

Amplificadores Diferenciales

(2a 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.

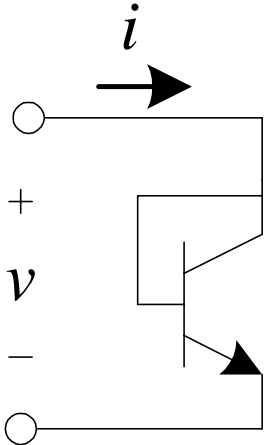
Amplificadores Diferenciales

- 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

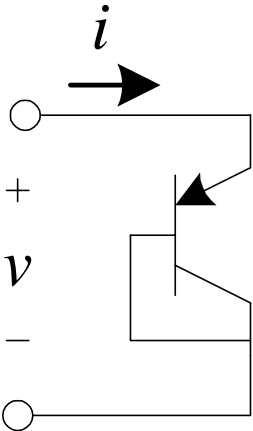
Polarización en Circuitos Integrados (CIs)

- Los circuitos de polarización con muchas resistencias y capacitores son inadecuados para CIs
- Es mucho más fácil fabricar transistores que resistencias y capacitores en un CI
- Las características internas de los transistores en un CI pueden igualarse sin dificultad.

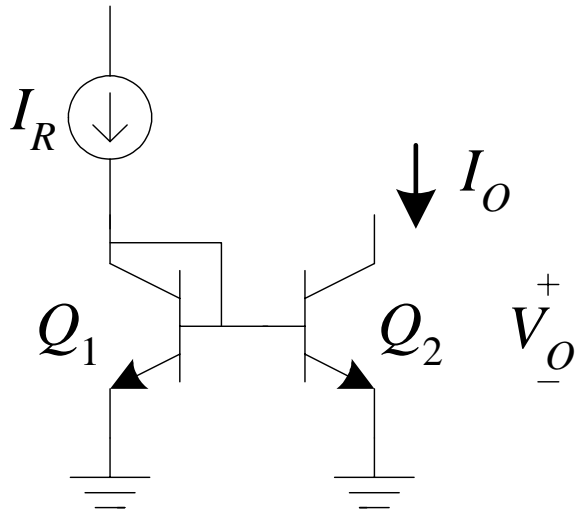
Transistor Conectado como Diodo



$$i = \frac{I_S}{\alpha} e^{v/V_T}$$



Espejo de Corriente con BJTs

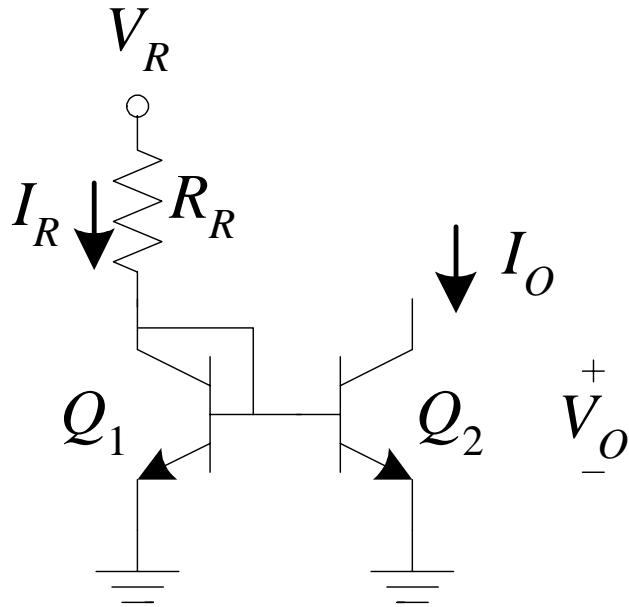


$$I_R = I_S e^{\frac{V_{BE}}{\eta V_T}}$$

$$I_O = I_S e^{\frac{V_{BE}}{\eta V_T}}$$

$$I_O = I_R$$

Fuente de Corriente con BJTs



$$I_O = I_R$$

$$I_R = \frac{V_R - V_{BE}}{R_R}$$

Generadores de Fuentes de Corriente

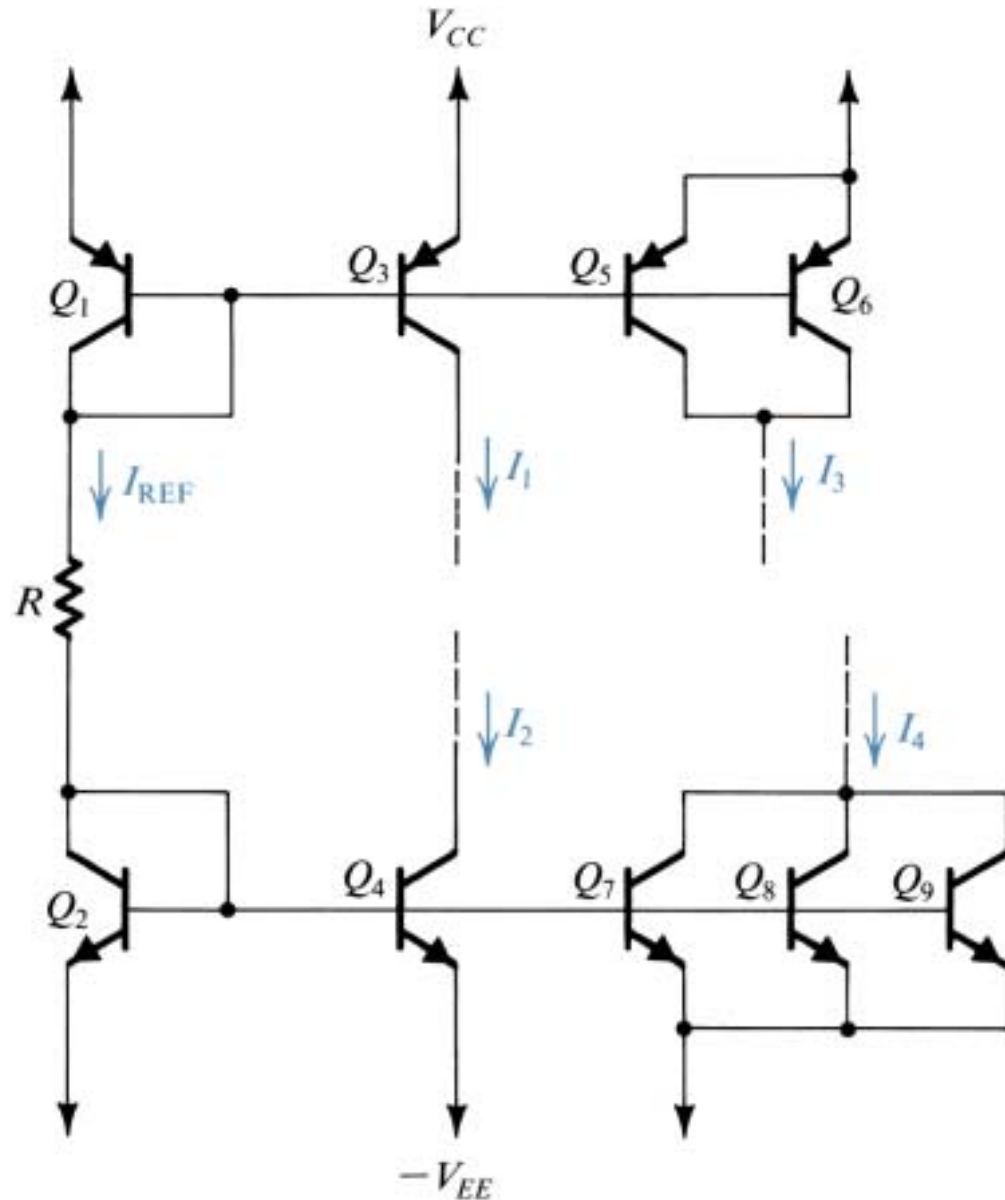
$$I_{REF} = \frac{V_{CC} + V_{EE} - V_{EB1} - V_{BE2}}{R}$$

$$I_1 \approx I_{REF}$$

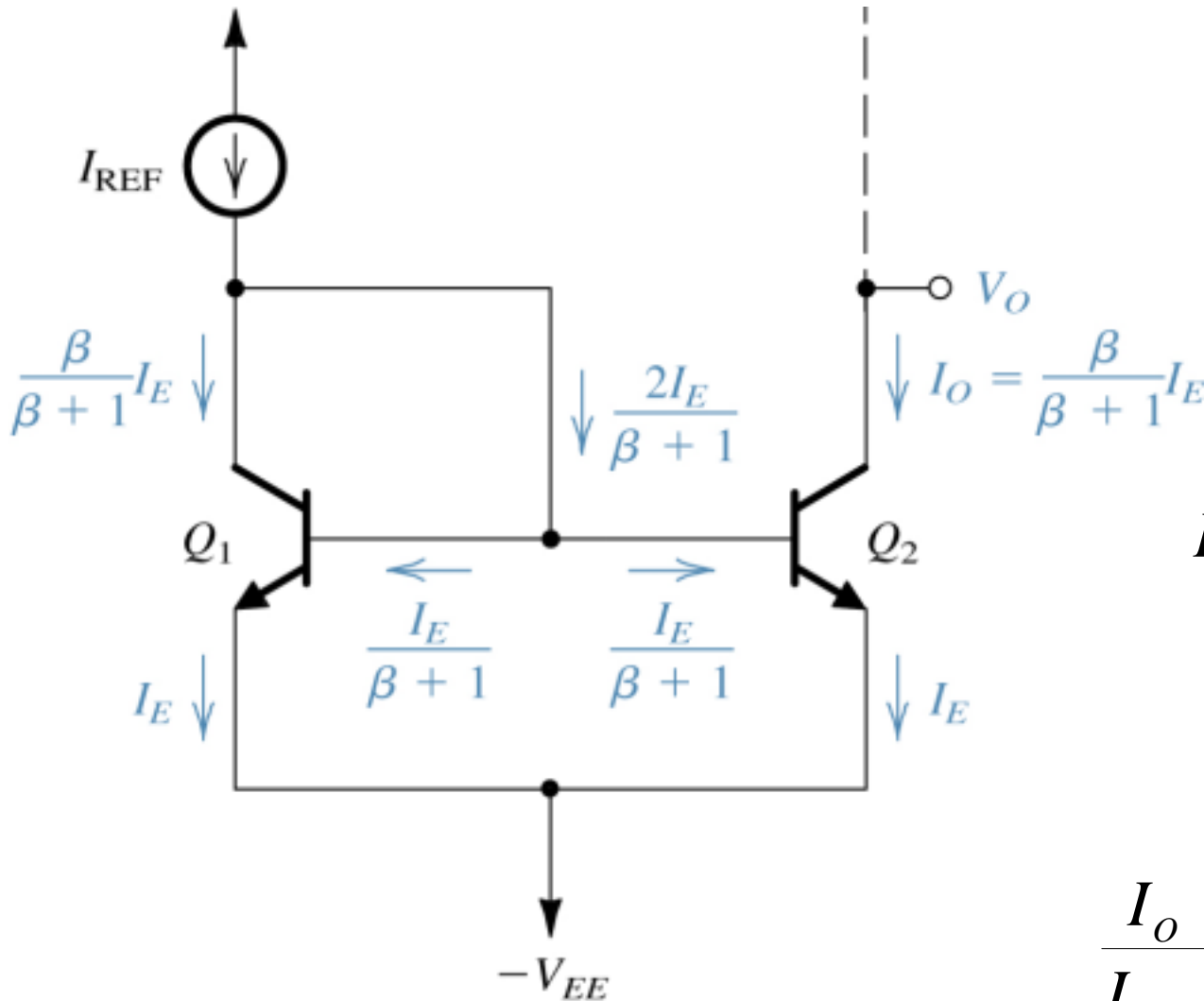
$$I_2 \approx I_{REF}$$

$$I_3 \approx 2I_{REF}$$

$$I_4 \approx 3I_{REF}$$



Espejo de Corriente – Efecto de la β



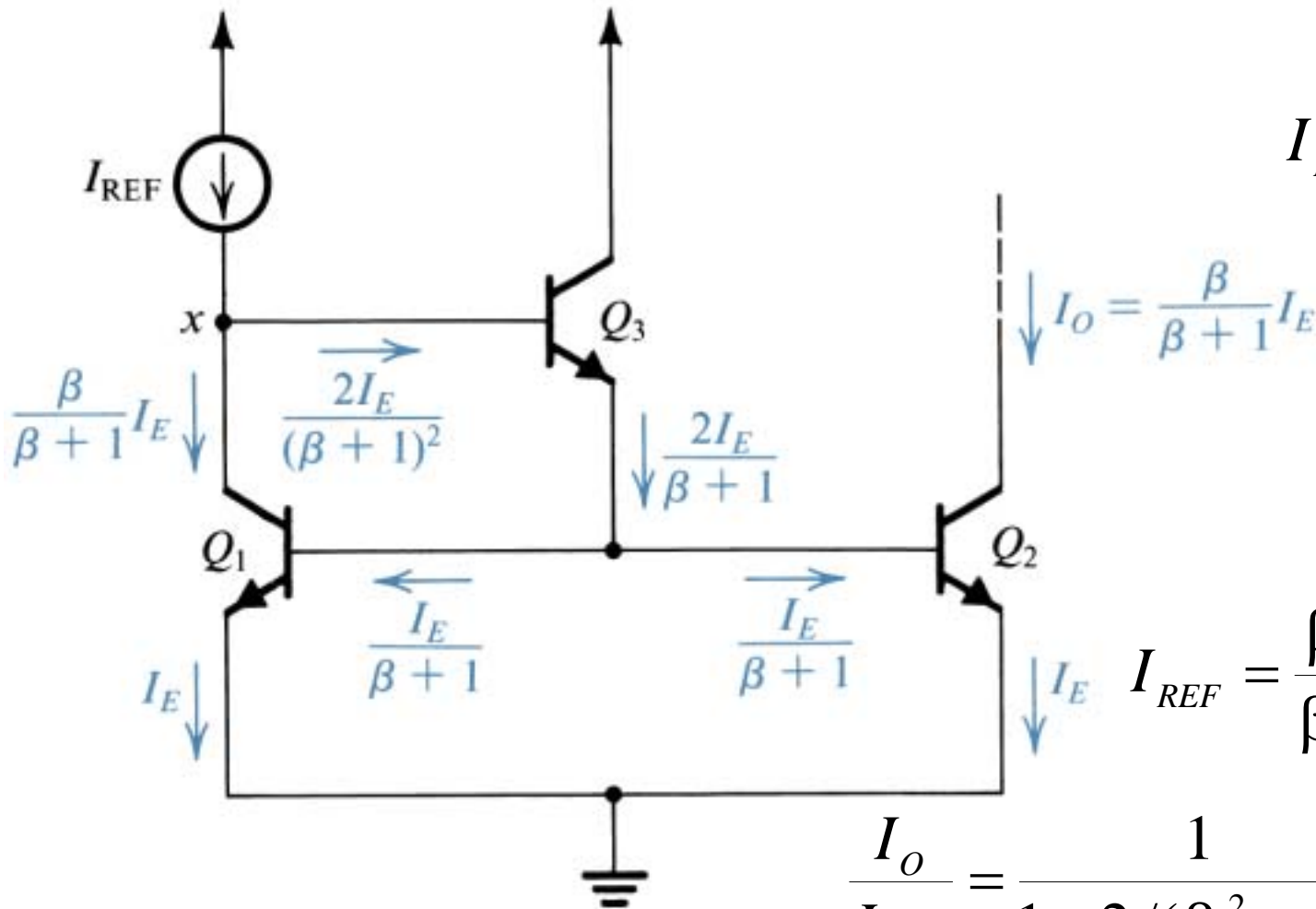
$$I_E = \frac{I_S}{\alpha} e^{v_{BE}/V_T}$$

$$I_{REF} = \frac{\beta I_E}{\beta + 1} + \frac{2I_E}{\beta + 1}$$

$$I_{REF} = \frac{\beta + 2}{\beta + 1} I_E$$

$$\frac{I_O}{I_{REF}} = \frac{\beta}{\beta + 2} = \frac{1}{1 + 2/\beta}$$

Espejo de Corriente con Amplificación de β

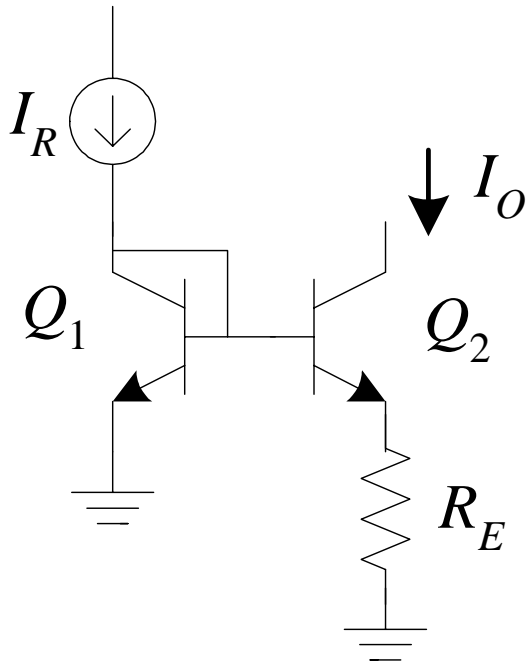


$$I_E = \frac{I_S}{\alpha} e^{v_{BE}/V_T}$$

$$I_{REF} = \frac{\beta I_E}{\beta + 1} + \frac{2I_E}{(\beta + 1)^2}$$

$$\frac{I_O}{I_{REF}} = \frac{1}{1 + 2/(\beta^2 + \beta)} \approx \frac{1}{1 + 2/\beta^2}$$

Espejo de Corriente tipo Widlar

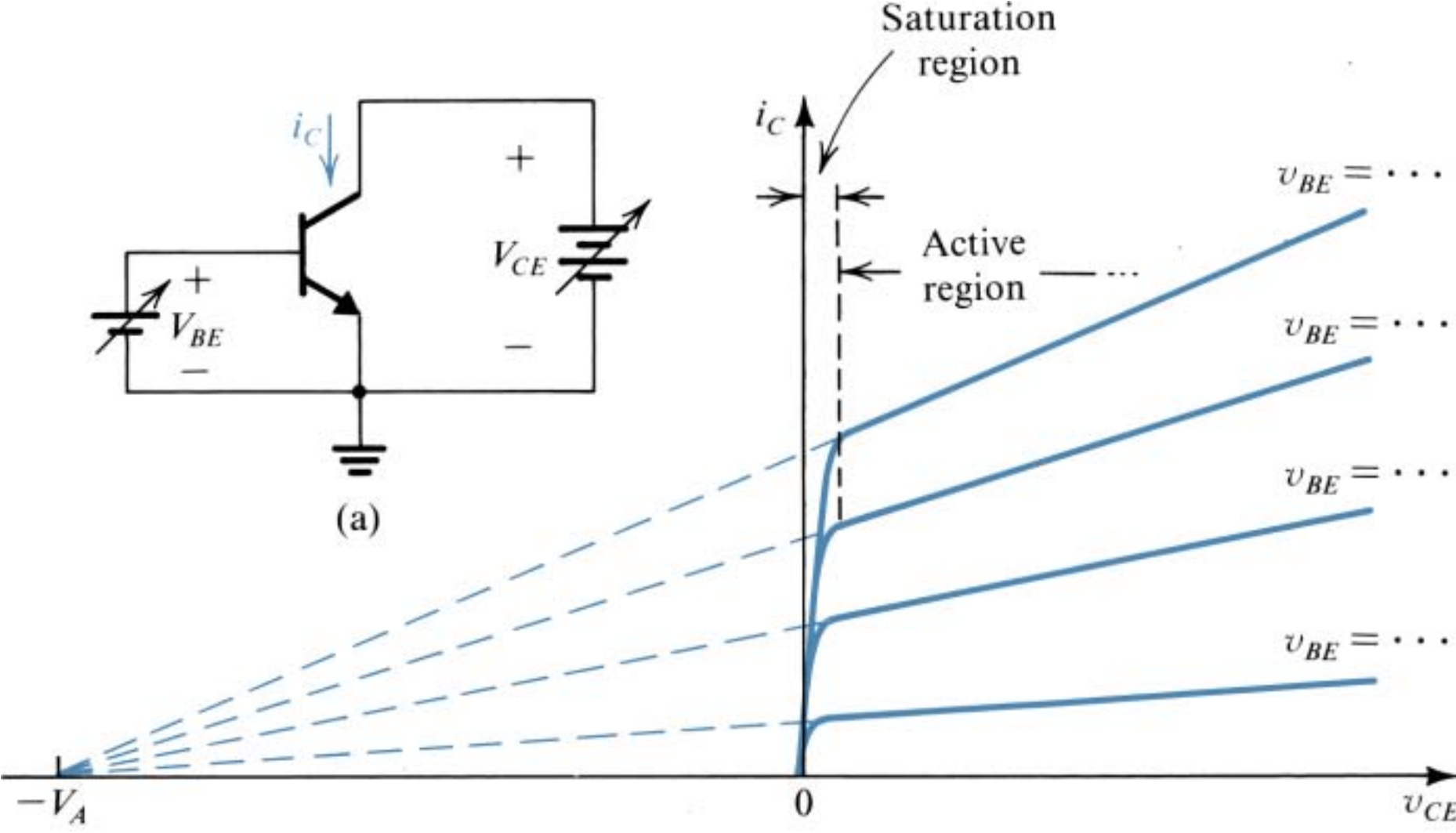


$$V_{BE1} - V_{BE2} - I_O R_E = 0$$

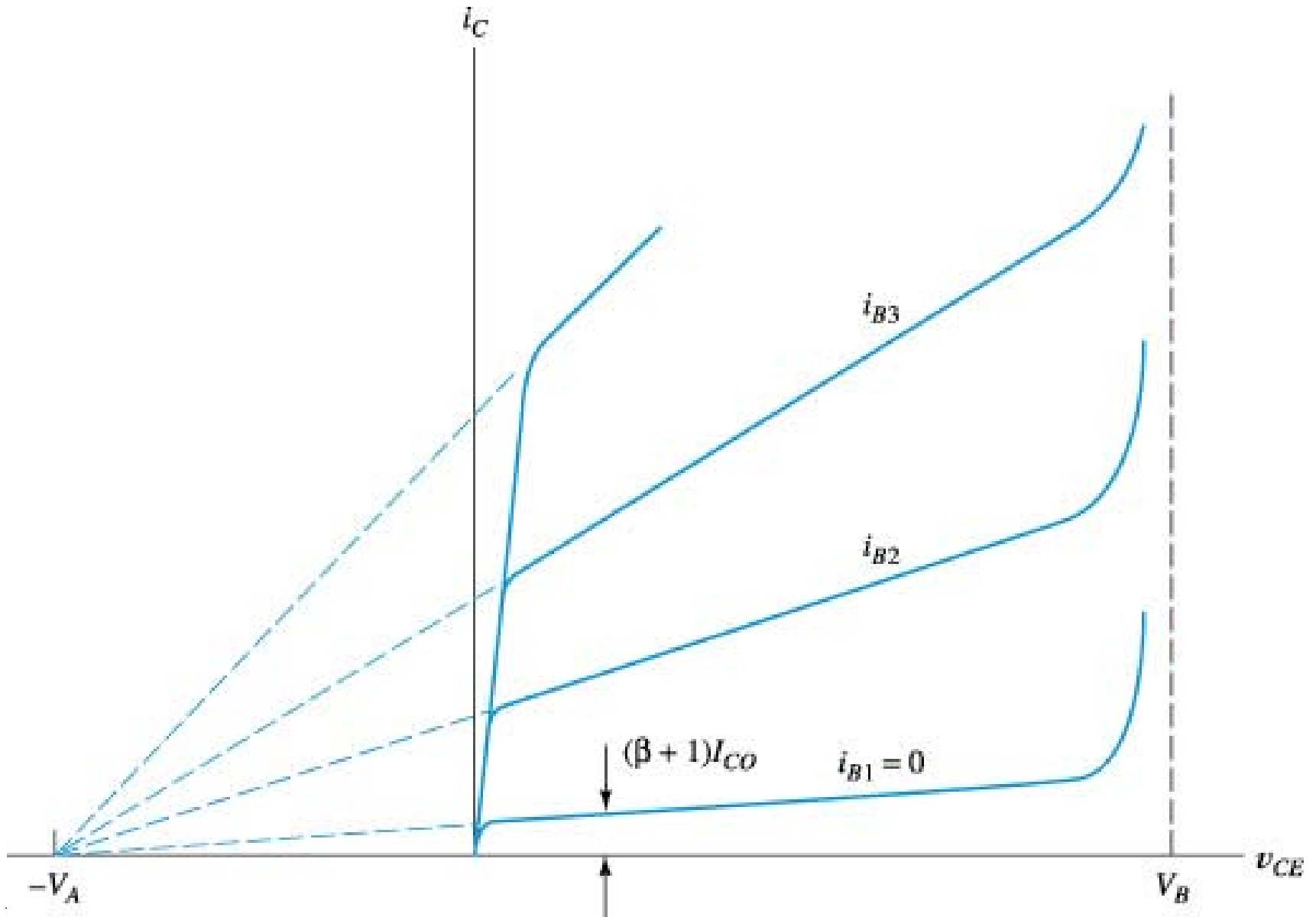
$$V_T \ln \frac{I_R}{I_S} - V_T \ln \frac{I_O}{I_S} - I_O R_E = 0$$

$$V_T \ln \frac{I_R}{I_O} = I_O R_E$$

Efecto Early (repaso)



Efecto Early (cont.)



Modelando el Efecto Early

NPN

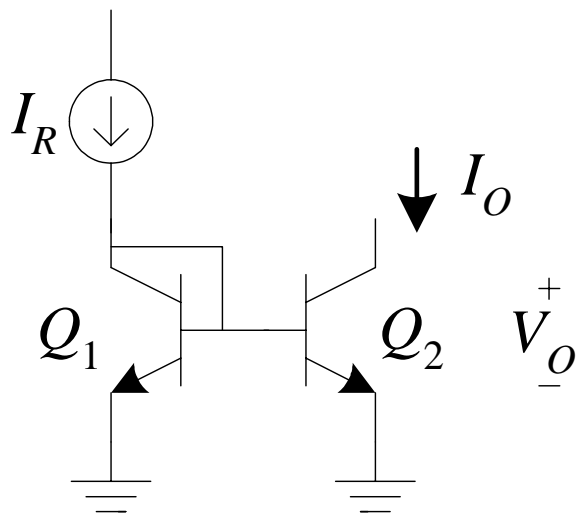
$$i_C = I_S e^{v_{BE}/V_T} \left(1 + \frac{V_{CE}}{V_A} \right)$$

PNP

$$i_C = I_S e^{v_{EB}/V_T} \left(1 + \frac{V_{EC}}{V_A} \right)$$

V_A Voltaje Early

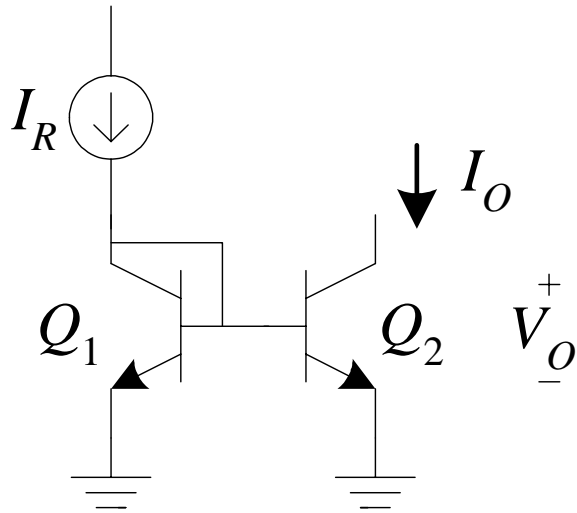
Efectos del Voltaje Early en el Espejo



$$I_R = I_S e^{\frac{V_{BE}}{\eta V_T}} \left(1 + \frac{V_{BE}}{V_A} \right) \quad I_O = I_S e^{\frac{V_{BE}}{\eta V_T}} \left(1 + \frac{V_O}{V_A} \right)$$

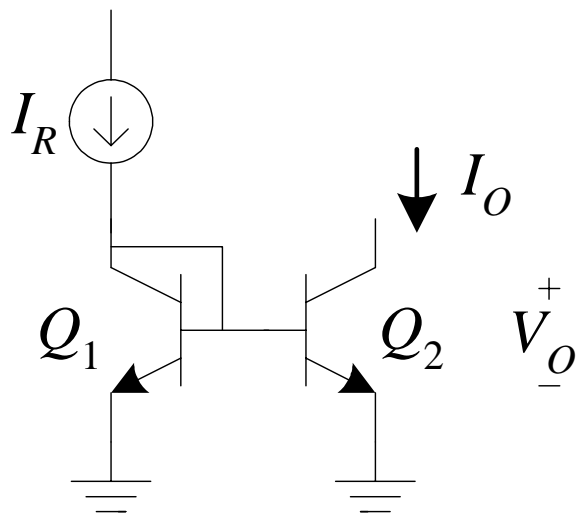
$$\frac{I_O}{I_R} = \frac{1 + \frac{V_O}{V_A}}{1 + \frac{V_{BE}}{V_A}} \approx 1 + \frac{V_O}{V_A}$$

Problema



Suponiendo $\beta = 70$, $V_A = 50$ V,
 $V_O = 10$ V, e $I_R = 100$ μ A, calcular I_O

Ejemplo (Prob. 6.45 del texto)



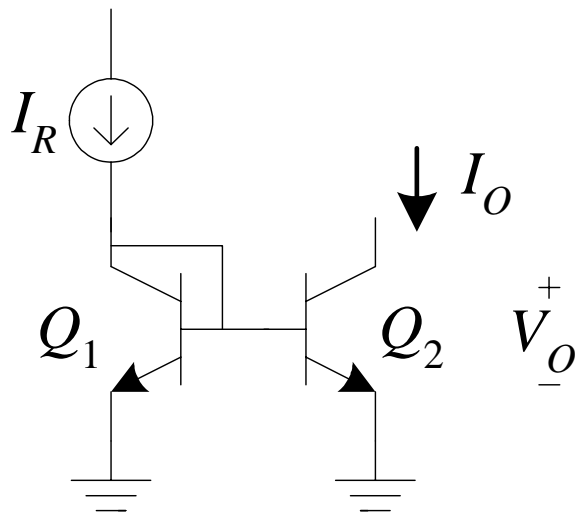
Suponiendo $\beta = 100$ y $V_A = 100$ V,

- a) Demostrar que este circuito modela la salida del espejo para $V_O \geq 0.7$ V (la región activa de Q_2):

$$\frac{I_R}{1 + 2/\beta} - \frac{0.7}{r_o} \approx \frac{V_A}{I_R}$$

- b) Encontrar I_O para $I_R = 100\mu\text{A}$ y $V_O = i) 1$ V, $ii) 5$ V, $iii) 15$ V

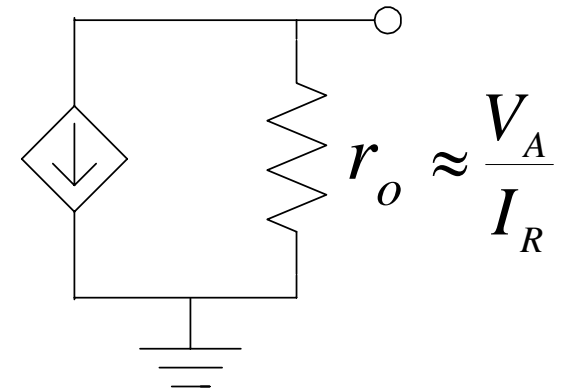
Otra Solución al Prob. 6.45



Suponiendo $\beta = 100$ y $V_A = 100$ V,

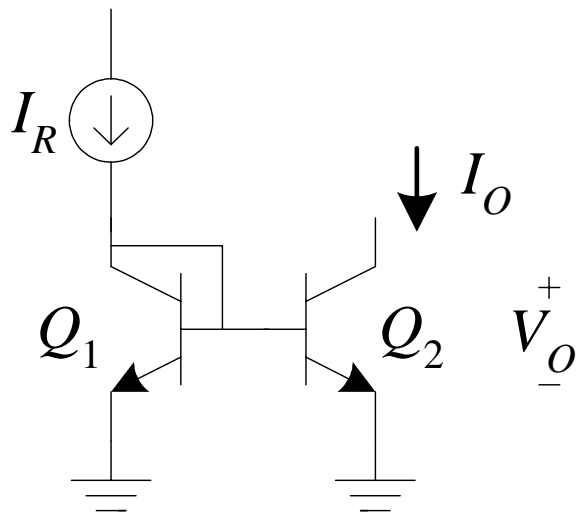
- a) Demostrar que este circuito modela la salida del espejo para $V_O \geq 0.7$ V (la región activa de Q_2):

$$\frac{I_R - (0.7 / r_o)}{1 + 2 / \beta}$$



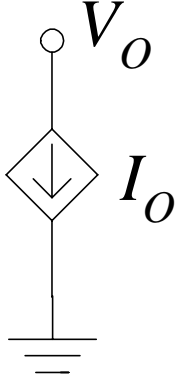
- b) Encontrar I_O para $I_R = 100\mu\text{A}$ y $V_O = i) 1$ V, $ii) 5$ V, $iii) 15$ V

Una Solución Más Exacta al Prob. 6.45



Suponiendo $\beta = 100$ y $V_A = 100$ V,

- a) Demostrar que este circuito modela la salida del espejo para $V_O \geq 0.7$ V (la región activa de Q_2):

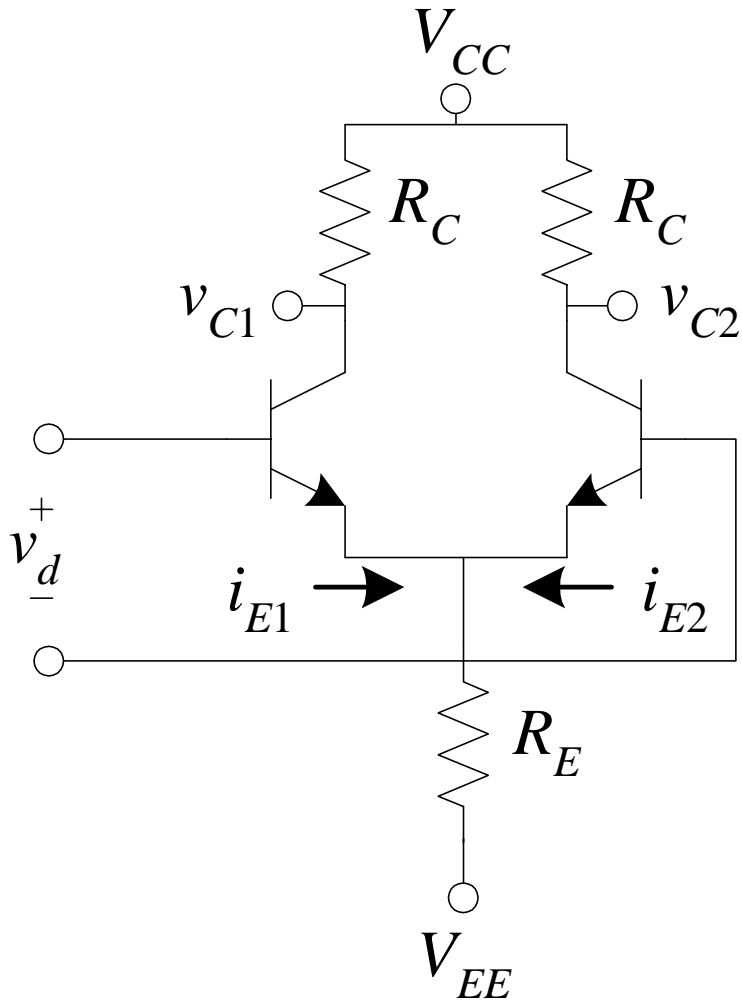
$$I_O = \frac{I_R \left(1 + \frac{V_O}{V_A} \right)}{\left(1 + \frac{V_{BE}}{V_A} \right) \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) + \left(1 + \frac{V_O}{V_A} \right) \left(\frac{1}{\beta} \right)}$$


- b) Encontrar I_O para $I_R = 100\mu\text{A}$ y $V_O =$ i) 1V, ii) 5V, iii) 15V

Ejercicios de Tarea

- Estudiar ejemplo 6.3
- Resolver problemas 6.39, 6.40, 6.42, 6.43, y 6.46 del libro de texto

Amp. Dif. BJT con Carga Resistiva



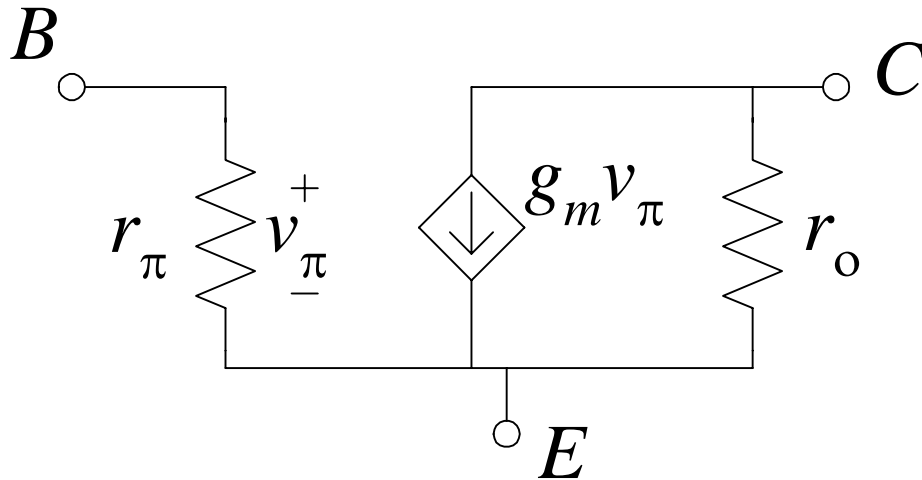
Suponiendo una β grande para Q_1 y Q_2 , y si $V_{cc} = 15V$, $R_c = 10K\Omega$, $R_E = 5K\Omega$, y $V_{EE} = -5.7V$, calcular A_d

$$i_{E1} + i_{E2} = I = \frac{-0.7 + 5.7}{5K} = 1mA$$

$$g_m = \frac{0.5mA}{25mV} = 0.02\Omega^{-1}$$

$$A_d = -(0.02)(10K) = -200$$

Modelo del BJT en Señal Pequeña (repaso)



$$g_m = \frac{I_C}{V_T}$$

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

$$r_o = \frac{V_A}{I_C}$$

V_A : Voltaje Early

Amp. Dif. BJT con Carga Activa

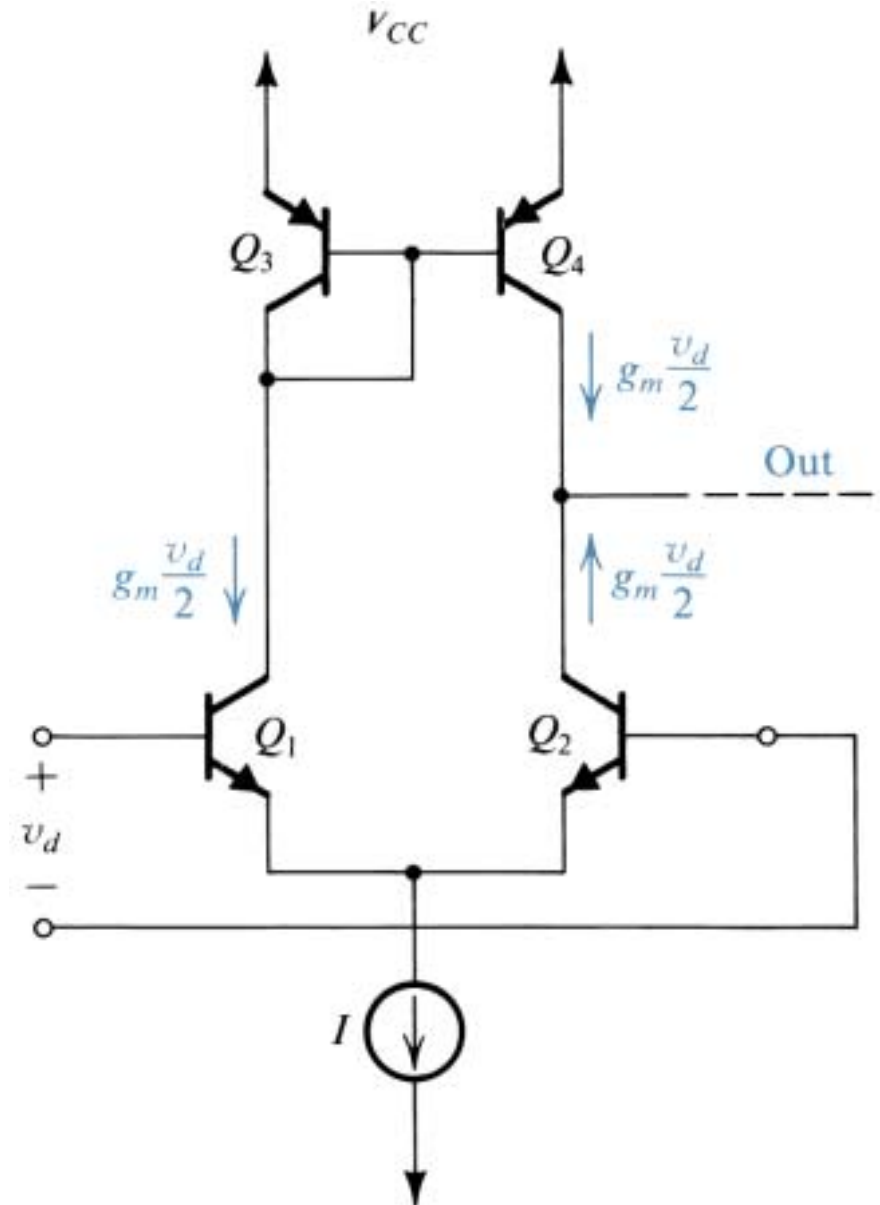
$$I_o = 0$$

$$i_o = g_m v_d$$

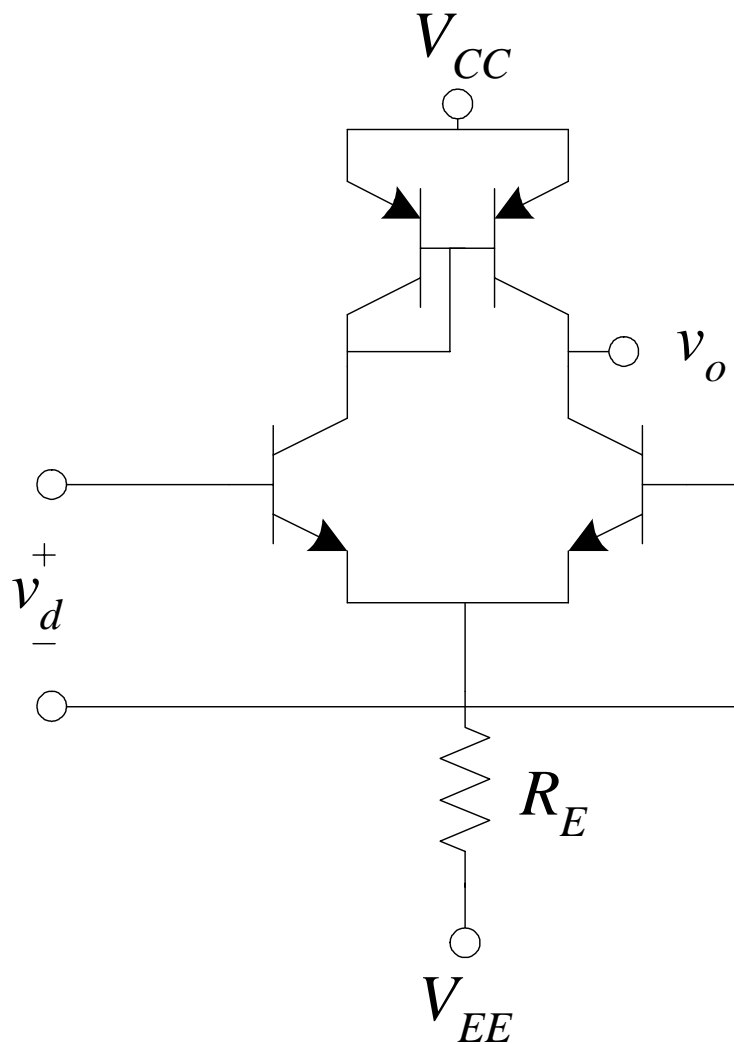
$$v_o = g_m v_d R_o$$

$$R_o = r_{o2} \parallel r_{o4} = \frac{r_o}{2}$$

$$\frac{v_o}{v_d} = \frac{1}{2} g_m r_o = \frac{V_A}{2V_T}$$



Problema



Suponiendo $\beta = 150$ y $V_A = 100V$ para los transistores, y si $V_{CC} = 15V$, $R_E = 5K\Omega$, y $V_{EE} = -5.7V$, calcular A_d

Ejercicios de Tarea

- Resolver problemas 6.71, y 6.73 del libro de texto