

# **Amplificadores Multietapa**

**Dr. José Ernesto Rayas Sánchez**

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

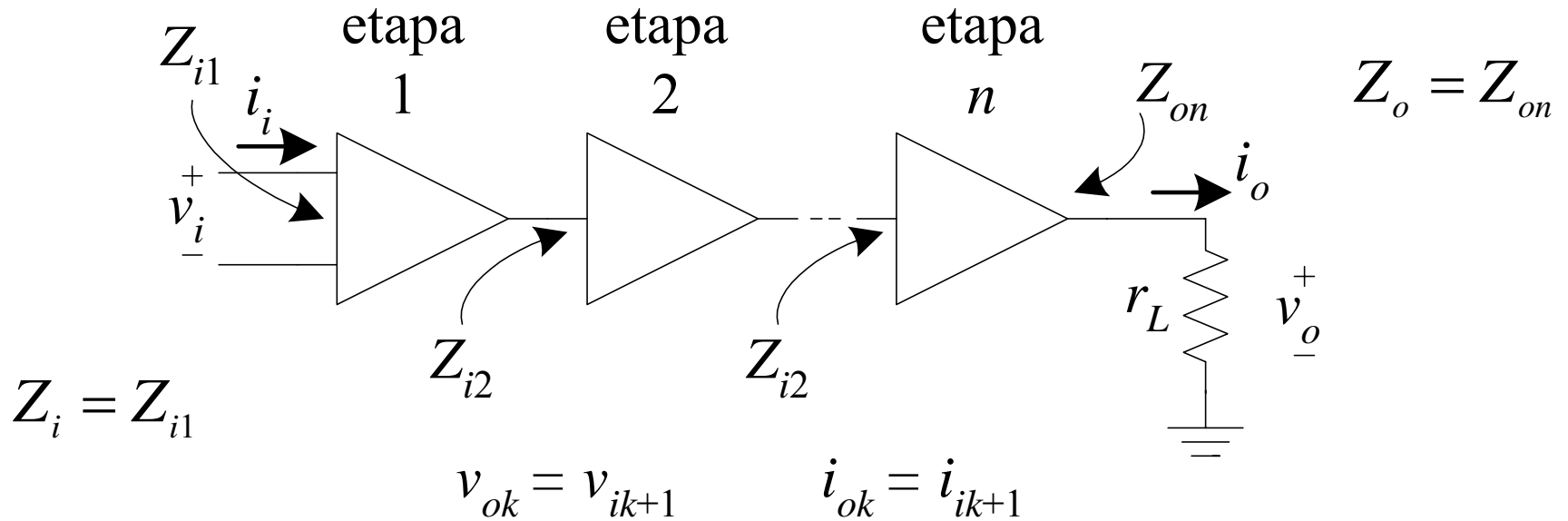
A.S. Sedra and K.C. Smith, *Microelectronic Circuits*. New York, NY: Oxford University Press, 1998.

# Introducción

---

- La mayoría de los amplificadores prácticos consisten de varias etapas de amplificación
- Las etapas de entrada proveen de alta impedancia de entrada e inmunidad al ruido (CMRR)
- Las etapas intermedias producen la mayor parte de la ganancia
- Las etapas de salida proveen de una baja impedancia de salida y hacen el ajuste de niveles de C.D.

# Amplificador Genérico de $n$ Etapas



$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = (A_{v1})(A_{v2}) \dots (A_{vn})$$

$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = (A_{i1})(A_{i2}) \dots (A_{in})$$

$$A_v A_i = \left( \frac{i_o r_L}{i_i Z_i} \right) \left( \frac{i_o}{i_i} \right) = \frac{\frac{1}{2} i_o^2 r_L}{\frac{1}{2} i_i^2 Z_i} = \frac{p_o}{p_i} = A_p$$

# Tipos de Acople entre Etapas

---

- Capacitivo
- Inductivo
- Directo
- Óptico

# Acople Capacitivo

---

- Ventajas

  - Independiza las polarizaciones

  - En frecuencias medias y altas puede ignorarse

  - Adecuado para implementaciones discretas

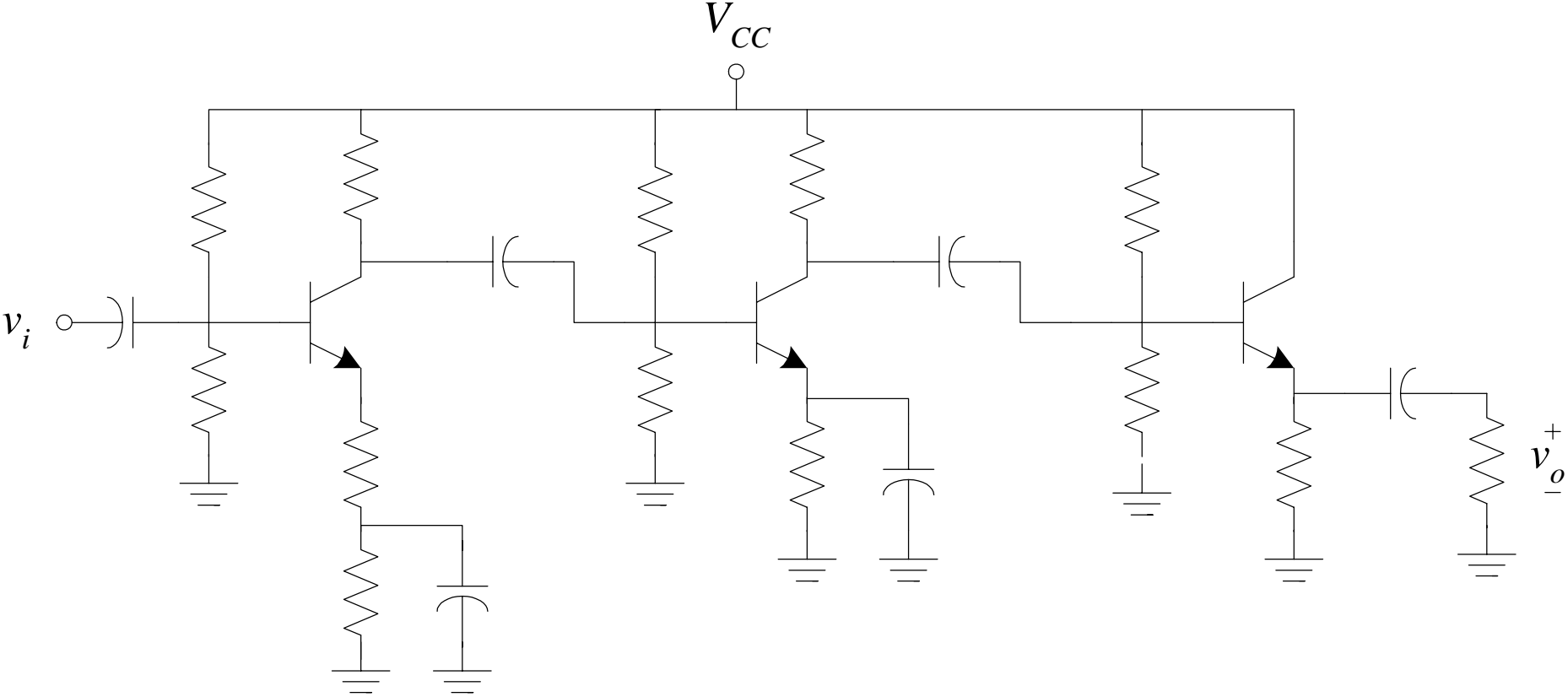
- Desventajas

  - Afecta al amplificador en frecuencias bajas

  - Dificulta el acoplamiento de impedancias

  - Dificulta la miniaturización (CIs)

# Acople Capacitivo (ejemplo)



# Acople Inductivo

---

- Ventajas

  - Independiza las polarizaciones

  - Produce aislamiento eléctrico

  - Facilita el acoplamiento de impedancias

  - Permite la sintonización del acoplamiento

- Desventajas

  - Los transformadores son voluminosos y pesados

  - Introduce no-linealidades debidas al núcleo del transformador

  - Afecta tanto a bajas como a altas frecuencias

# Acople Directo

---

- Ventajas

  - Permite amplificar señales de C.D.

  - Bajo costo

  - Ideales para implementaciones en CIs

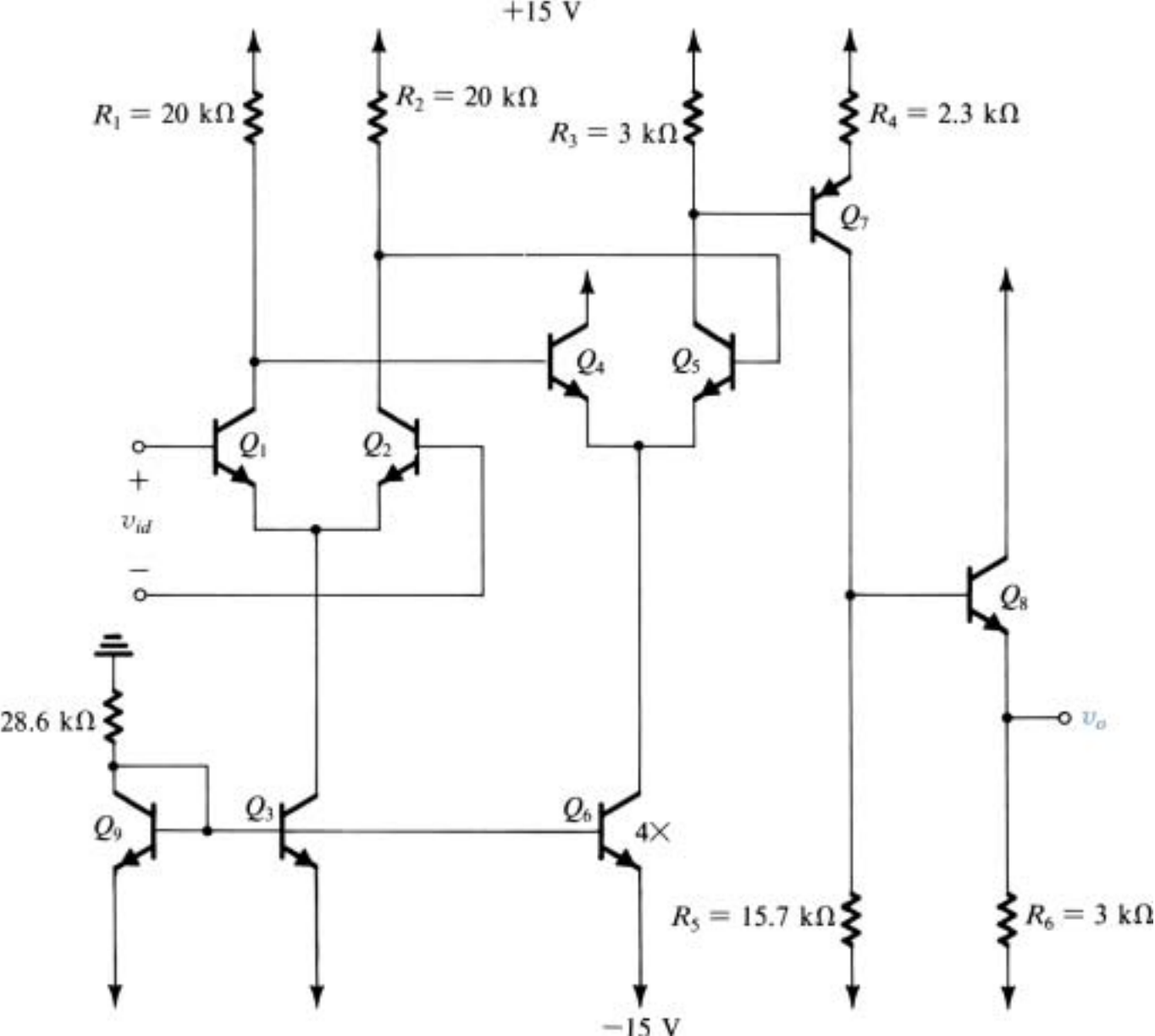
- Desventajas

  - Las polarizaciones de las etapas son mutuamente dependientes

  - Su diseño puede ser complicado



# Ejemplo de Acople Directo



# Ejemplo de Acople Directo (cont.)

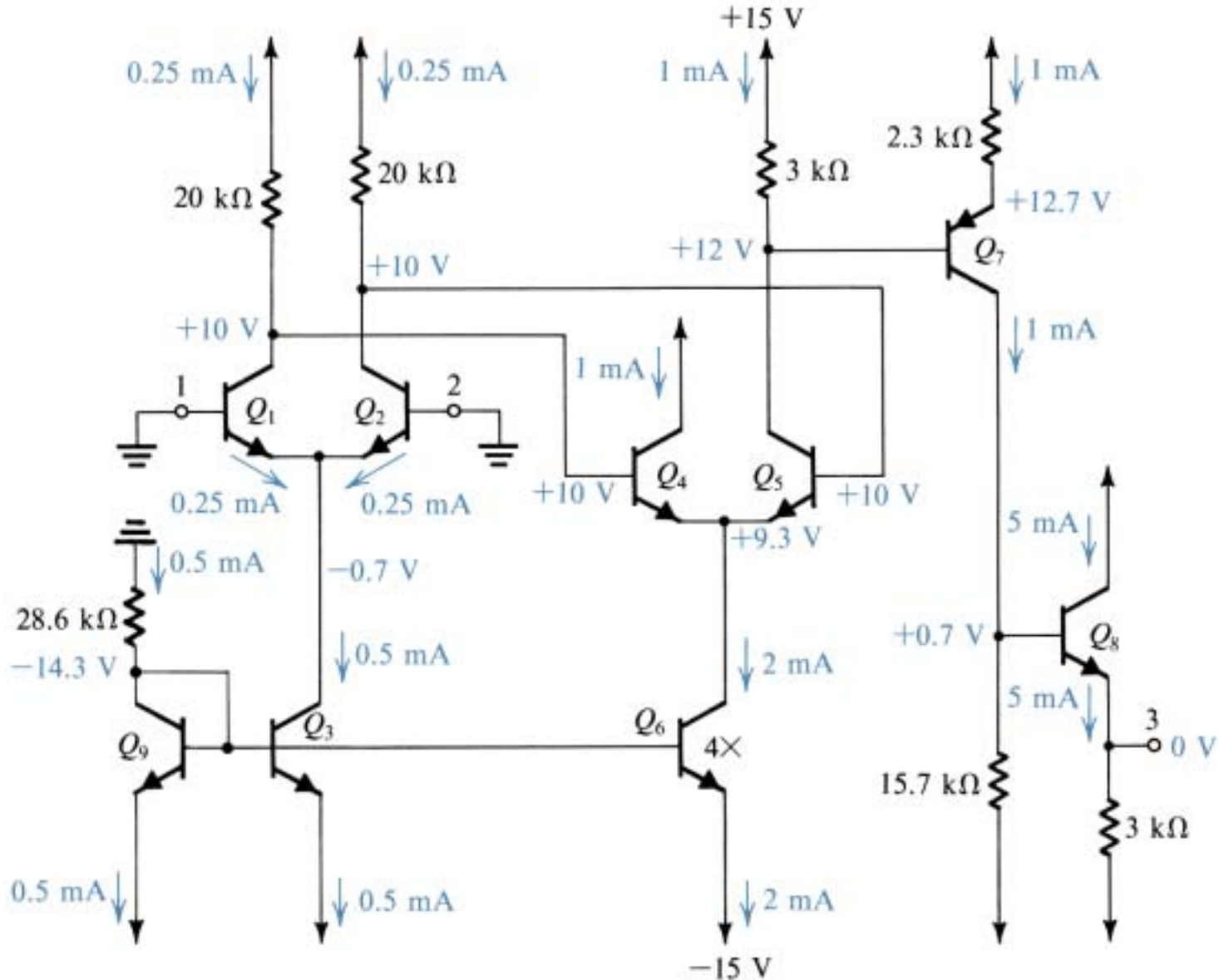
Polarización

$$\beta_1 = \beta_2 = 100$$

$$\beta_4 = \beta_5 = 150$$

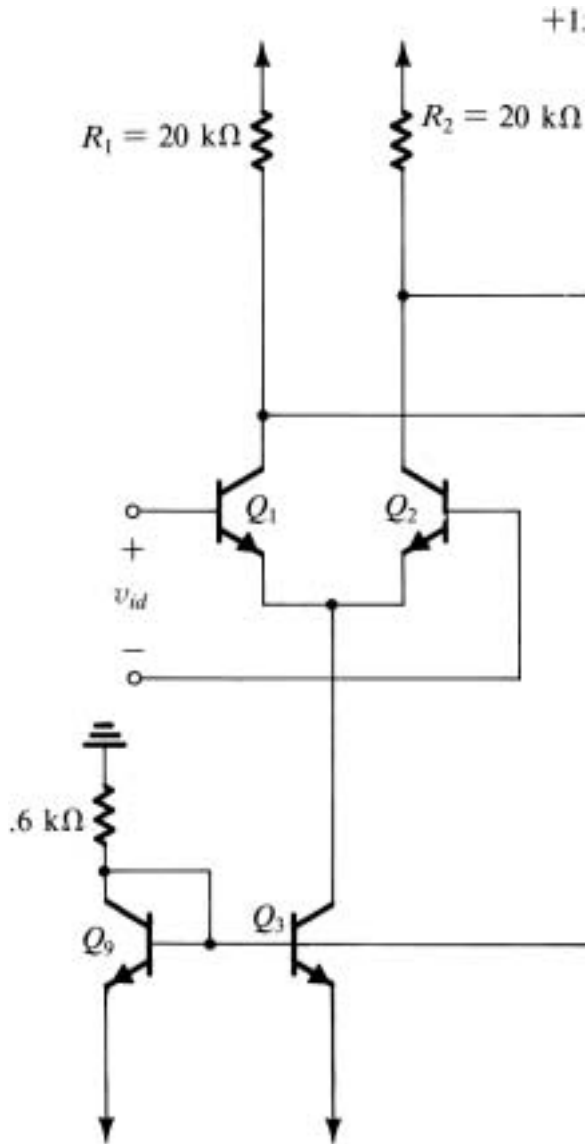
$$\beta_7 = 150$$

$$\beta_8 = 180$$

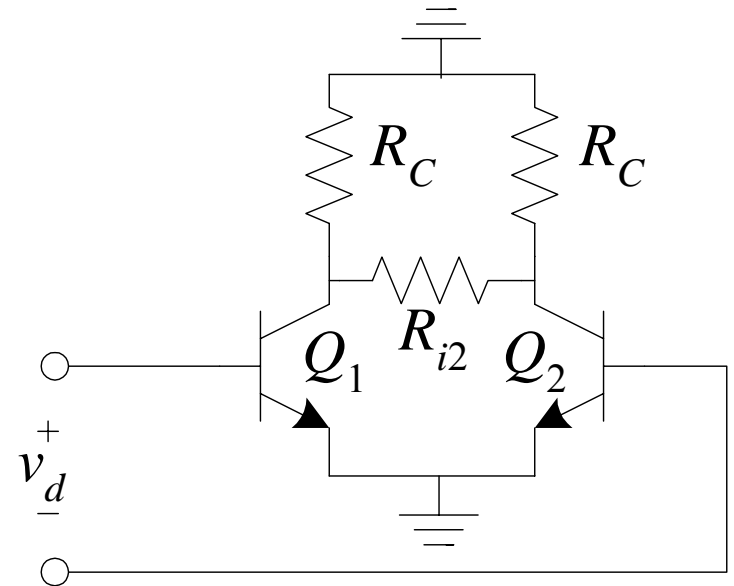


# Ejemplo de Acople Directo (cont.)

señal  
etapa 1



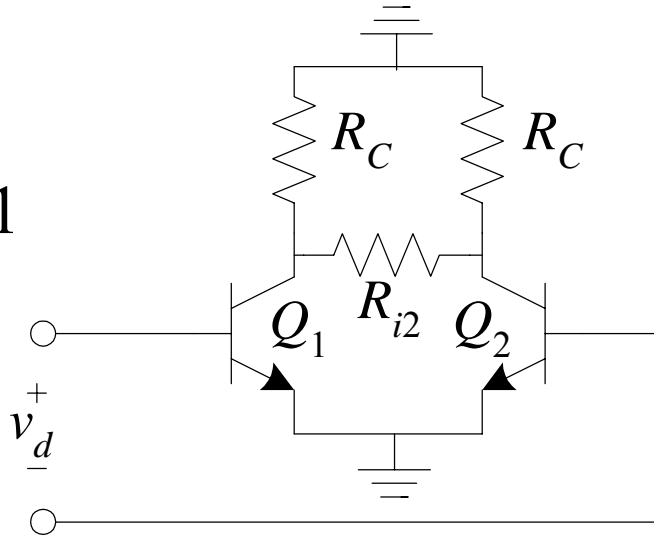
$$I_{C1} = I_{C2} = 0.25\text{mA}$$



$$g_m = \frac{0.25\text{mA}}{25\text{mV}} = 10\text{m}\Omega^{-1}$$

# Ejemplo de Acople Directo (cont.)

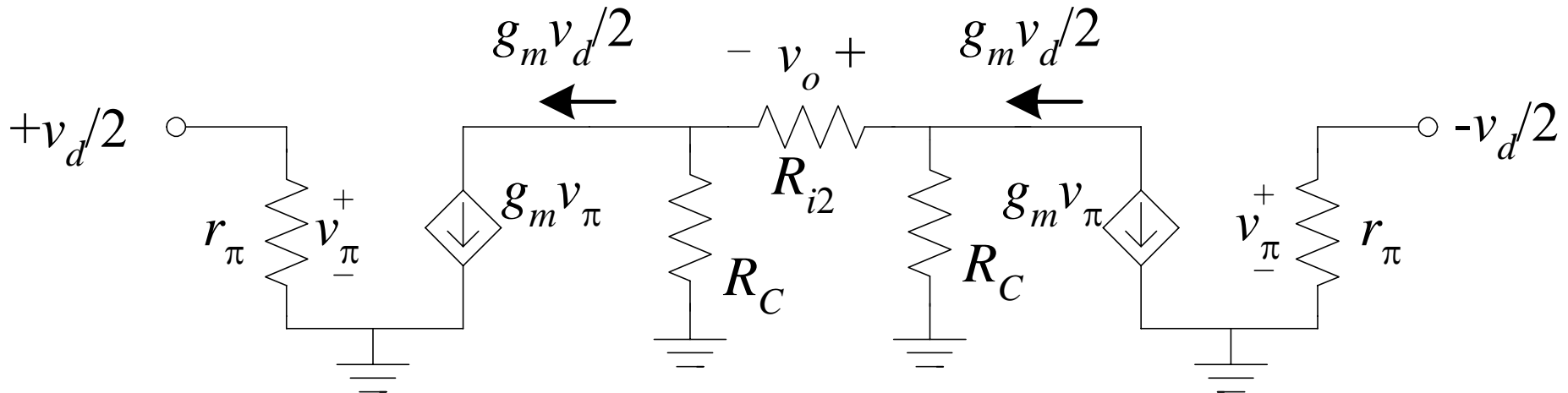
señal  
etapa 1



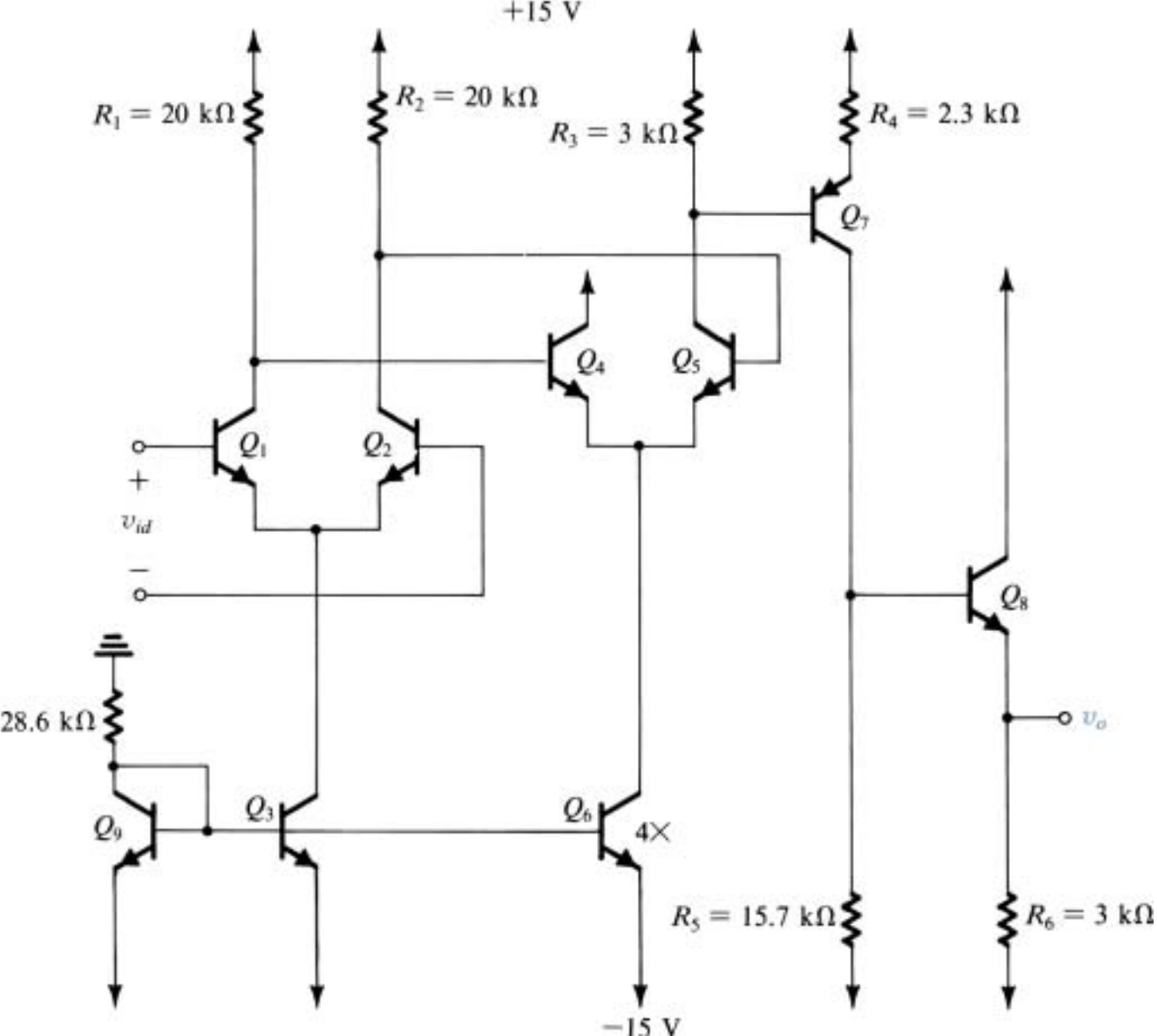
$$R_{id} = 2r_{\pi} = \frac{2\beta}{g_m}$$

$$R_{id} = \frac{2(100)}{10\text{m}\Omega^{-1}} = 20\text{K}\Omega$$

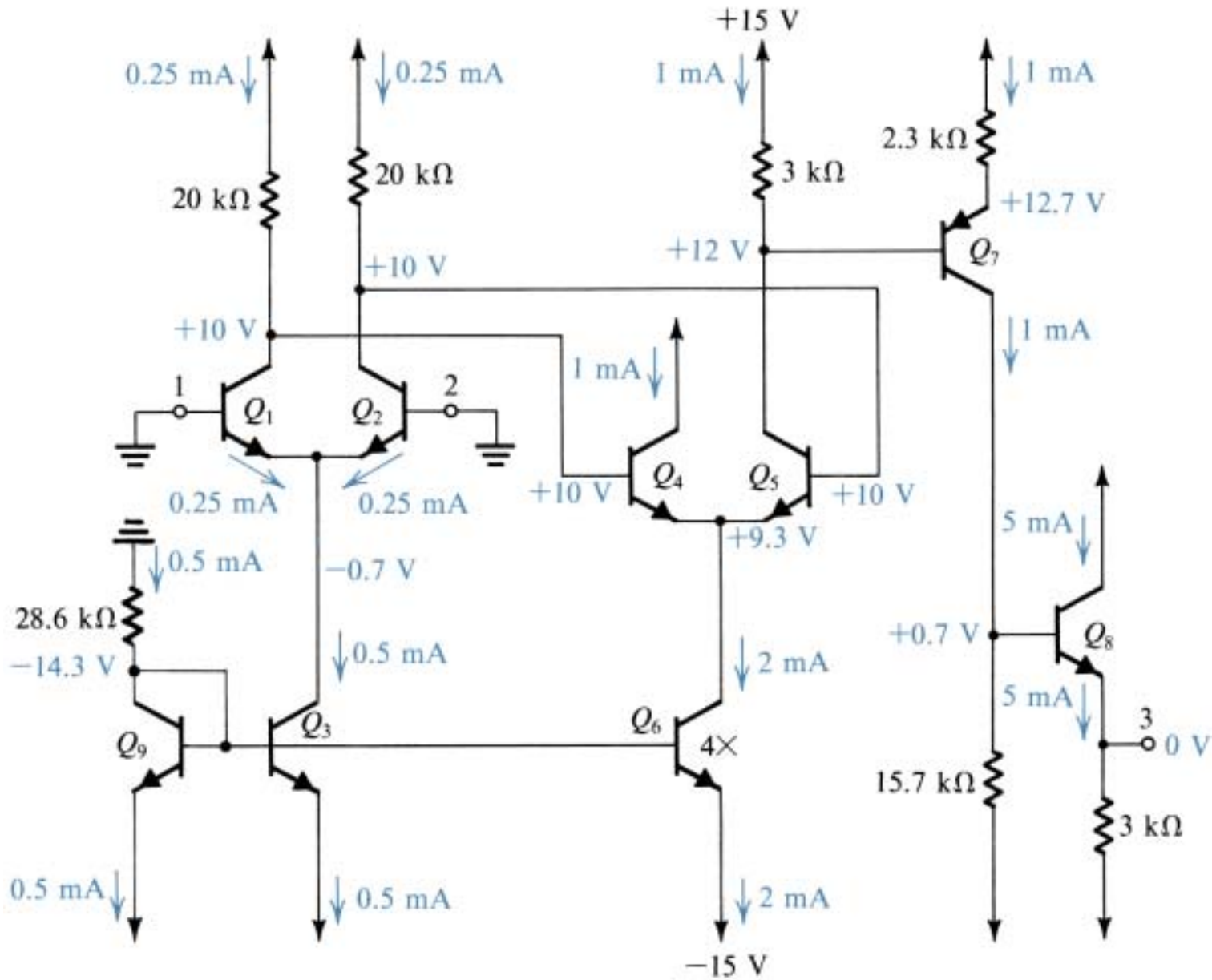
$$A_{v1} = \frac{g_m (R_{i2} \parallel 2R_C)}{2}$$



# Ejemplo de Acople Directo (cont.)

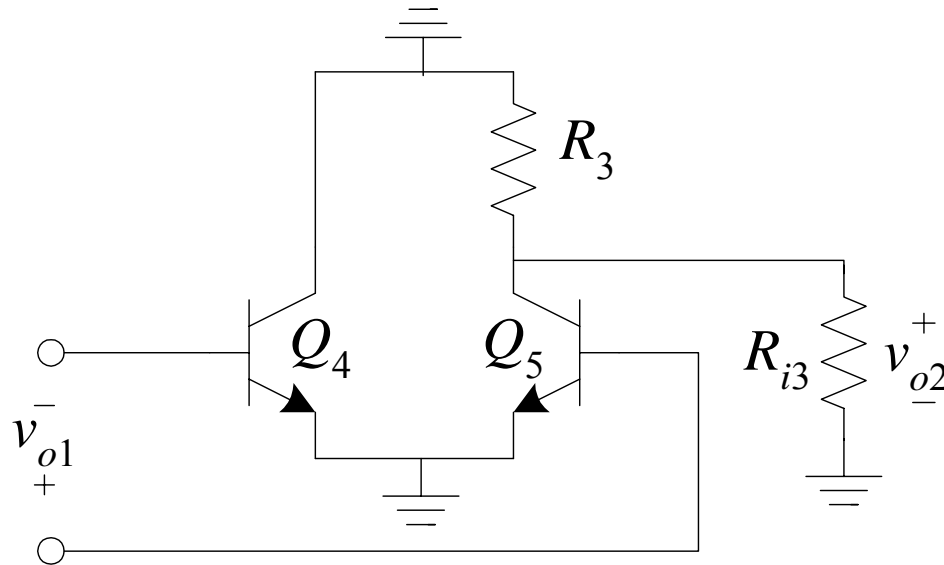


# Ejemplo de Acople Directo (cont.)



# Ejemplo de Acople Directo (cont.)

señal  
etapa 2

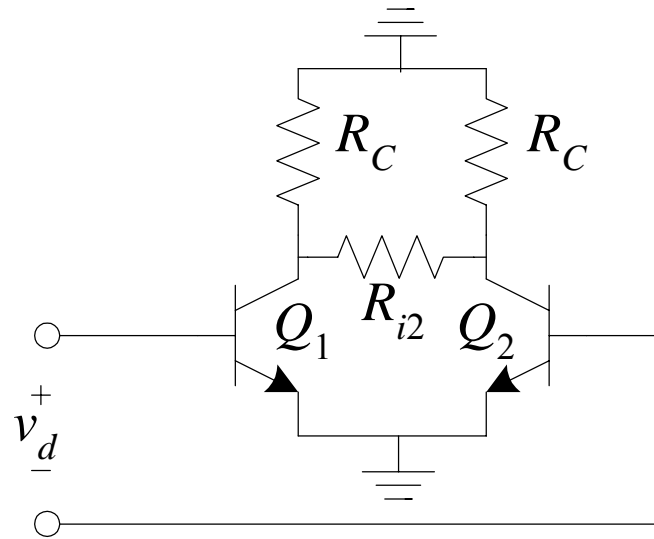


$$R_{i2} = 2r_{\pi} = \frac{2\beta}{g_m} = \frac{2(150)}{1\text{mA}/25\text{mV}} = 7.5\text{K}\Omega$$

$$A_{v2} = \frac{-g_m(R_{i3} \parallel R_3)}{2}$$

# Ejemplo de Acople Directo (cont.)

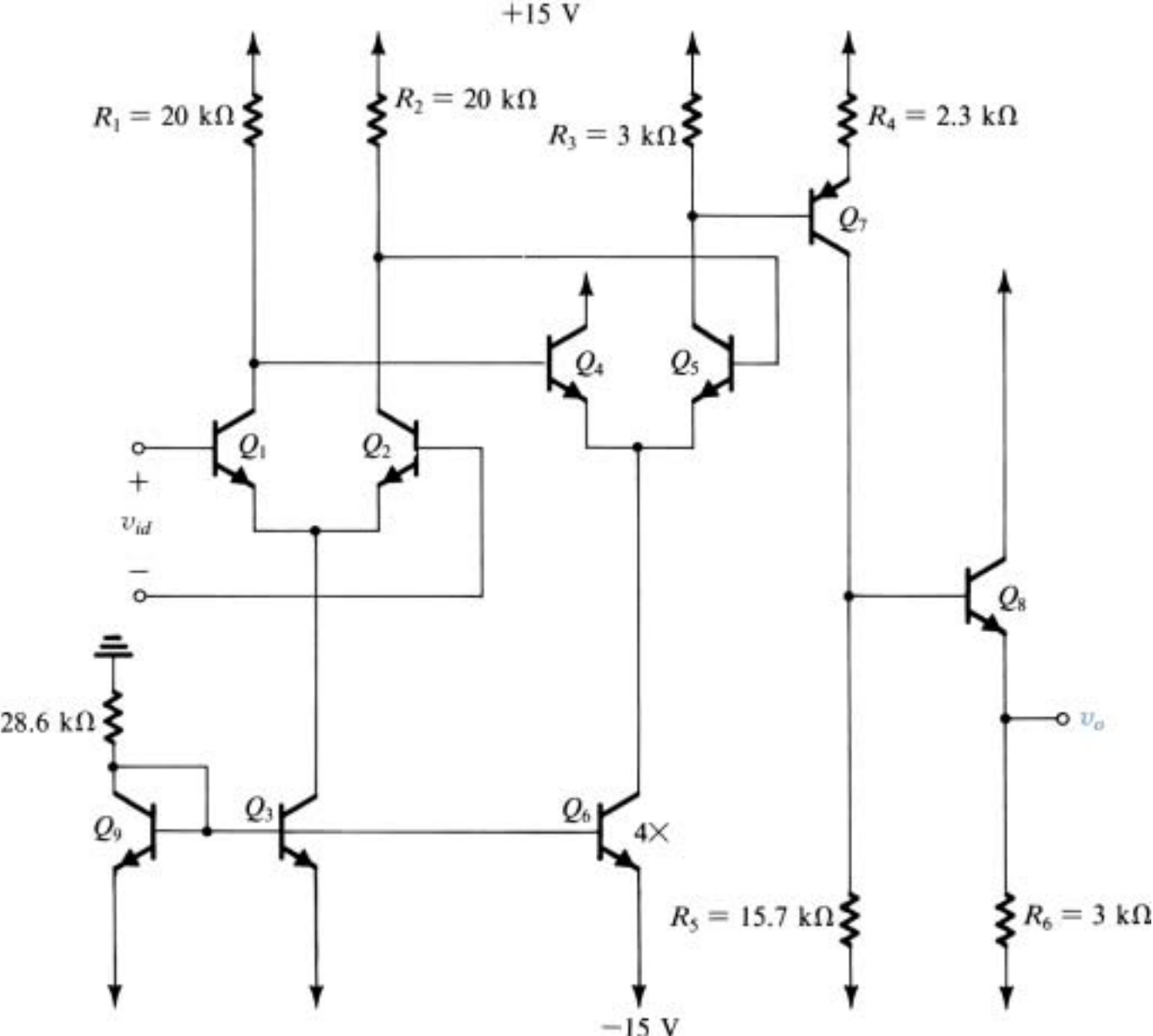
señal  
etapa 1



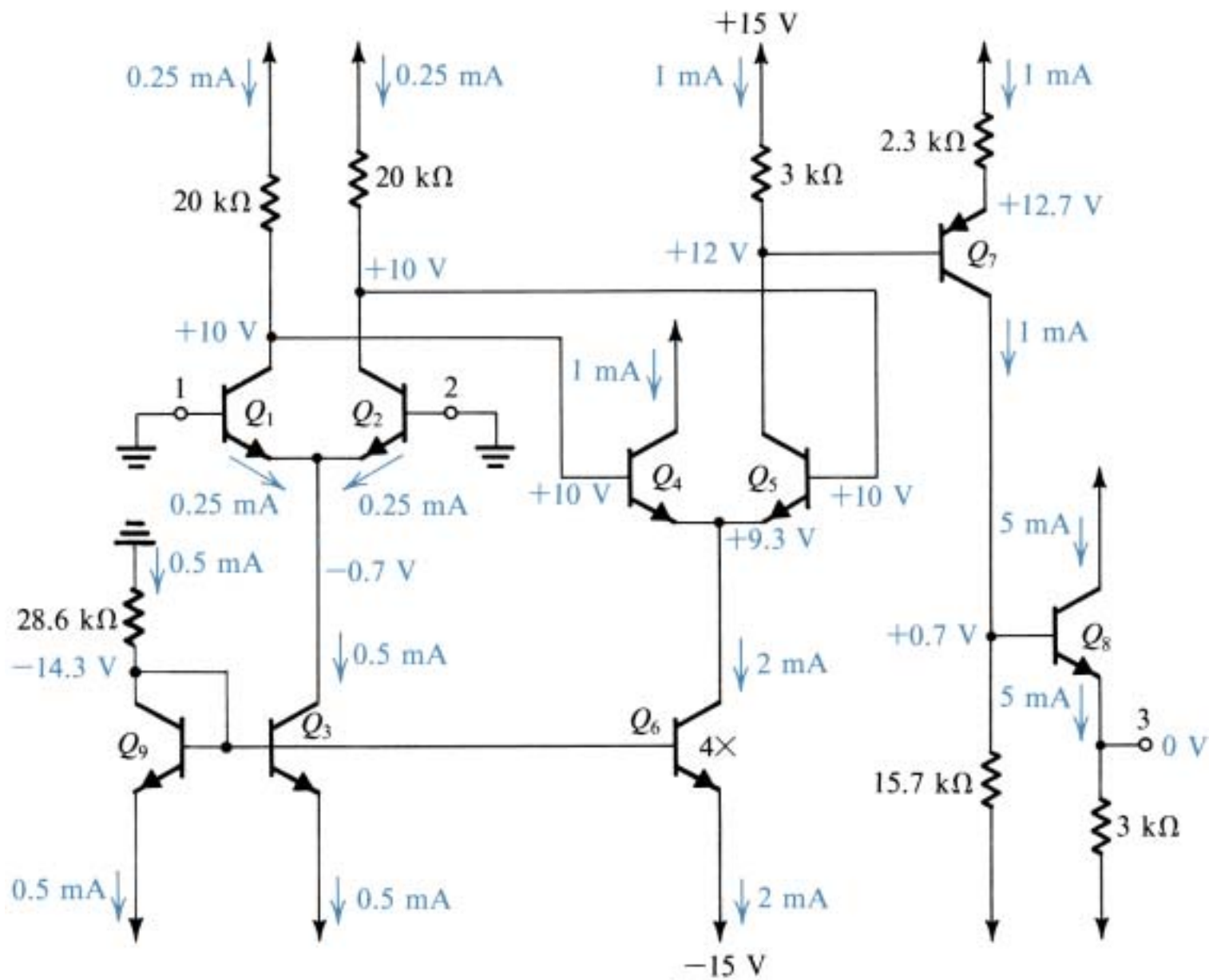
$$A_{v1} = \frac{g_m (R_{i2} \parallel 2R_C)}{2} = \frac{0.25\text{mA}}{25\text{mV}} (7.5\text{K}\Omega \parallel 40\text{K}\Omega) = 31.58$$



# Ejemplo de Acople Directo (cont.)

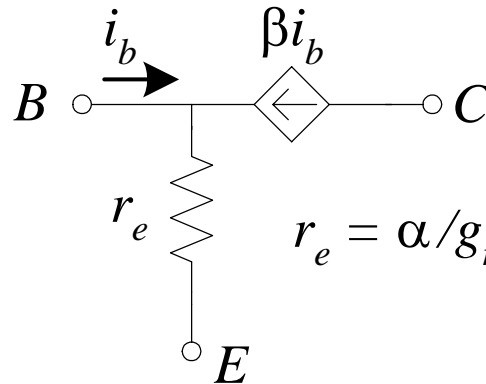
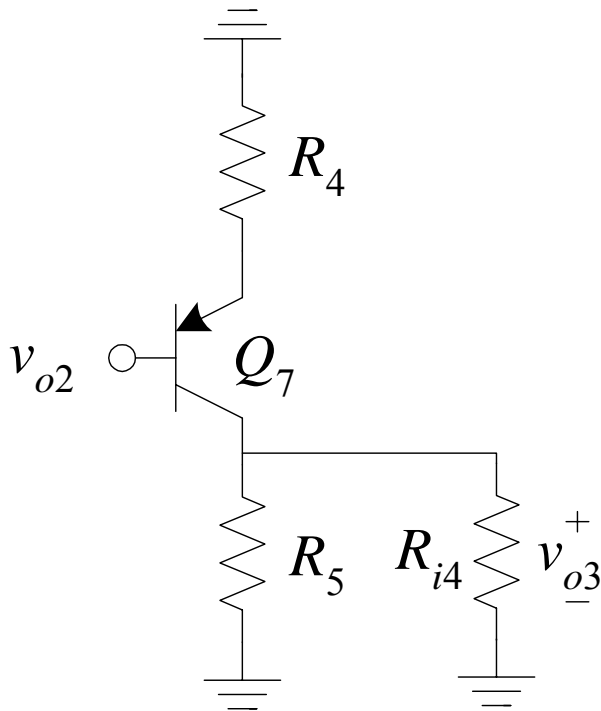


# Ejemplo de Acople Directo (cont.)



# Ejemplo de Acople Directo (cont.)

señal  
etapa 3



$$r_e = \alpha / g_m \approx g_m^{-1}$$

$$i_e = v_{o2} / (r_e + R_4)$$

$$i_b = \frac{v_{o2}}{(\beta + 1)(r_e + R_4)}$$

$$R_{i3} = (\beta + 1)(r_e + R_4)$$

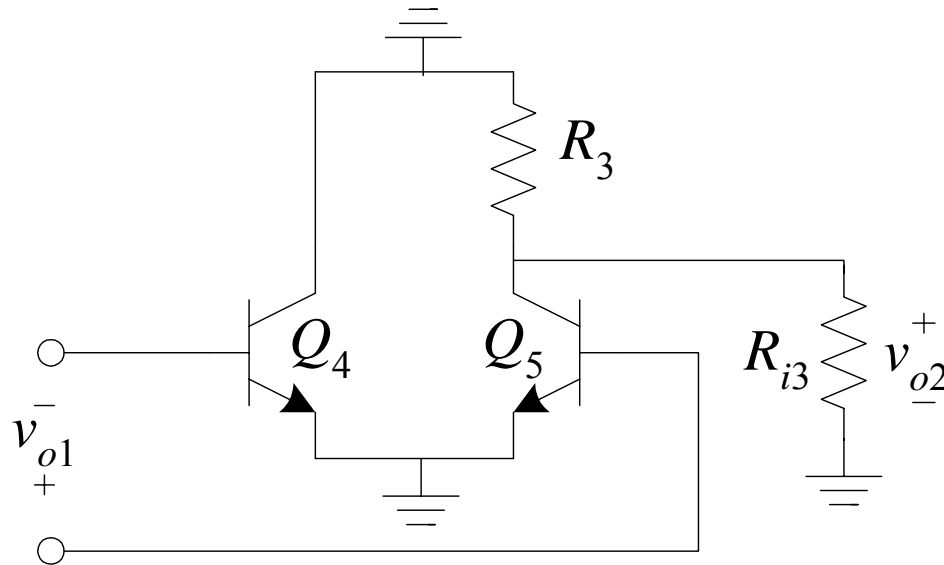
$$R_{i3} = 151(25 + 2.3\text{K}) = 351\text{K}\Omega$$

$$v_{o3} = -\beta i_b (R_5 \parallel R_{i4})$$

$$A_{v3} = \frac{v_{o3}}{v_{o2}} = \frac{-\beta (R_5 \parallel R_{i4})}{(\beta + 1)(r_e + R_4)} \approx \frac{-(R_5 \parallel R_{i4})}{R_4}$$

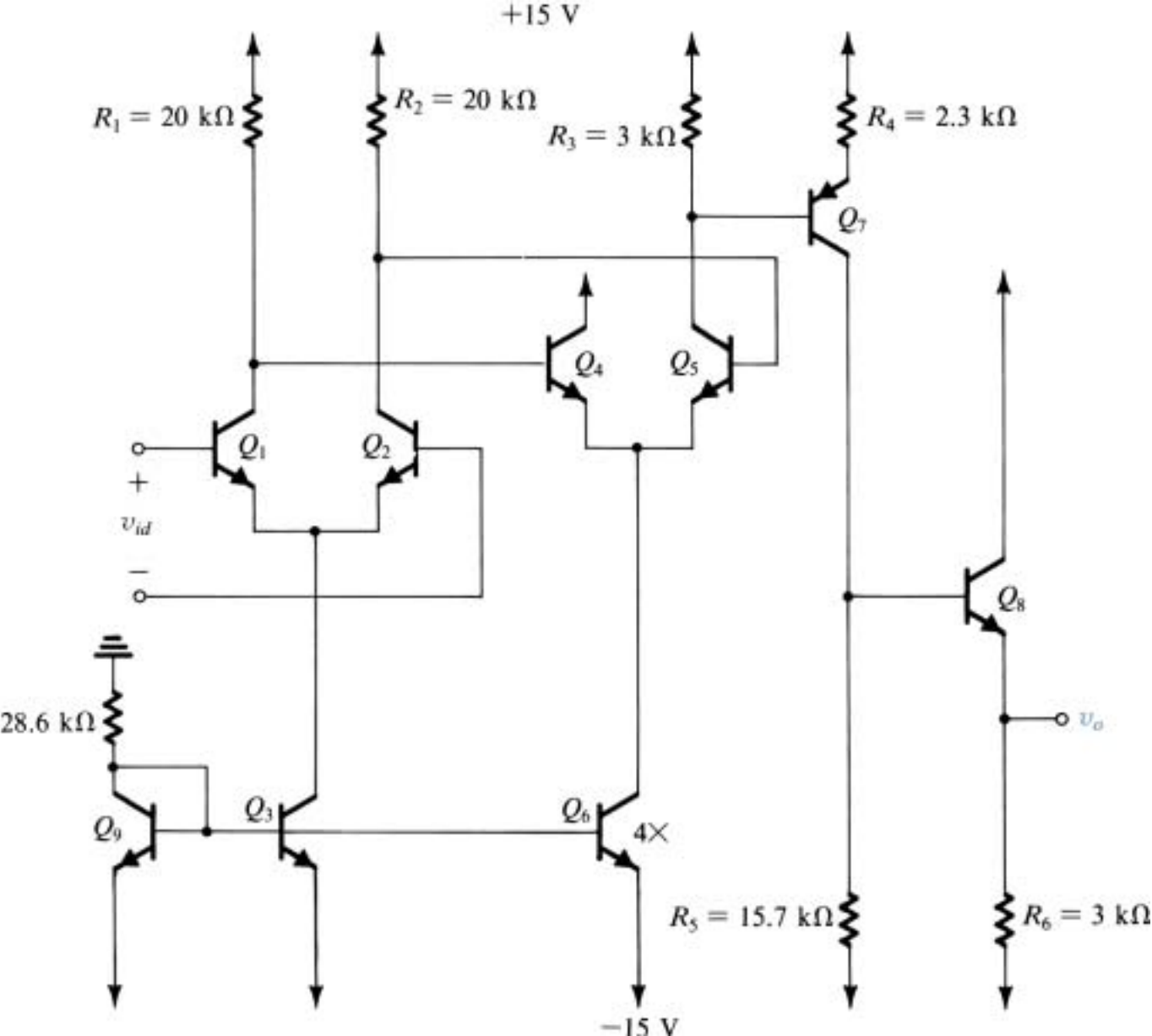
# Ejemplo de Acople Directo (cont.)

señal  
etapa 2

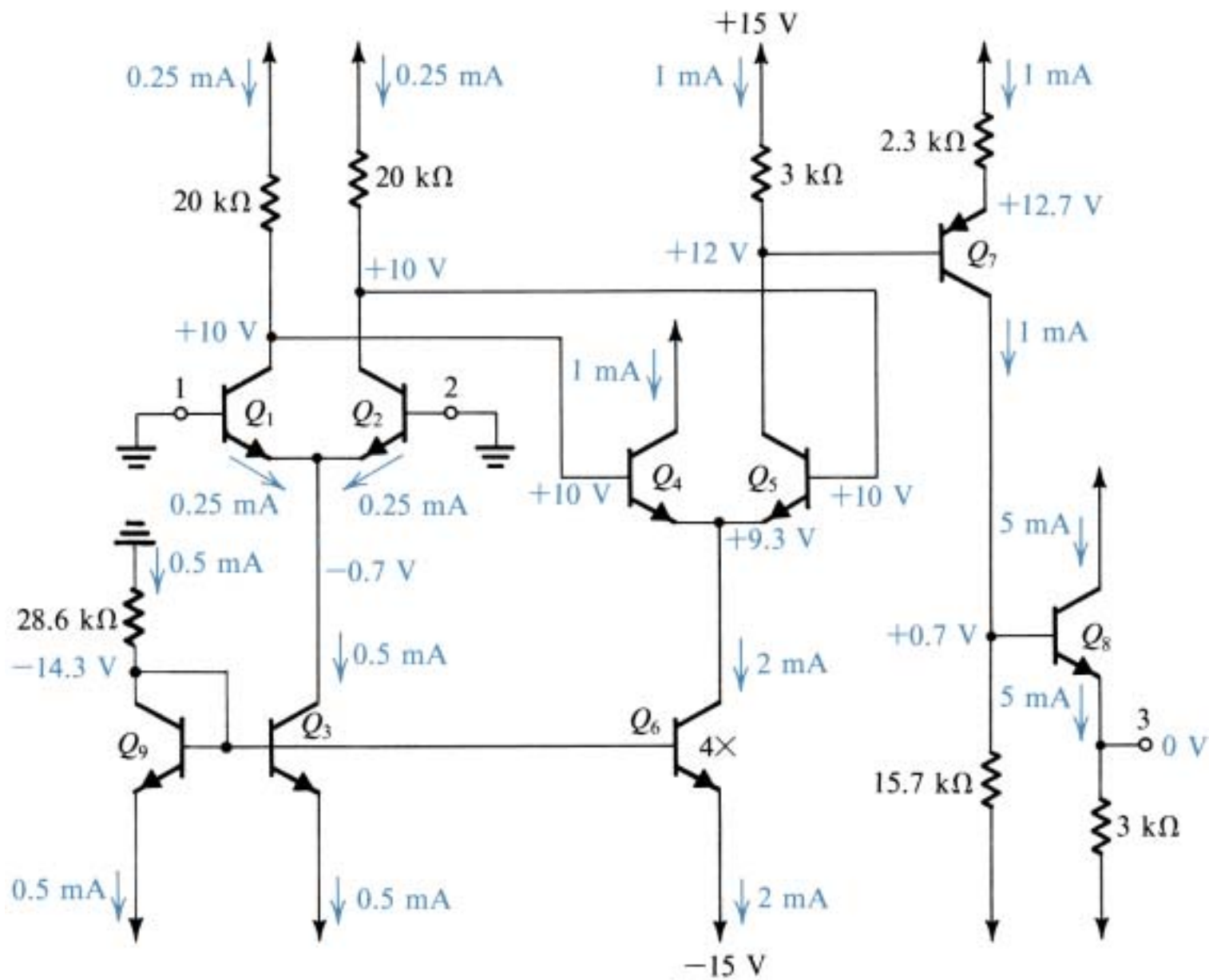


$$A_{v2} = \frac{-g_m (R_{i3} \parallel R_3)}{2} = \frac{-(1\text{mA} / 25\text{mV})(351\text{K}\Omega \parallel 3\text{K}\Omega)}{2} = -59.49$$

# Ejemplo de Acople Directo (cont.)

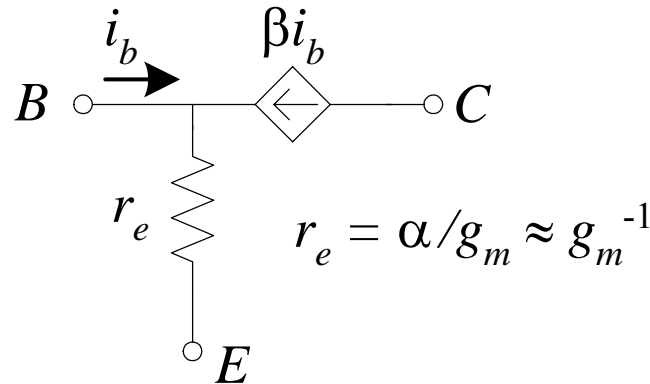
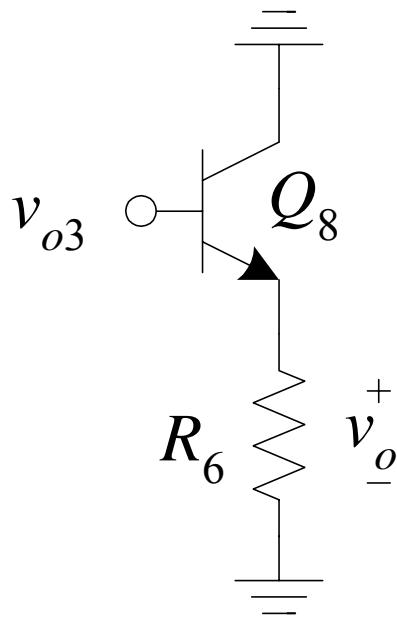


# Ejemplo de Acople Directo (cont.)



# Ejemplo de Acople Directo (cont.)

señal  
etapa 4



$$i_e = v_{o3} / (r_e + R_6)$$

$$i_b = \frac{v_{o3}}{(\beta + 1)(r_e + R_6)}$$

$$R_{i4} = (\beta + 1)(r_e + R_6)$$

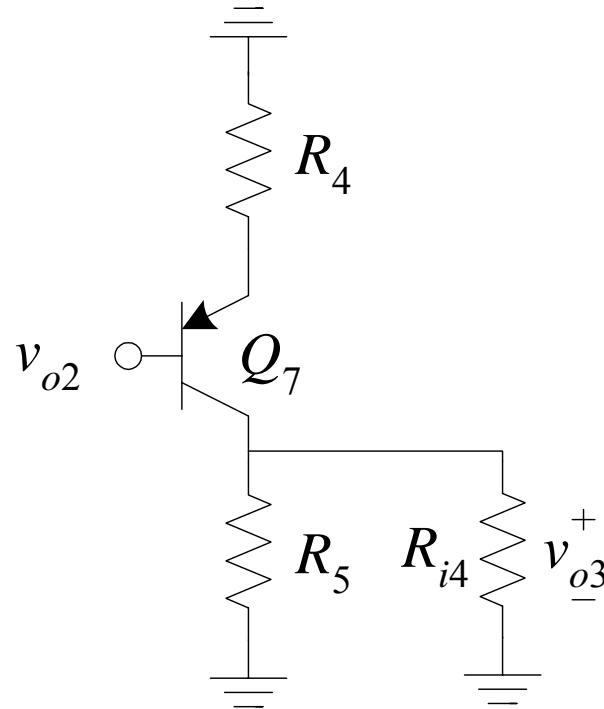
$$R_{i4} = 181 \left( \frac{25\text{mV}}{5\text{mA}} + 3\text{K} \right) = 543.9\text{K}\Omega$$

$$v_o = (\beta + 1) i_b R_6$$

$$A_{v4} = \frac{v_o}{v_{o3}} = \frac{R_6}{(r_e + R_6)} = \frac{3\text{K}\Omega}{5 + 3\text{K}\Omega} = 0.998$$

# Ejemplo de Acople Directo (cont.)

señal  
etapa 3

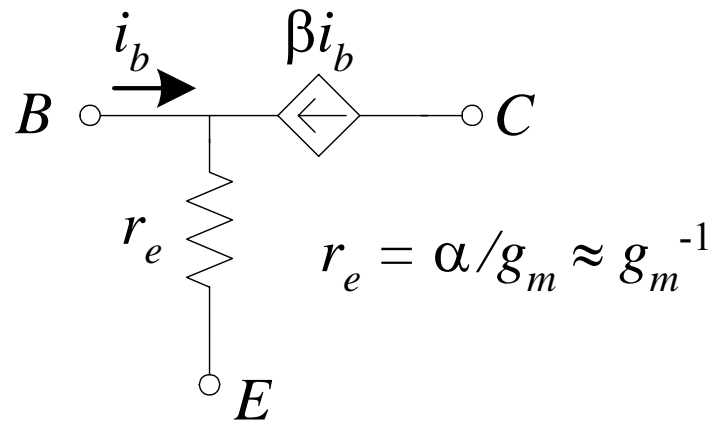
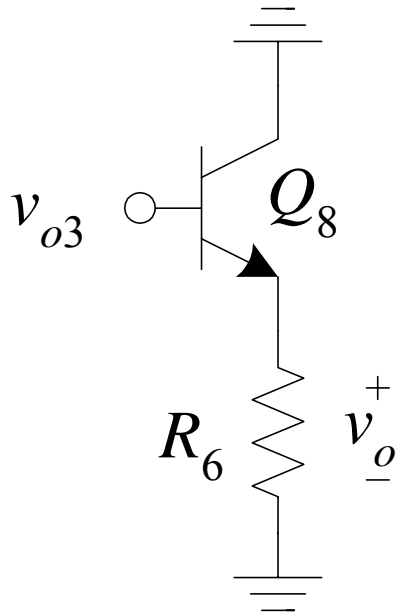


$$A_{v3} = \frac{v_{o3}}{v_{o2}} = \frac{-\beta (R_5 \parallel R_{i4})}{(\beta + 1)(r_e + R_4)} = \frac{-150(15.7\text{K} \parallel 543.9\text{K})}{151(25 + 2.3\text{K})} = -6.52$$



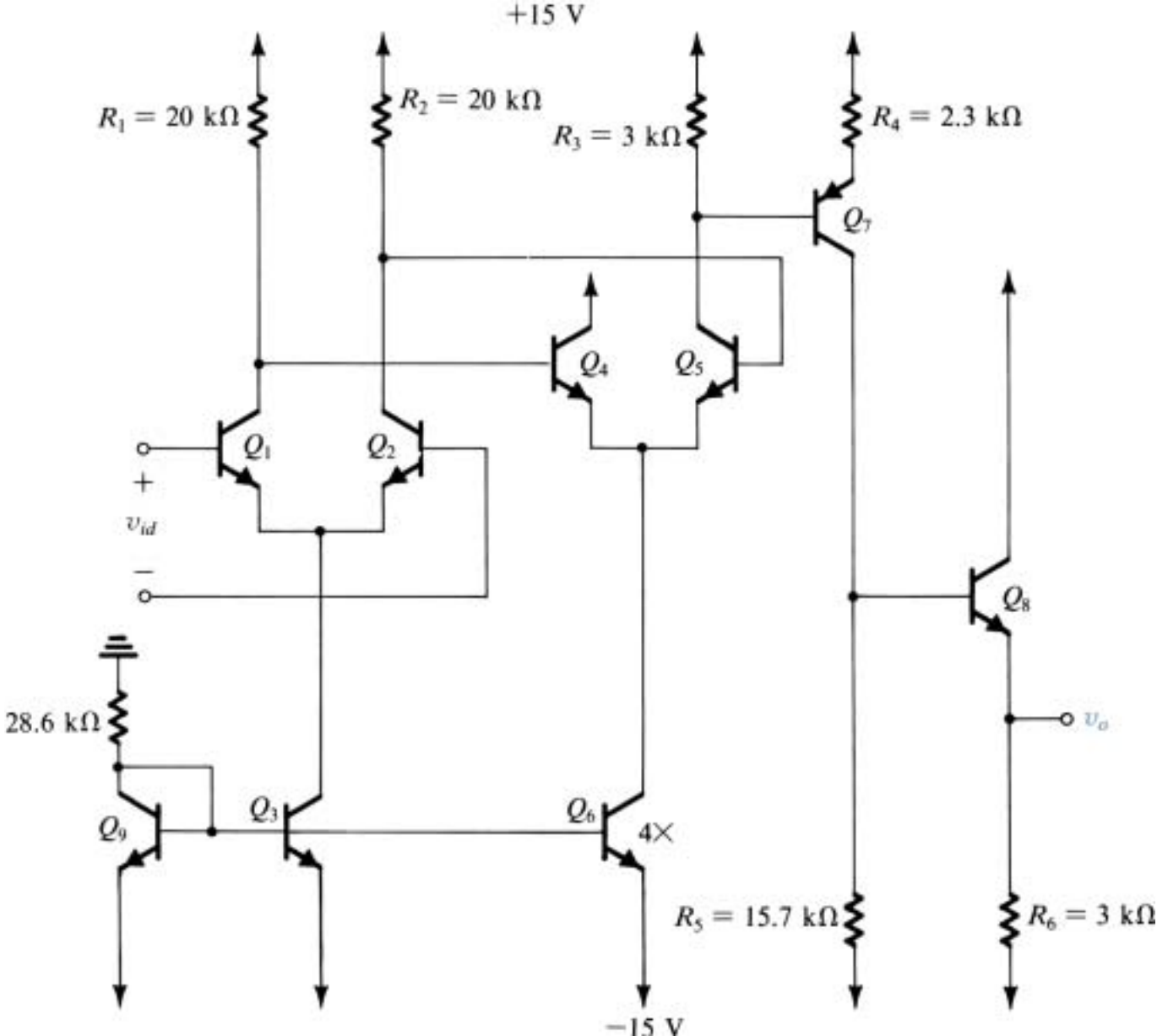
# Ejemplo de Acople Directo (cont.)

## Resistencia de salida de la etapa 4



$$R_o = R_6 \parallel \left( r_e + \frac{R_5}{\beta + 1} \right) = 3\text{K}\Omega \parallel \left( \frac{25\text{mV}}{5\text{mA}} + \frac{15.7\text{K}\Omega}{181} \right) = 89.02\Omega$$

# Ejemplo de Acople Directo (cont.)



# Ejemplo de Acople Directo (cont.)

---

## Características globales

$$A_v = (A_{v_1}) \cdots (A_{v_4}) = (31.58)(-59.49)(-6.52)(0.998) = 12,224$$

$$R_{id} = 20K\Omega$$

$$R_o = 89.02\Omega$$

# Ejercicios de Tarea

---

Resolver problemas 6.51, 6.116, y 6.118 del libro de texto