

Amplificadores Diferenciales

(1a parte)

Dr. José Ernesto Rayas Sánchez

Algunas de las figuras de esta presentación fueron tomadas de la página de internet de los autores del texto:

A.S. Sedra and K.C. Smith, *Microelectronic Circuits*. New York, NY: Oxford University Press, 1998.

Amplificadores Diferenciales

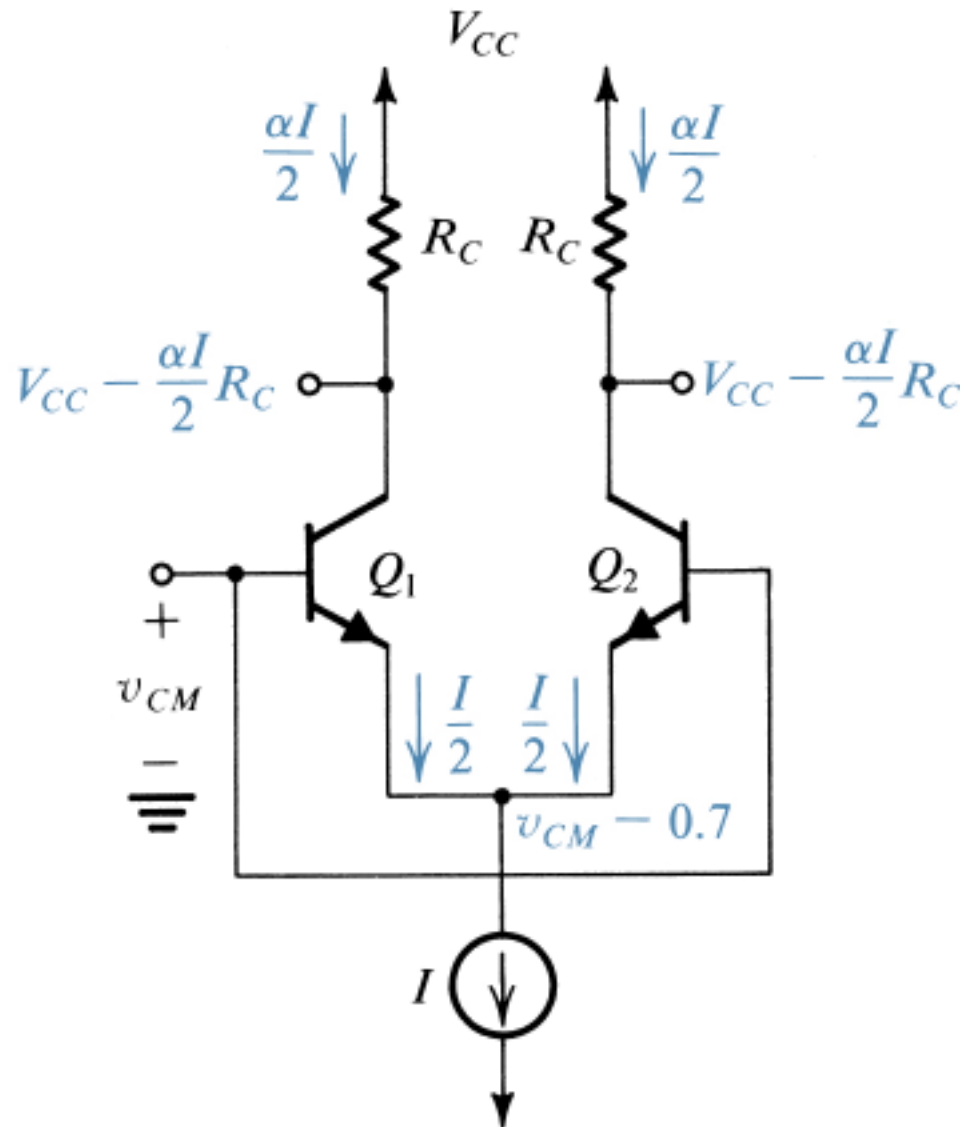
- Introducción
- Par diferencial BJT
- Operación en señal pequeña del amplificador diferencial BJT
- Polarización en C.I.
- Amplificador diferencial con carga activa
- Par diferencial JFET
- Amplificadores diferenciales MOS

Introducción

- Amplificador diferencial: uno de los módulos más utilizados en C.I.
- Empleados como etapas de entrada en los amplificadores operacionales (OP-AMPS)
- Muy utilizados en etapas de instrumentación

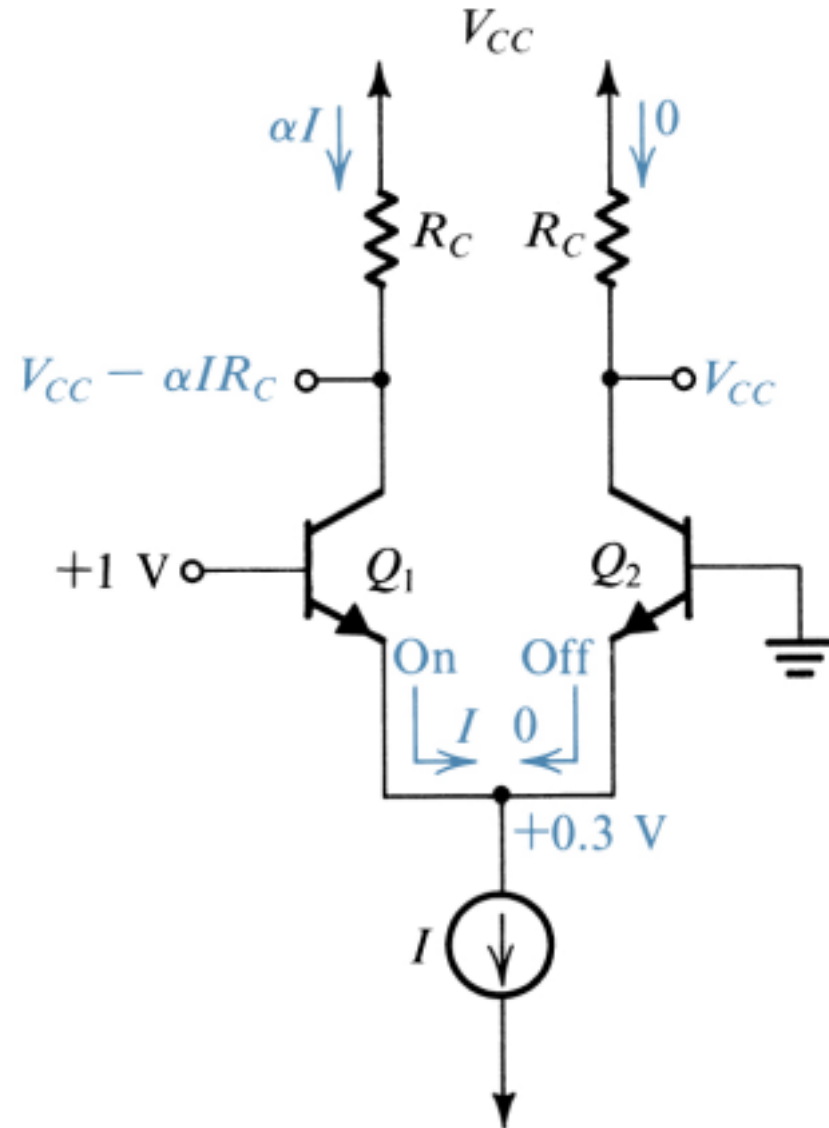
Modos de Operación del Par Diferencial

Modo común



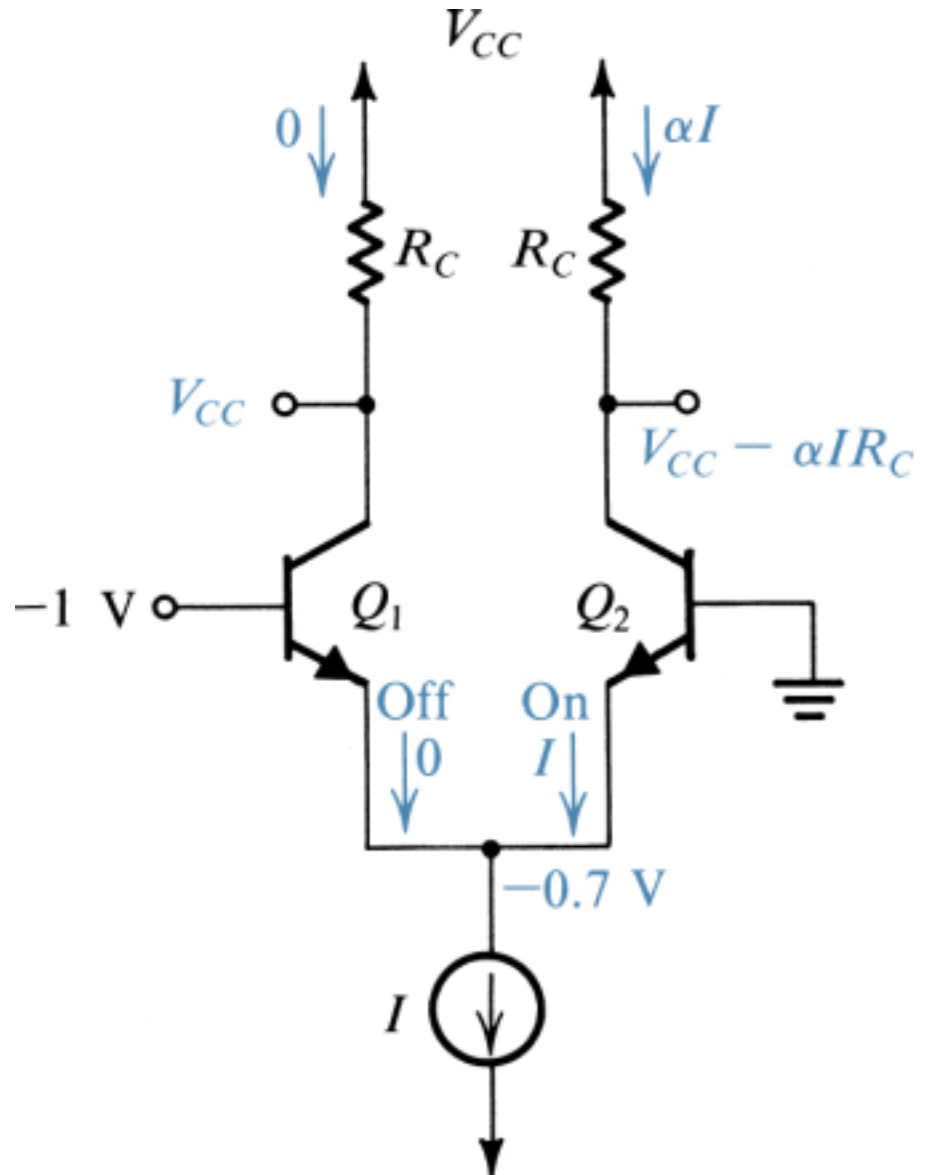
Modos de Operación del Par Diferencial (cont)

Modo diferencial,
con entrada grande
positiva



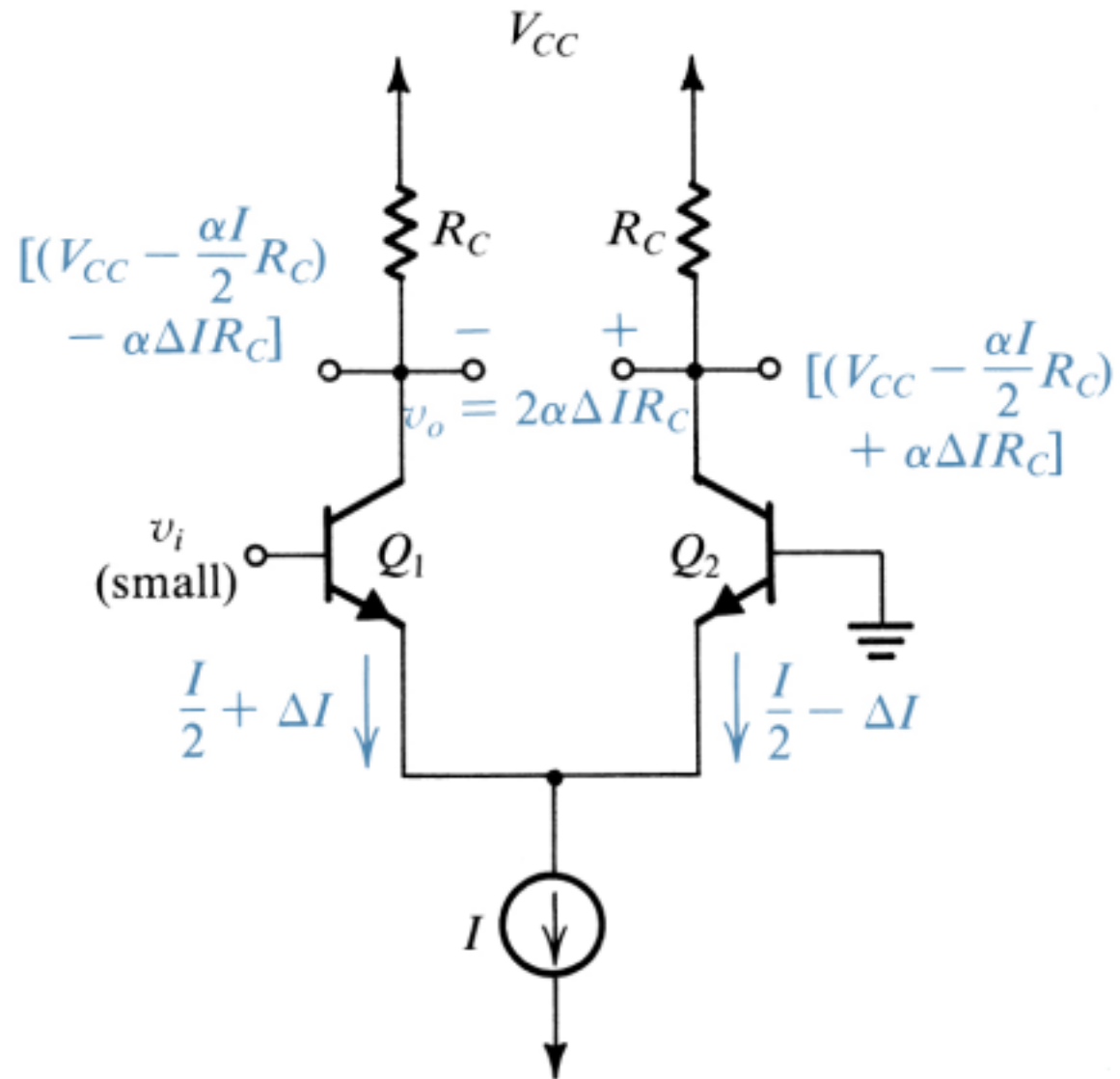
Modos de Operación del Par Diferencial (cont)

Modo diferencial,
con entrada grande
negativa

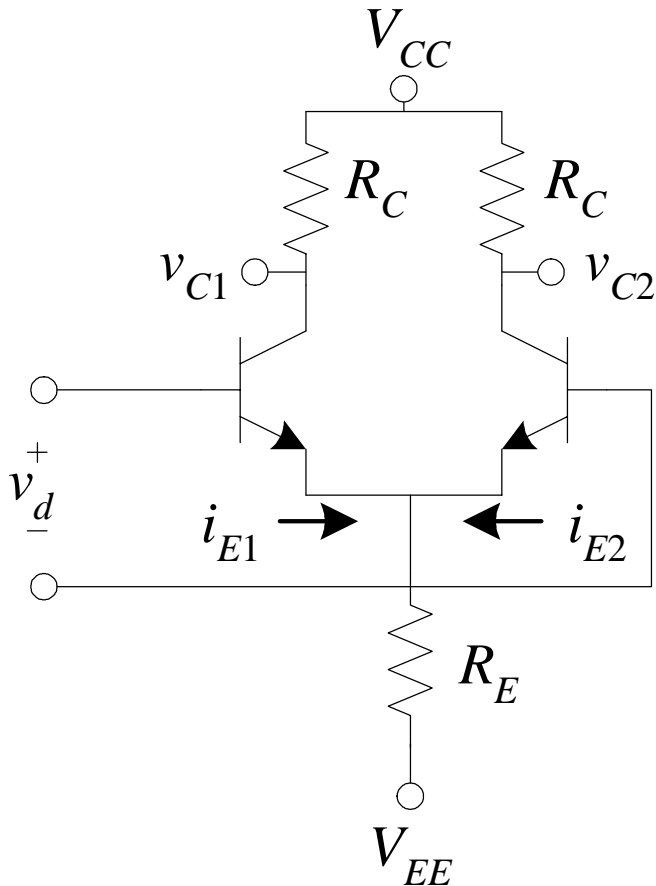


Modos de Operación del Par Diferencial (cont)

Modo diferencial,
con señal pequeña

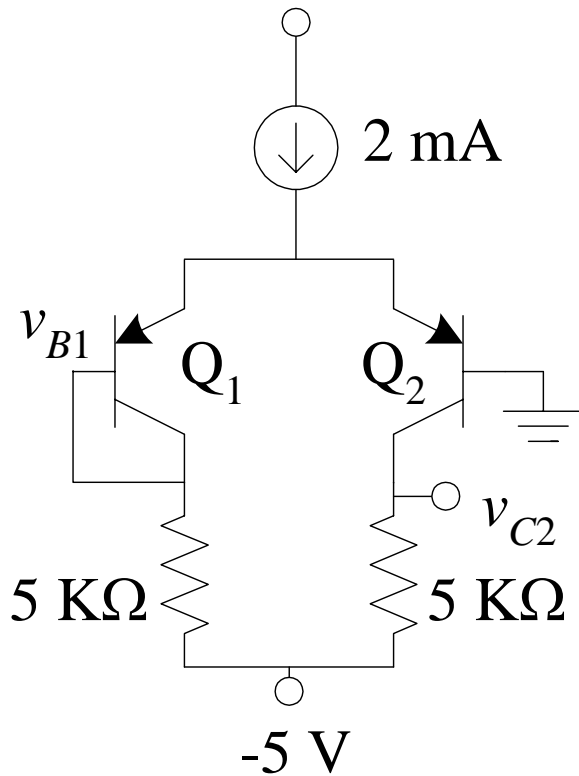


Ejemplo



Suponiendo $v_d = 0V$, $V_{CC} = 10V$,
 $V_{EE} = -5.7V$, $R_E = 1K\Omega$, $R_C =$
 $2.2K\Omega$, y una β grande para Q_1 y
 Q_2 , calcular v_{c1} y v_{c2}

Otro Ejemplo

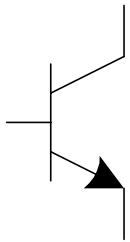


Suponiendo una β grande para Q_1 y Q_2 ,

a) calcular v_{c2}

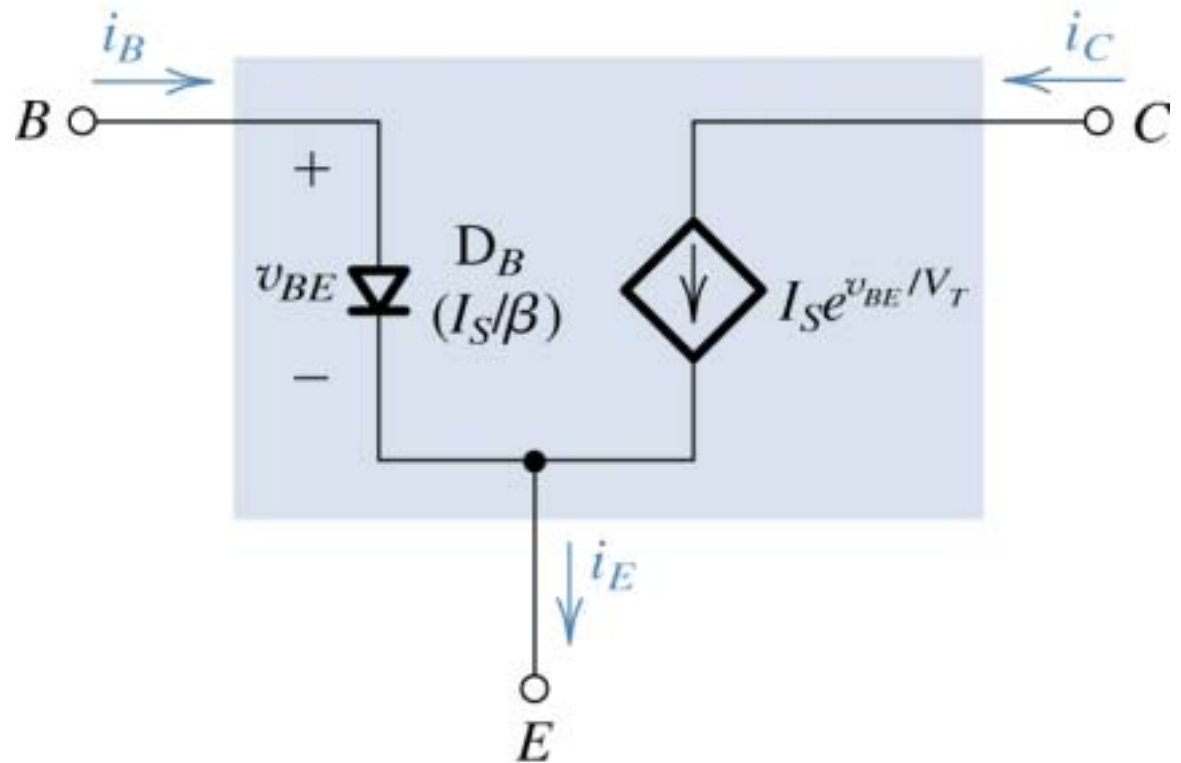
b) si R_{c1} cambia a $2.5 \text{ K}\Omega$,
recalcular v_{c2}

Modelo del BJT (NPN) en señal grande

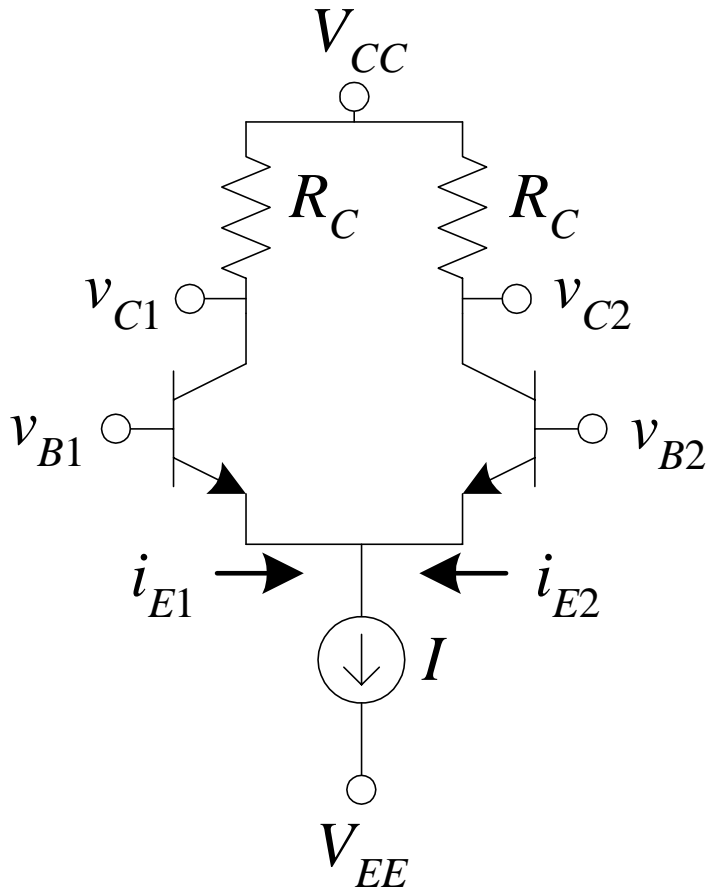


$$i_B = \frac{I_S}{\beta} e^{v_{BE}/V_T}$$

$$i_E = \frac{I_S}{\alpha} e^{v_{BE}/V_T}$$



Análisis en Señal Grande



$$i_{E1} = \frac{I_S}{\alpha} e^{(v_{B1}-v_E)/V_T}$$

$$i_{E2} = \frac{I_S}{\alpha} e^{(v_{B2}-v_E)/V_T}$$

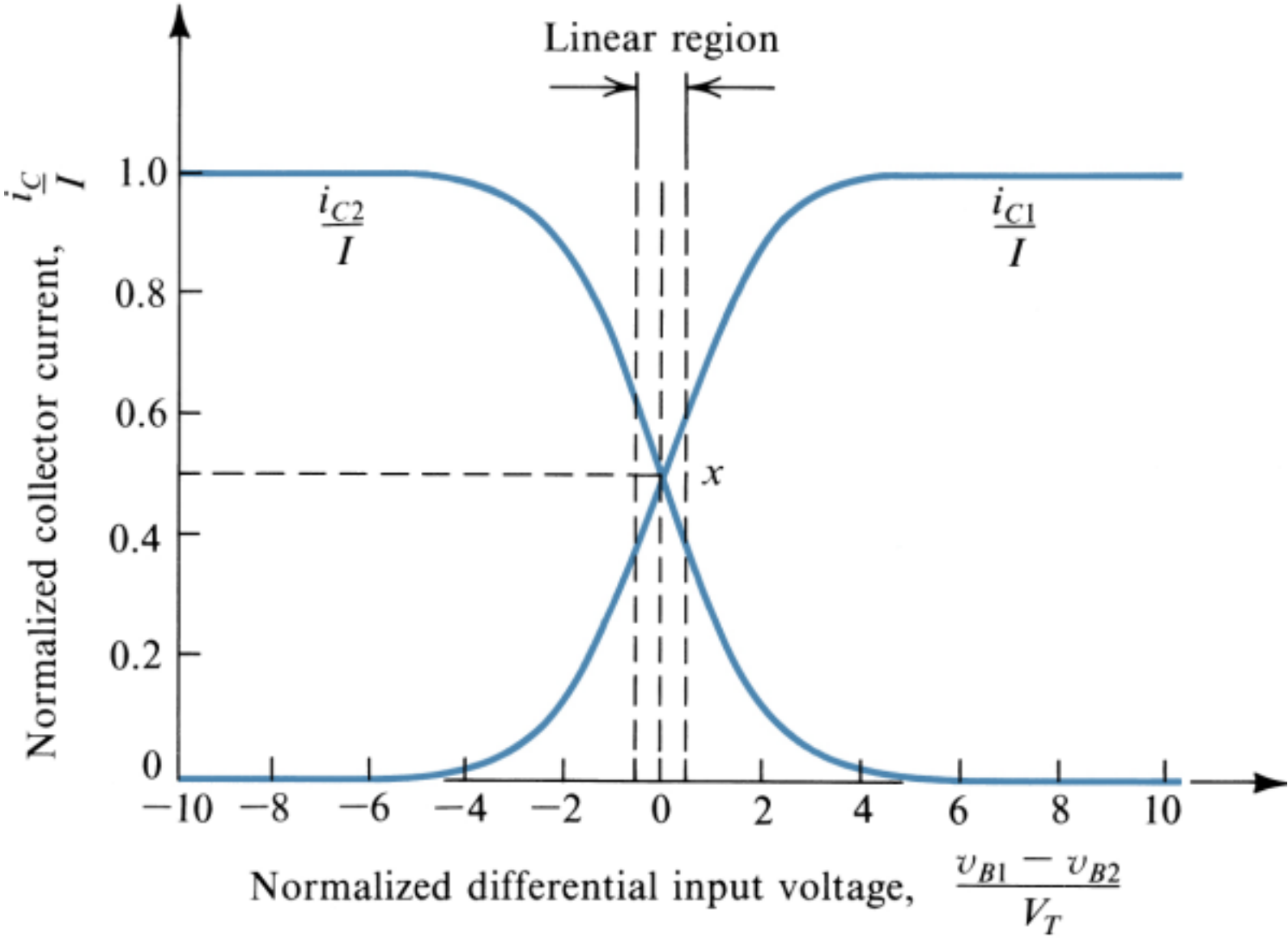
$$\frac{i_{E1}}{i_{E2}} = e^{(v_{B1}-v_{B2})/V_T}$$

$$i_{E1} + i_{E2} = I$$

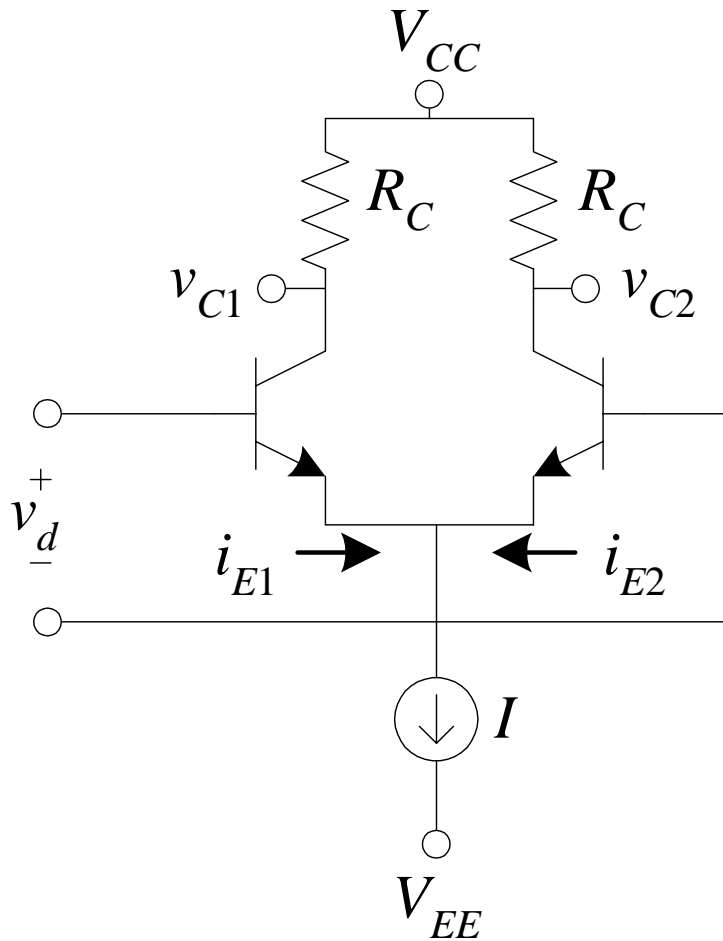
$$i_{E2} = \frac{I}{1 + e^{(v_{B1}-v_{B2})/V_T}}$$

$$i_{E1} = \frac{I}{1 + e^{(v_{B2}-v_{B1})/V_T}}$$

Curva Característica del Par Diferencial

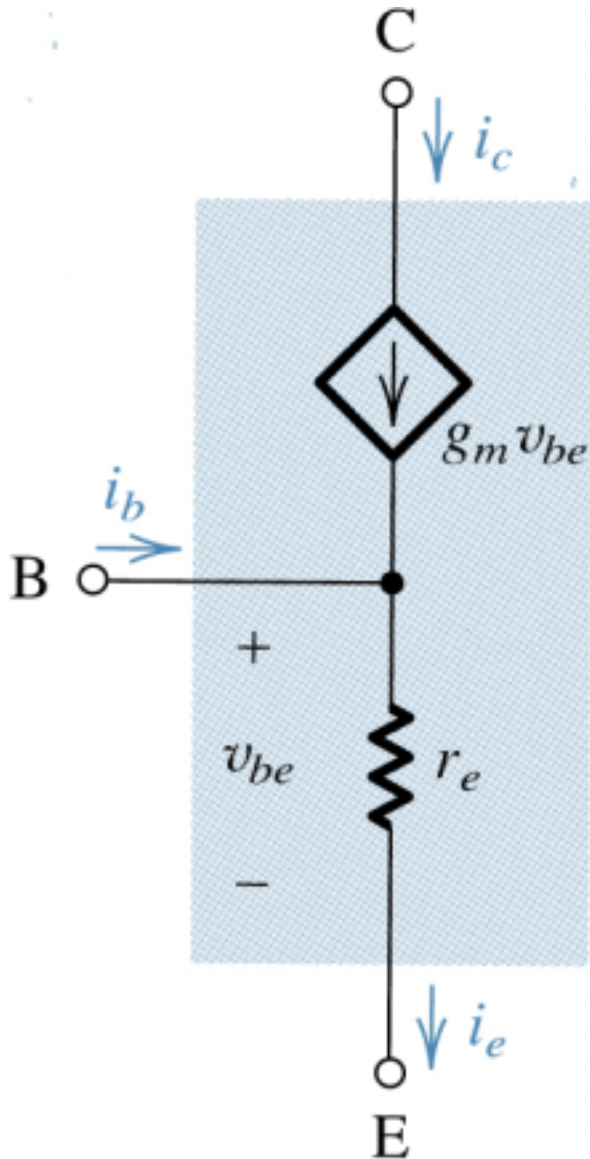


Problema

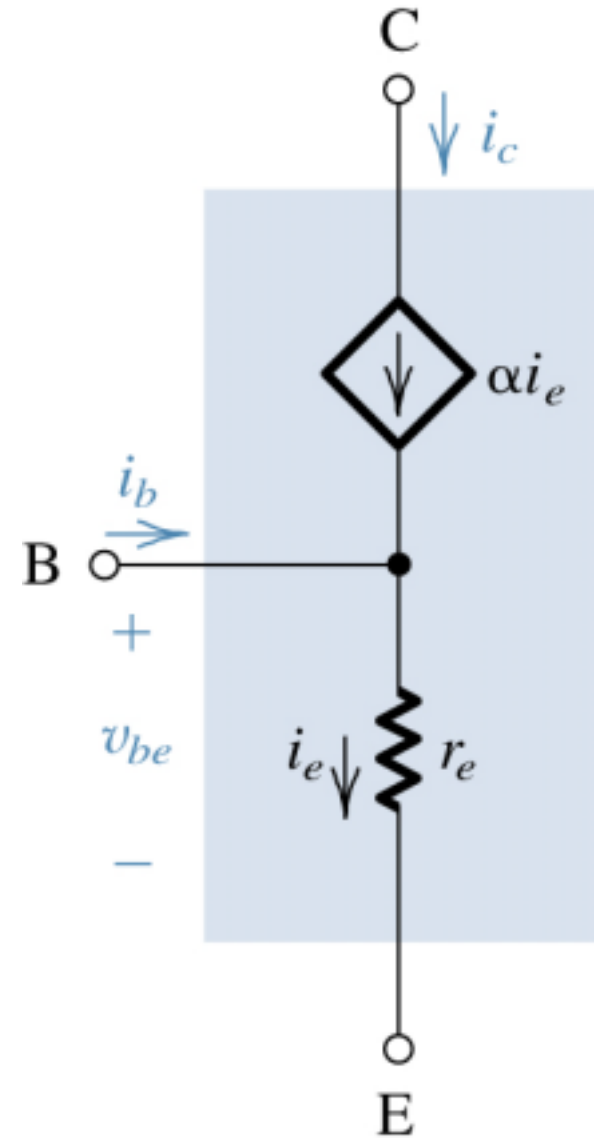


Calcular el valor de v_d de tal forma que $i_{E1} = 0.8I$

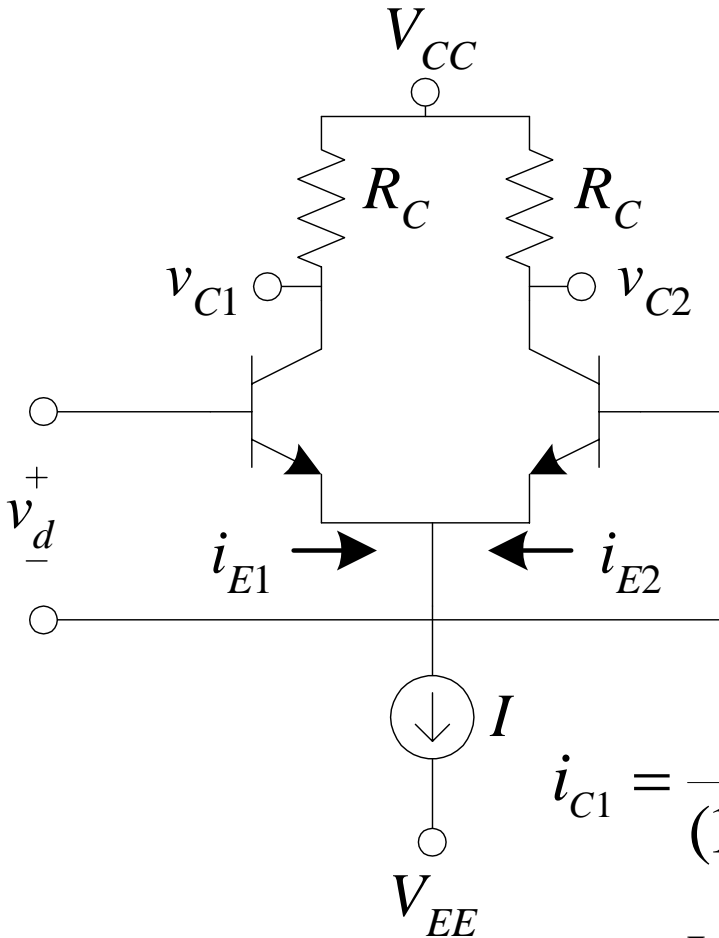
Modelos del BJT en Señal Pequeña (repaso)



$$g_m = I_C / V_T$$
$$r_e = \frac{V_T}{I_E} = \frac{\alpha}{g_m}$$



Análisis en Señal Pequeña



$$i_{C1} = \frac{\alpha I}{1 + e^{-v_d/V_T}} \quad i_{C2} = \frac{\alpha I}{1 + e^{v_d/V_T}}$$

$$i_{C1} = \frac{\alpha I e^{(v_d/2V_T)}}{e^{(v_d/2V_T)} + e^{-(v_d/2V_T)}}$$

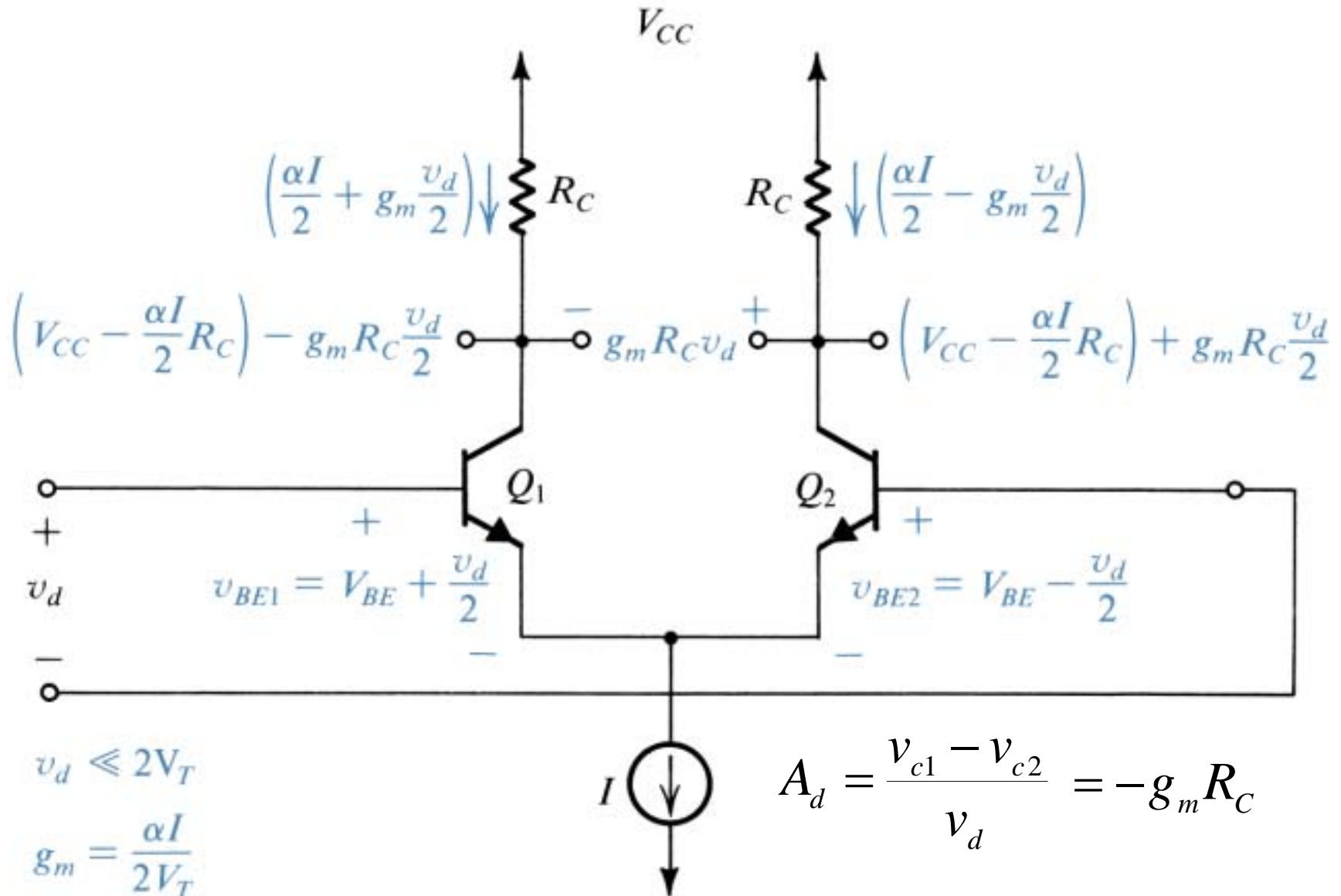
usando $e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots$

y suponiendo que $v_d \ll 2V_T$

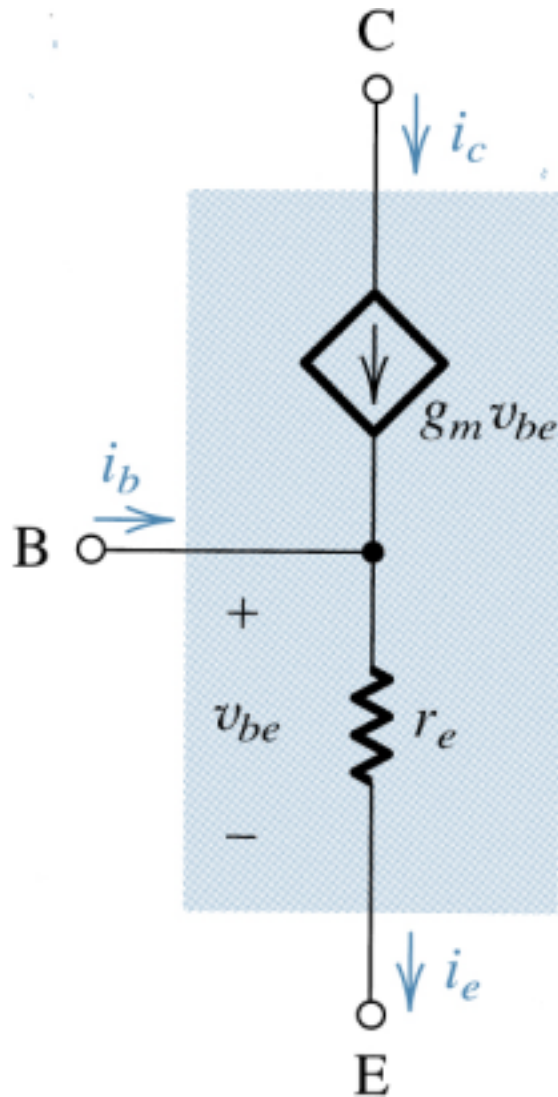
$$i_{C1} = \frac{\alpha I (1 + v_d / 2V_T)}{(1 + v_d / 2V_T) + (1 - v_d / 2V_T)} = \frac{\alpha I}{2} + \frac{\alpha I}{2V_T} \frac{v_d}{2}$$

$$i_{C1} = \frac{\alpha I}{2} + g_m \frac{v_d}{2} \quad , \quad \text{similarmente } i_{C2} = \frac{\alpha I}{2} - g_m \frac{v_d}{2}$$

Análisis en Señal Pequeña (cont.)

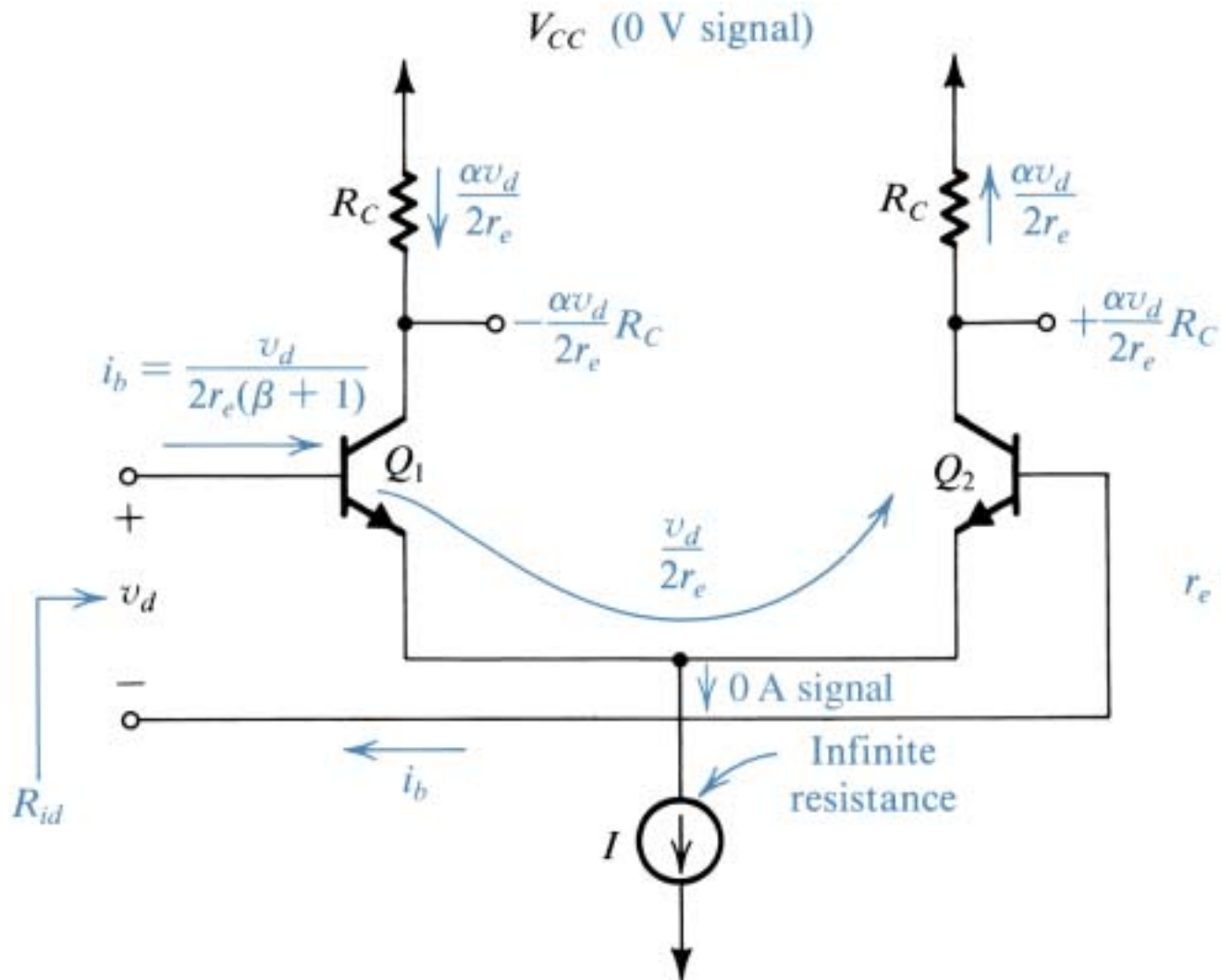


Modelo del BJT en Señal Pequeña (repaso)



$$g_m = I_C / V_T$$
$$r_e = \frac{V_T}{I_E} = \frac{\alpha}{g_m}$$

Análisis en Señal Pequeña (otro punto de vista)



$$R_{id} = (\beta + 1)2r_e$$

$$= 2r_\pi$$

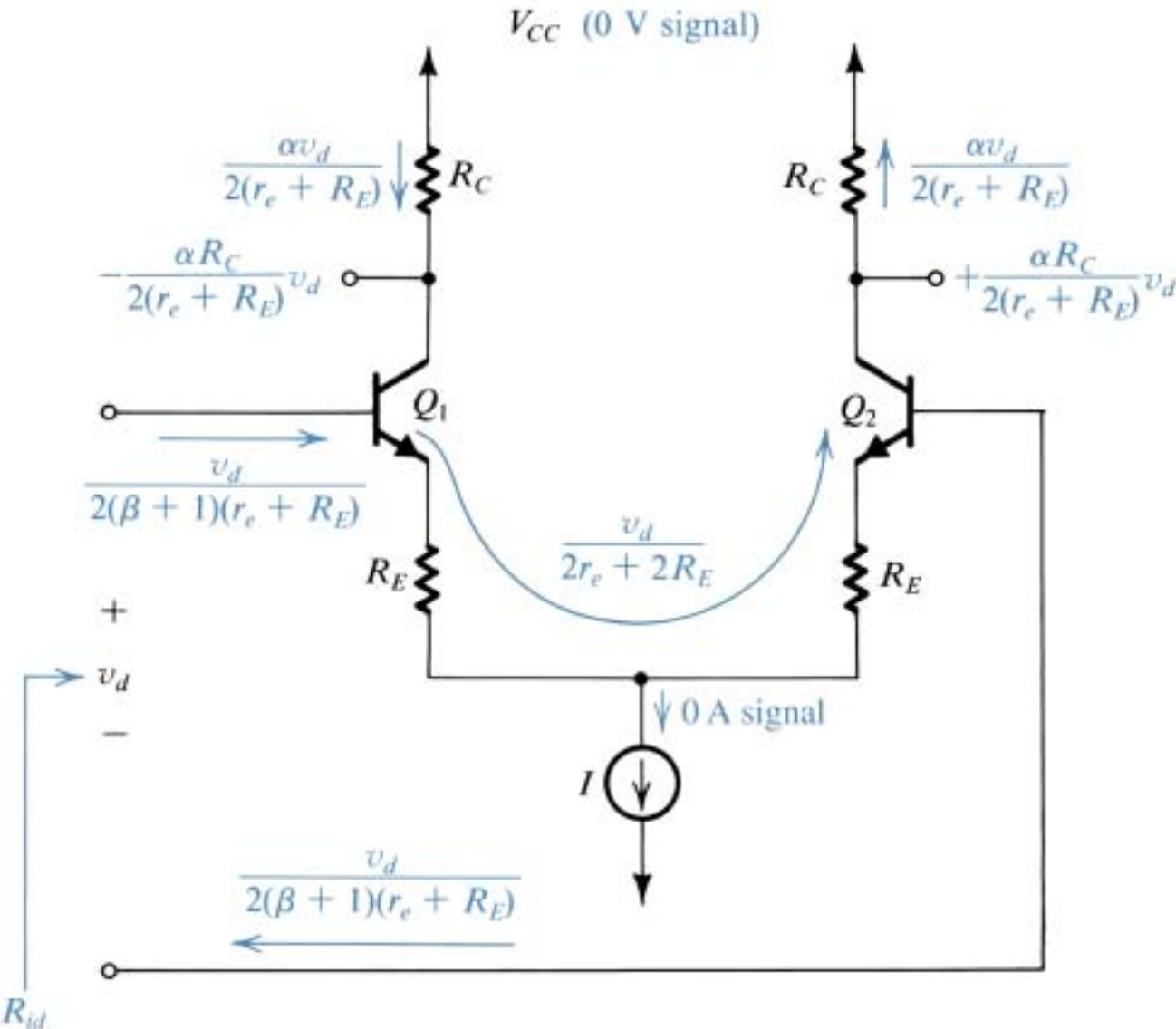
$$A_d = \frac{v_{c1} - v_{c2}}{v_d}$$

$$r_e = \frac{V_T}{I/2}$$

$$A_d = -\frac{\alpha}{r_e} R_C$$

$$= -g_m R_C$$

Amp. Dif. en Degeneración de Emisor



$$R_{id} = (\beta + 1)2(r_e + R_E)$$

$$R_{id} = 2[r_\pi + (\beta + 1)R_E]$$

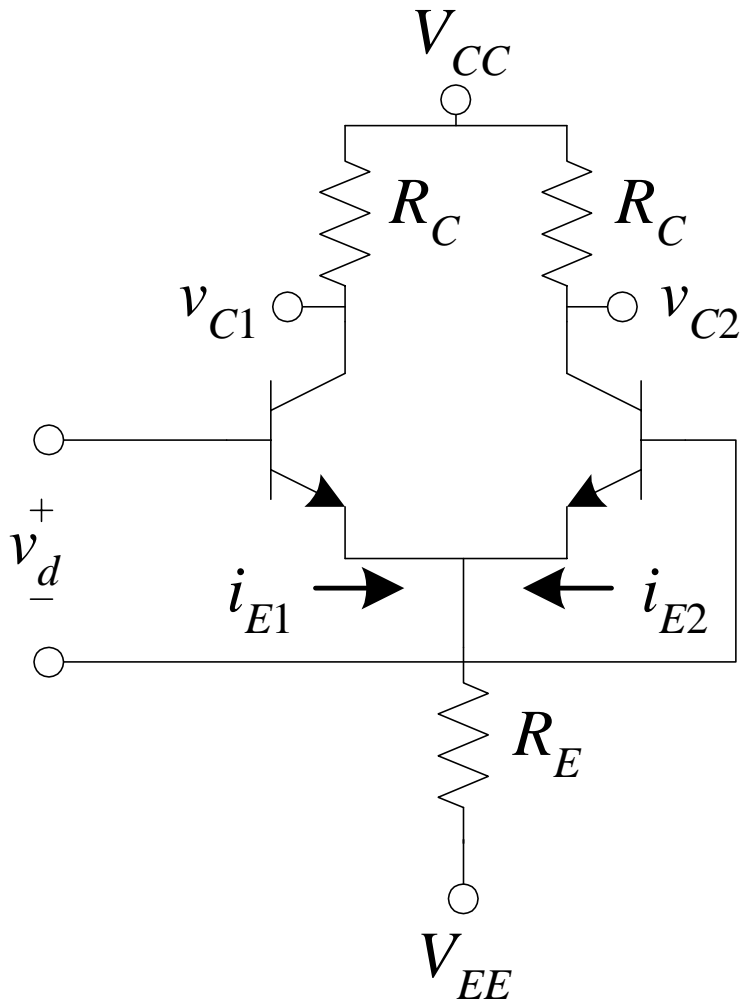
$$A_d = \frac{v_{c1} - v_{c2}}{v_d}$$

$$A_d = -\frac{\alpha R_C}{(r_e + R_E)}$$

si $R_E \gg r_e$ y $\beta \gg 1$

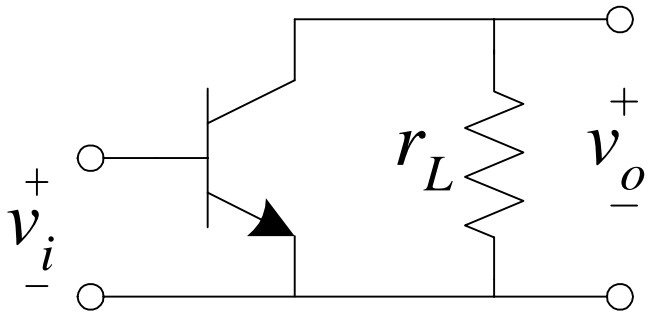
$$A_d = -\frac{R_C}{R_E}$$

Problema



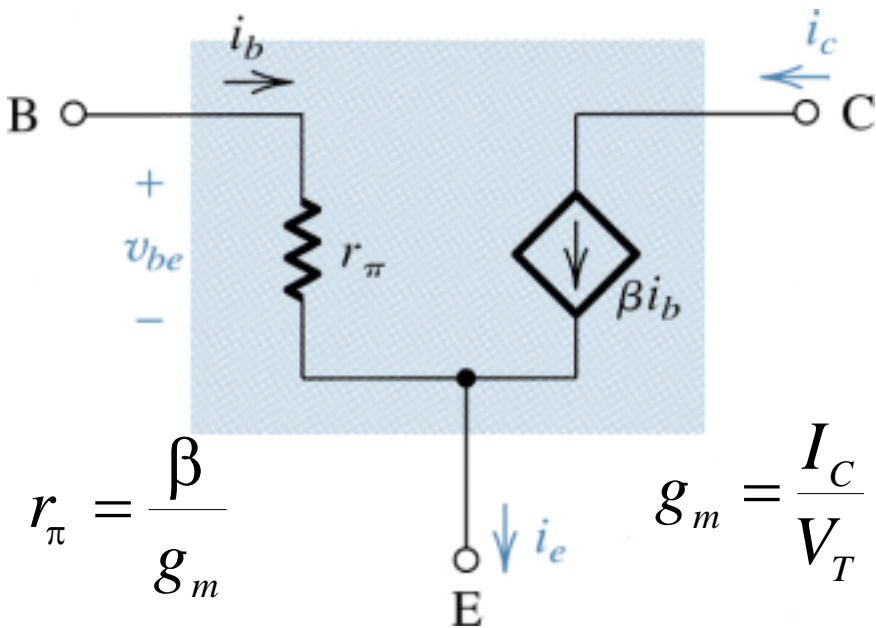
Suponiendo una $\beta = 150$ para Q_1 y Q_2 , y si $V_{cc} = 15\text{V}$, $R_c = 10\text{K}\Omega$, $R_E = 5\text{K}\Omega$, y $V_{EE} = -5.7\text{V}$, calcular A_d y Z_{in}

Emisor Común (repaso)



$$A_V = \frac{v_o}{v_i} = ?$$

$$Z_{in} = ?$$



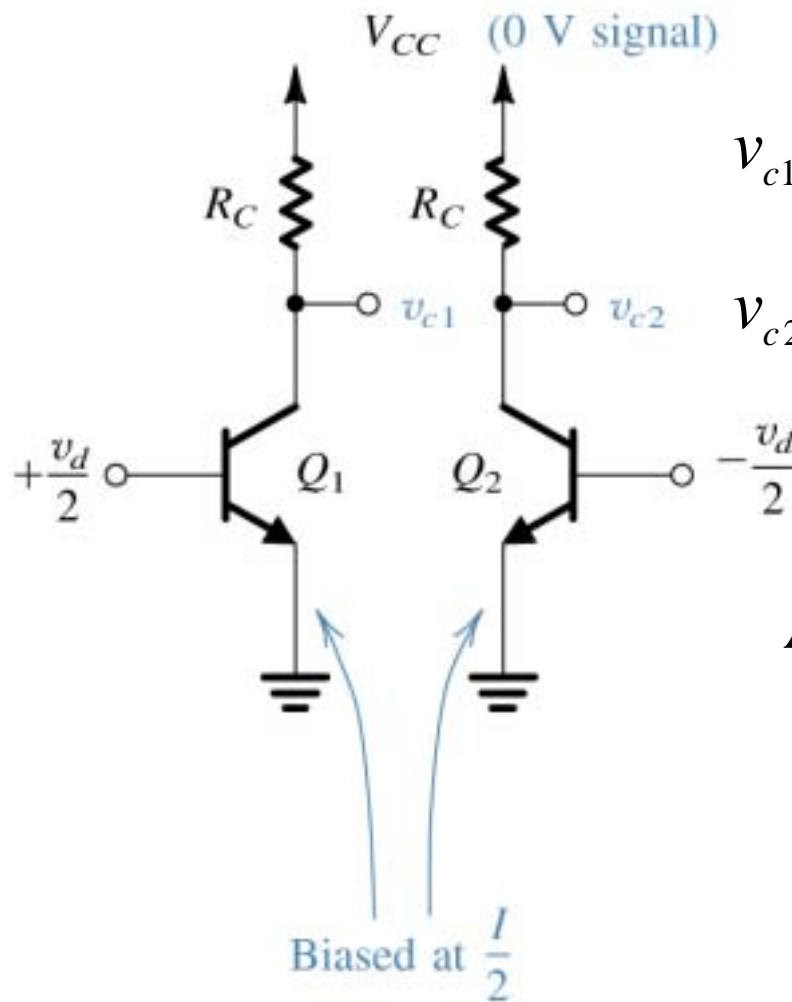
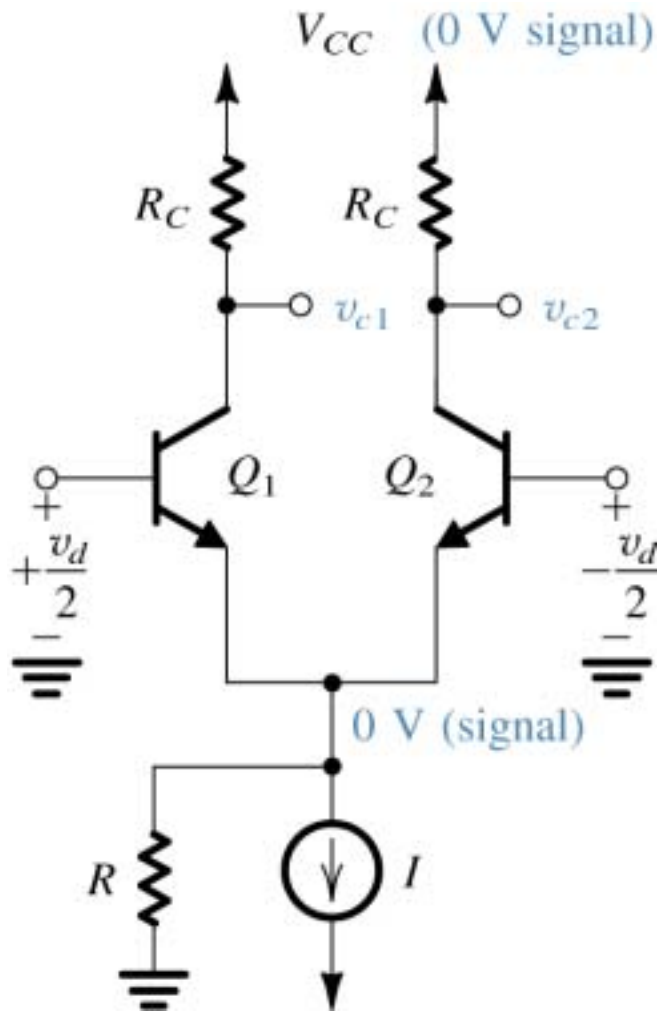
$$v_o = -\beta i_b r_L$$

$$v_i = i_b r_\pi$$

$$A_V = \frac{-\beta r_L}{r_\pi} = -g_m r_L$$

$$Z_{in} = r_\pi = \frac{\beta}{g_m}$$

Amp. Diferencial VS. Amp. en Emisor Común



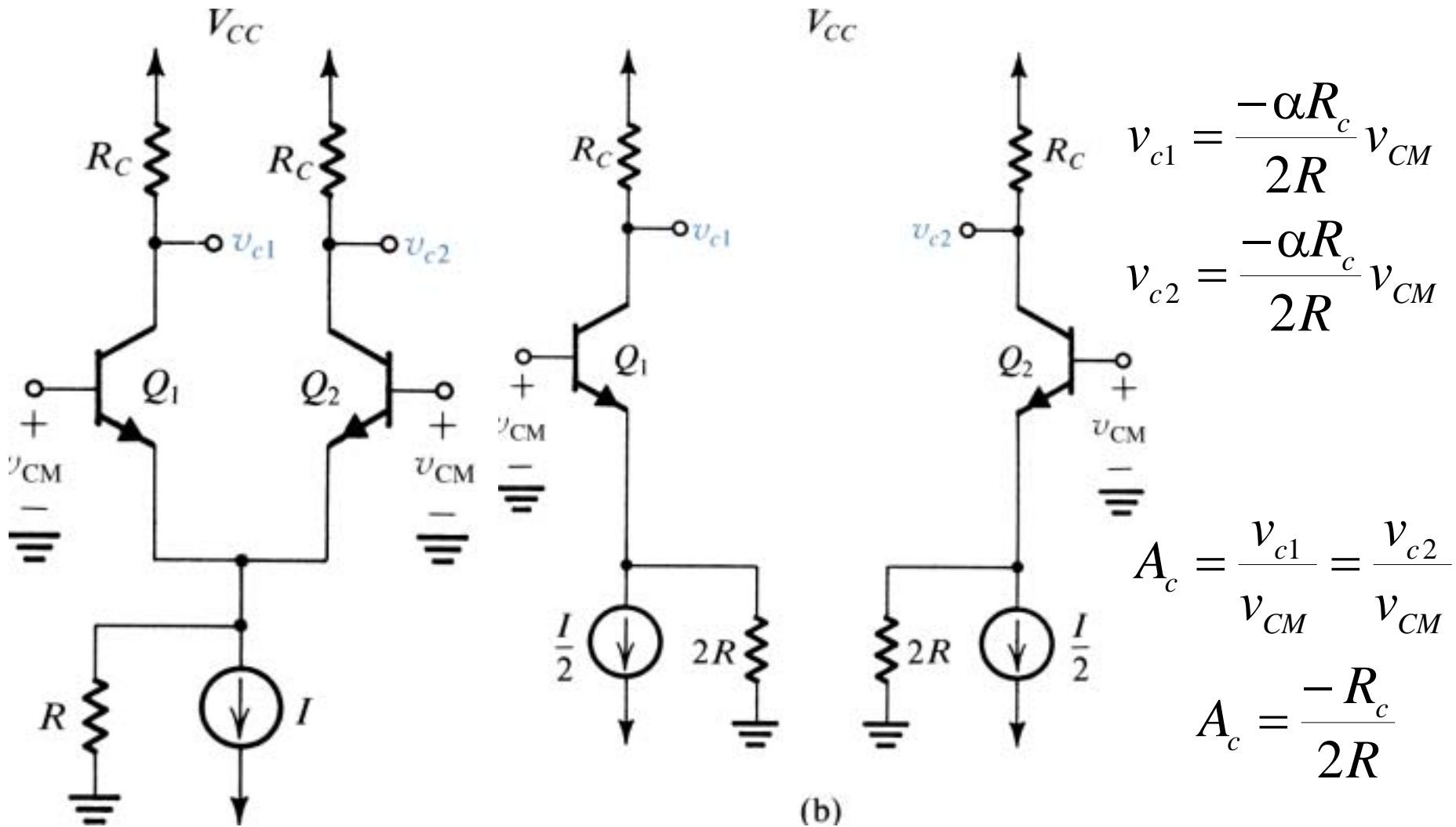
$$v_{c1} = -g_m R_c \frac{v_d}{2}$$

$$v_{c2} = +g_m R_c \frac{v_d}{2}$$

$$A_d = \frac{v_{c1} - v_{c2}}{v_d}$$

$$= -g_m R_c$$

Ganancia de Modo Común



Razón de Rechazo de Modo Común (CMRR)

$$CMRR = \left| \frac{A_d}{A_c} \right| = \left| \frac{-\frac{1}{2} g_m R_c}{-\frac{R_c}{2R}} \right| = g_m R$$

$$CMRR = 20 \log \left| \frac{A_d}{A_c} \right| \quad (\text{dB})$$

Ejercicios de Tarea

Resolver problemas 6.5, 6.7, 6.10, 6.12, 6.15, 6.18, 6.21, y 6.26 del libro de texto