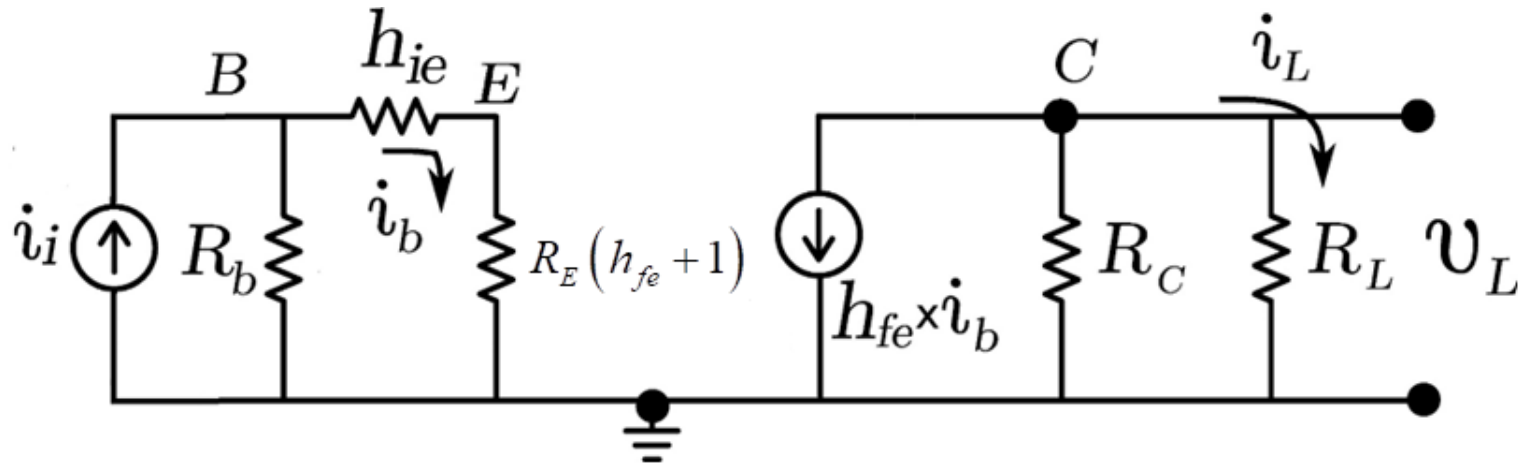
Circuito final del desdoblamiento



Circuito equivalente para señal débil con R_E reflejada a la base

La combinación de R_E en // con $h_{fe}i_b$ es

reemplazada por la resistencia reflejada $(h_{fe} + 1)R_E$



Cuando se refleja desde el emisor hacia la base:

La resistencia queda multiplicada por $h_{fe} + 1$.

La corriente dividida por $h_{fe} + 1$.

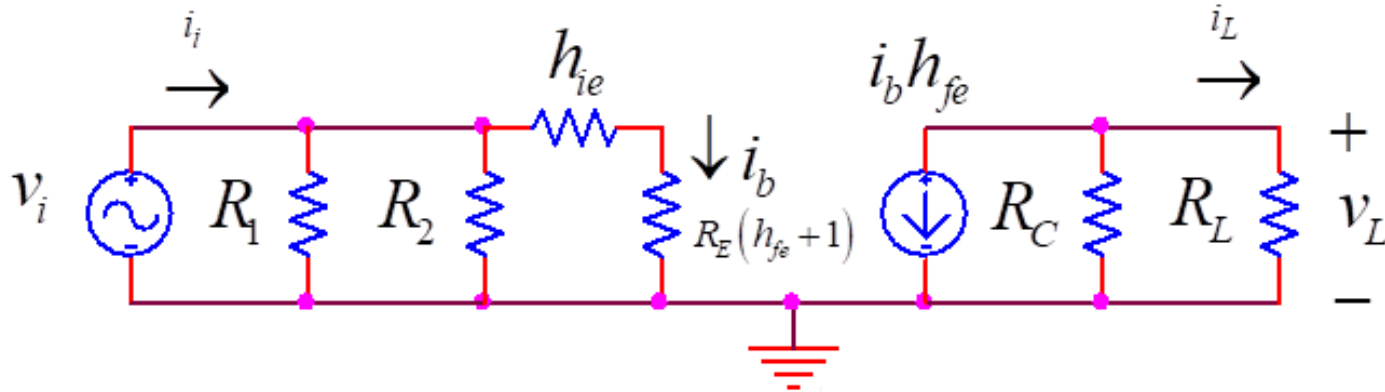
La tensión se conserva.

Cálculo de impedancias y ganancias.

$$\begin{aligned} Z_i &= R_b // [h_{ie} + R_e(h_{fe} + 1)] && \uparrow \\ Z_o &= R_C && = \\ A_i &= -h_{fe} \times \frac{R_C}{R_C + R_L} \times \frac{R_b}{R_b + h_{ie} + R_e(h_{fe} + 1)} && \downarrow \\ A_v &= \frac{v_L}{v_i} = \frac{i_L \times R_L}{i_i \times Z_i} = A_i \times \frac{R_L}{Z_i} && \downarrow\downarrow \end{aligned}$$

Amplificador Emisor común. Ejemplo:

Circuito equivalente con R_E sin desacoplar.



Determinación de Z_i .

$$R_B = R_1 // R_2 = \frac{3658 \times 16667}{3658 + 16667} = 3000 \, \Omega = 3 \, K\Omega$$

$$h_{ie} = h_{fe} \frac{25mV}{I_{CQ}} = 300 \frac{25 \, mV}{10 \, mA} = 750 \, \Omega$$

$$h_{ie} + R_E (h_{fe} + 1) = 750 + 100 \times 301 = 30850 \, \Omega$$

$$Z_i = R_b // [h_{ie} + R_E (h_{fe} + 1)] = \frac{3000 \times 30850}{3000 + 30850} = 2734 \, \Omega \text{ (antes } 600 \, \Omega)$$

Determinación de Z_o .

$$Z_o = R_c = 400 \, \Omega$$

Amplificador Emisor común. Ejemplo:

Circuito equivalente con R_E sin desacoplar.

Determinación de A_i .

$$A_i = \frac{i_L}{i_i} = -h_{fe} \times \frac{R_C}{R_C + R_L} \times \frac{R_b}{R_b + h_{ie} + R_E (h_{fe} + 1)}$$
$$A_i = -300 \times \frac{400}{400 + 100} \times \frac{3000}{3000 + 750 + 30100} = -21.27 (\text{antes } -192)$$

Determinación de A_v .

$$A_v = \frac{v_L}{v_i} = A_i \times \frac{R_L}{Z_i} = -21.27 \times \frac{100}{2734} = -0.78 (\text{antes } -32)$$

Bibliografía.

- **Circuitos Electrónicos Discretos e Integrados,**
- Donald L. Schilling-Charles Belove.
- **Dispositivos Electrónicos,**
- Thomas L. Floyd.
- **Electrónica: Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos,**
- Robert L. Boylestad-Louis Nashelsky.
- **1100 Problemas de Electrónica Resueltos.**
- Ing Alberto Muhana