

EL42A - Circuitos Electrónicos

Clase No. 28: Polarización de Circuitos Integrados - Circuitos con Cargas Activas

Patricio Parada

pparada@ing.uchile.cl

Departamento de Ingeniería Eléctrica
Universidad de Chile

19 de Noviembre de 2009

Contenidos

Fuentes de Corriente

- Fuente Widlar

- Fuentes con Múltiples Transistores

Circuitos con Cargas Activas

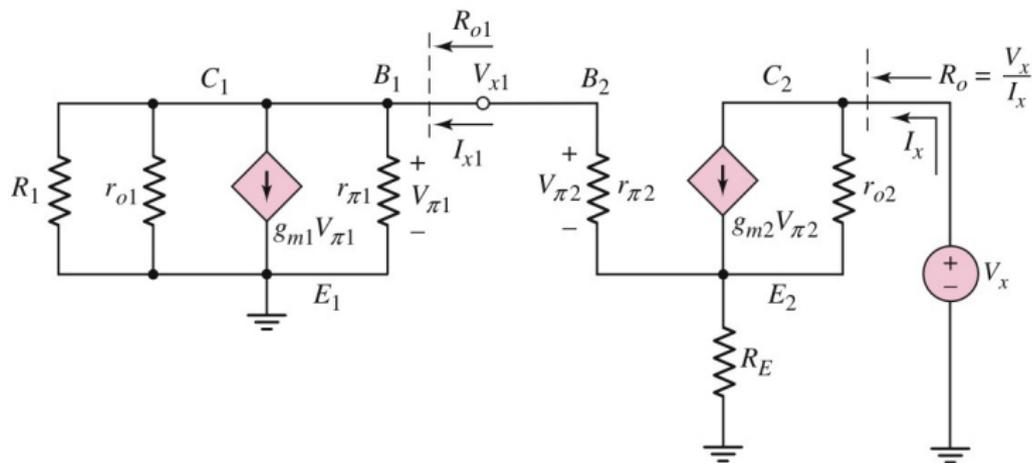
- Motivación

- Pares Diferenciales con Cargas Activas

Implementación de un Amplificador Operacional

Fuente Widlar: Resistencia de Salida R_o I

Vamos a determinar la resistencia de la fuente mirando hacia el colector de Q_2 utilizando el modelo de equivalente de señal pequeña de ambos transistores.



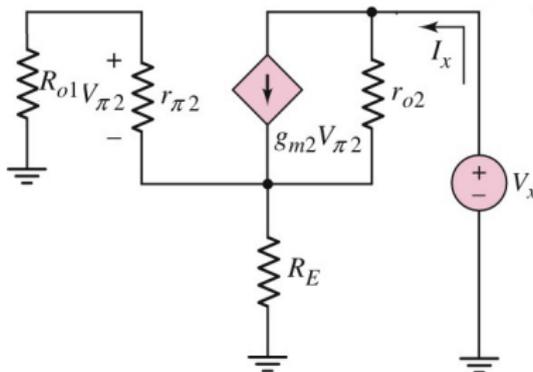
El cálculo lo vamos a realizar en dos pasos: primero calcularemos la resistencia vista desde la base de Q_2 y mirando hacia Q_1 (denotada por R_{o1}), y luego la resistencia de salida de la fuente R_o .

Fuente Widlar: Resistencia de Salida R_o II

LCK (B_1):

$$\begin{aligned} I_{x1} &= \frac{V_{\pi1}}{r_{\pi1}} + g_{m1}V_{\pi1} + \frac{V_{\pi1}}{r_{o1} \parallel R_1} \\ &= V_{\pi1} \left(\frac{1}{r_{\pi1}} + \frac{1}{r_{o1} \parallel R_1} + g_{m1} \right) \\ \Rightarrow \frac{V_{\pi1}}{I_{x1}} &= r_{\pi1} \parallel r_{o1} \parallel R_1 \parallel 1/g_{m1} \equiv R_{o1}. \end{aligned}$$

Obtenemos el siguiente circuito simplificado:



$$(R_{o1} + r_{\pi 2}) \frac{V_{\pi 2}}{r_{\pi 2}} + R_E \left(I_x + \frac{V_{\pi 2}}{r_{\pi 2}} \right) = 0$$

$$\Rightarrow \left(\frac{R_{o1}}{r_{\pi 2}} + 1 + \frac{R_E}{r_{\pi 2}} \right) V_{\pi 2} = -R_E I_x$$

Reordenando obtenemos

$$R_o \equiv \frac{V_x}{I_x} = r_{o2} \left[1 + g_{m2} \frac{R_E r_{\pi 2}}{R_{o1} + R_E + r_{\pi 2}} + \frac{R_E \parallel (R_{o1} + r_{\pi 2})}{r_{o2}} \right]$$

Si $R_{o1} \ll r_{\pi 2}$ podemos hacer la simplificación:

$$R_o \equiv \frac{V_x}{I_x} = r_{o2} \left[1 + R_E \parallel r_{\pi 2} \left(\frac{1}{r_{o2}} + g_{m2} \right) \right]$$

Es usual que $1/r_{o2} \ll g_{m2}$; en este caso la expresión puede simplificarse aun más. En este caso, la fuente introduce un incremento en la resistencia de salida de un factor

$$1 + g_{m2} R_E \parallel r_{\pi 2}$$

Fuente Widlar: Ejemplo

Considere la configuración

$V^+ = -V^- = 5\text{ V}$, $R_1 = 9,3\text{ k}\Omega$, $R_E = 9,58\text{ k}\Omega$. Considere además que $V_A = 80\text{ V}$ y $\beta = 100$. Determine el cambio en I_0 si V_{C2} varía en 4 V .

Solución

Asumimos $I_0 = 12\text{ }\mu\text{A}$ (el mismo que usamos en el ejemplo anterior).

Reemplazamos los valores en las fórmulas de los parámetros:

$$r_{o2} = \frac{V_A}{I_0} = \frac{80}{0,012 \times 10^{-3}} = 6,67\text{ M}\Omega$$

$$g_{m2} = \frac{I_0}{V_T} = \frac{0,012}{0,026} = 0,462\text{ mA/V}$$

$$r_{\pi2} = \beta \frac{V_T}{I_0} = 100 \times \frac{0,026}{0,012} = 217\text{ k}\Omega$$

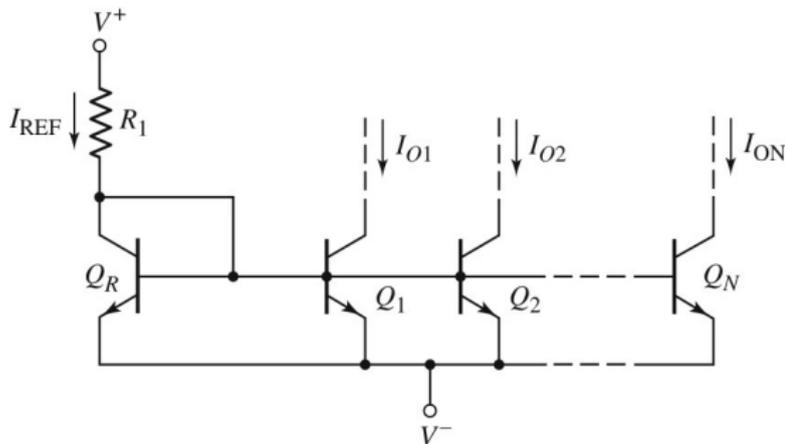
$$\Rightarrow R_0 = r_{o2}(1 + R_E || r_{\pi2} g_{m2}) = 34,9\text{ M}\Omega.$$

$$\Delta I_0 = \frac{1}{R_0} \Delta V_{C2} = 0,115\text{ }\mu\text{A}$$

Lo que corresponde a una variación de un $0,96\%$.

Fuentes Espejo con Múltiples Transistores I

- ▶ En el circuito espejo de corriente con dos transistores la corriente I_0 se establece fijando la corriente I_{REF} a través de Q_1 . Este transistor puede ser aprovechado para alimentar otros transistores conectados en paralelo a Q_2 .
- ▶ Consideremos por ejemplo

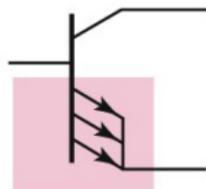
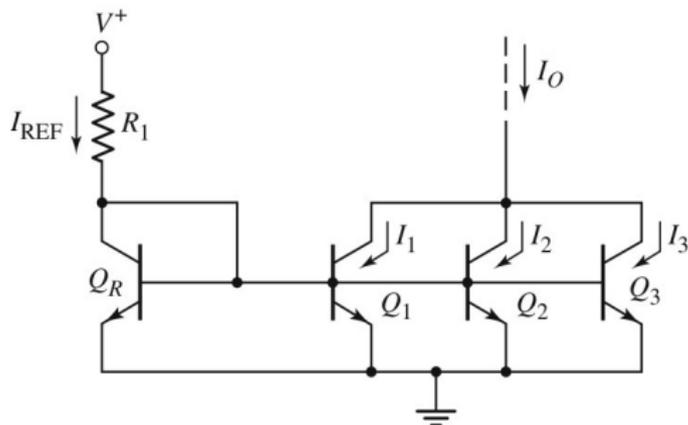


Fuentes Espejo con Múltiples Transistores II

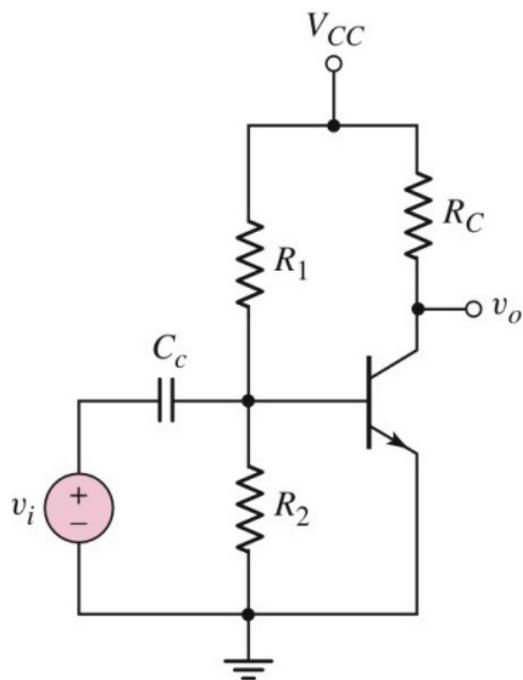
En este caso

$$I_{o1} = I_{o2} = \dots = I_{oN} = \frac{I_{REF}}{1 + \frac{N}{\beta}}$$

Podemos conectar los colectores de los transistores de carga para cambiar la relación entre la corriente de referencia y la corriente de carga I_0 . En este caso utilizamos un símbolo especial para denotar el arreglo:



Circuitos con Cargas Activas: Motivación



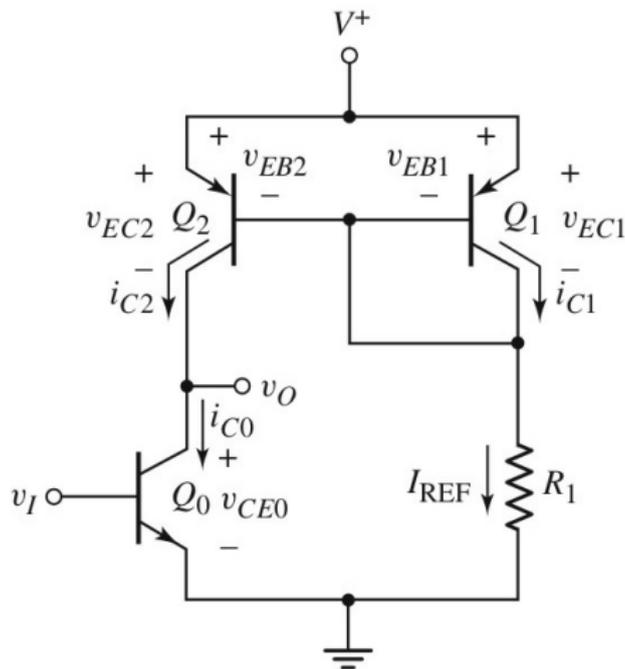
$$A_v = -g_m(R_C \parallel r_0)$$

- ▶ Aumento de la ganancia depende del aumento de R_C .
- ▶ Si aumento R_C debo aumentar V^+
- ▶ Rapidamente encuentro limitaciones con este método

Alternativa: utilizar **cargas activas**.

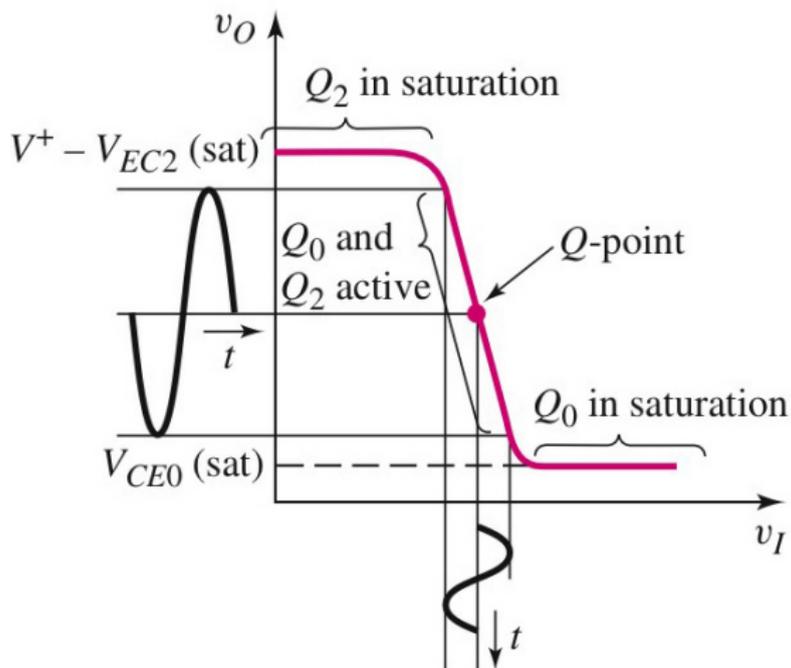
- ▶ Carga activa es un circuito con transistores, y que usualmente corresponde a alguna de las configuraciones para fuentes de corriente.

Circuitos con Cargas Activas

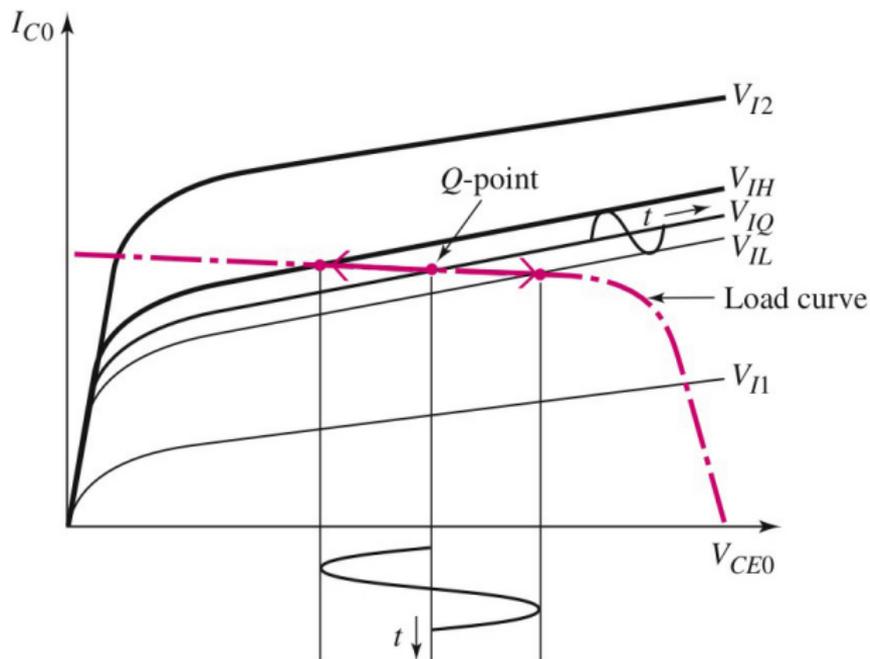


- Necesitamos caracterización DC y AC (señal pequeña).

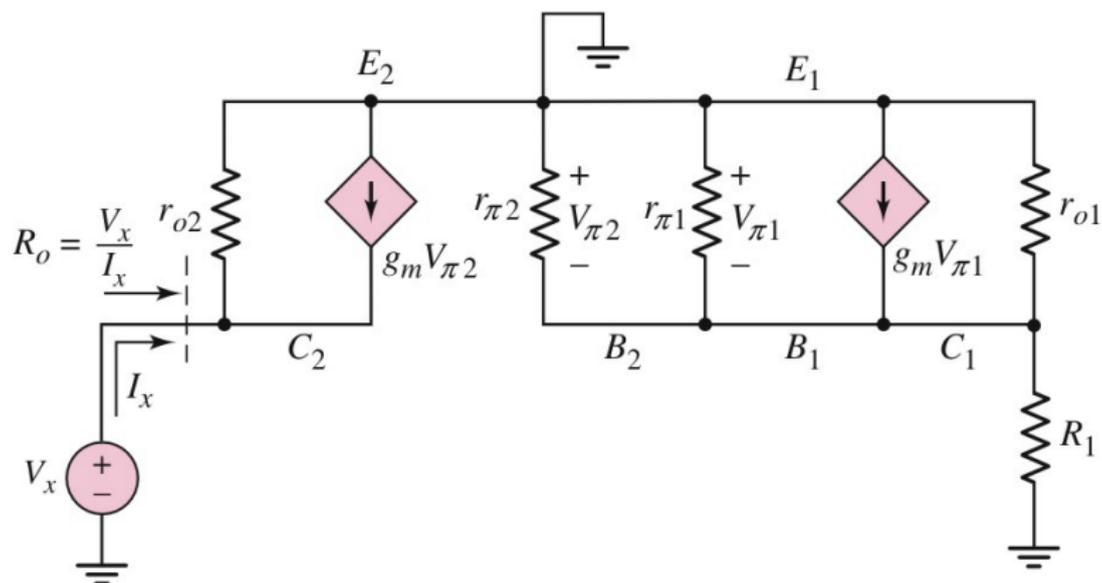
Análisis DC: Curva Característica Entrada-Salida



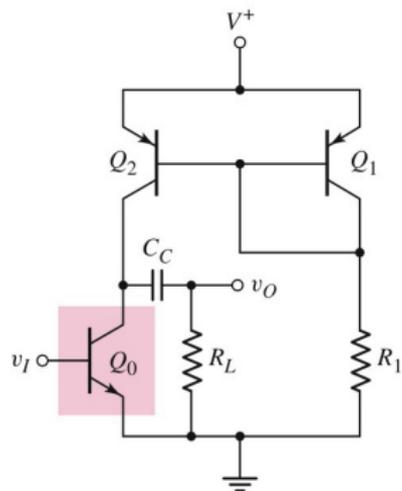
Análisis DC: Curva Característica I_{C0} vs. V_{CE0}



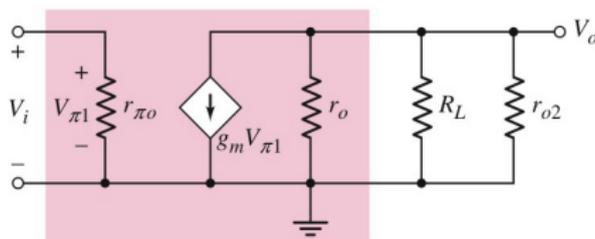
Análisis AC: Circuito de Señal Pequeña



Análisis AC: Circuito de Señal Pequeña Con Carga R_L



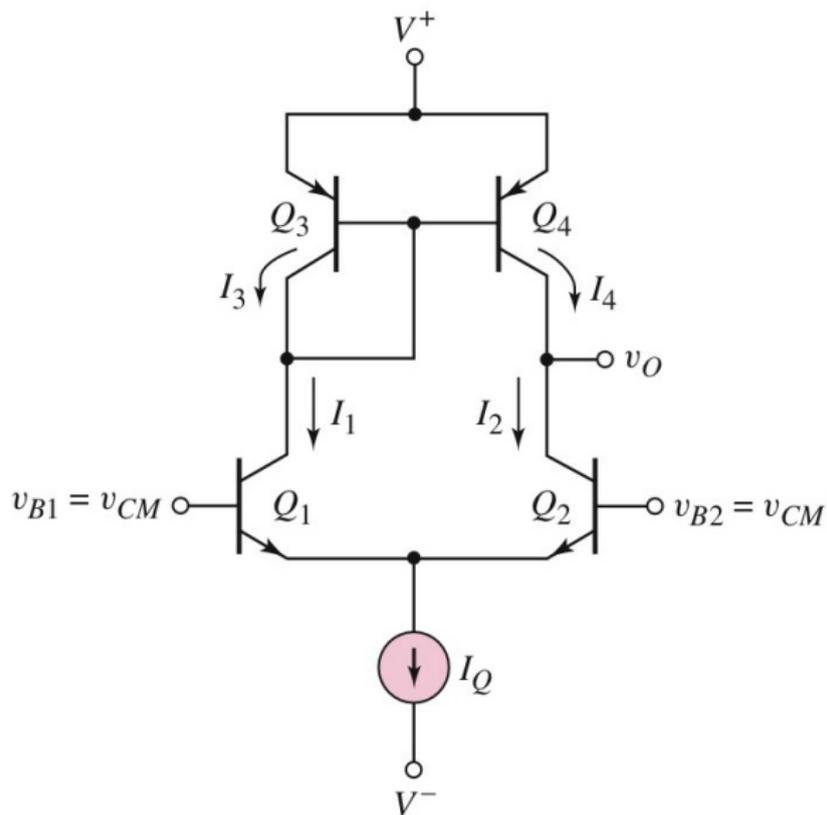
(a)



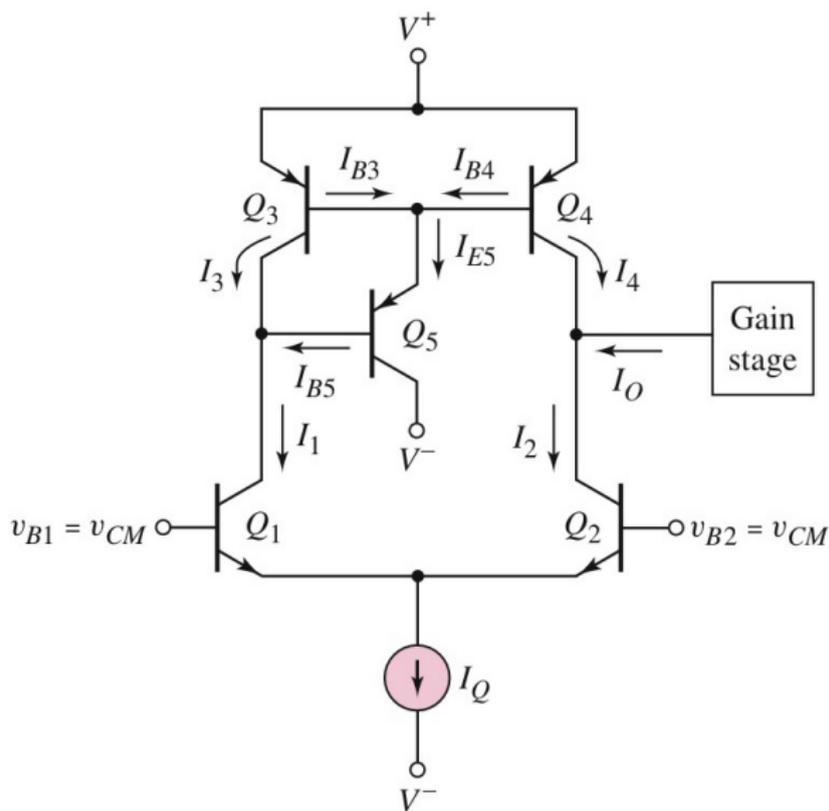
(b)

$$A_v = -g_m r_o \parallel R_L \parallel r_{o2}$$

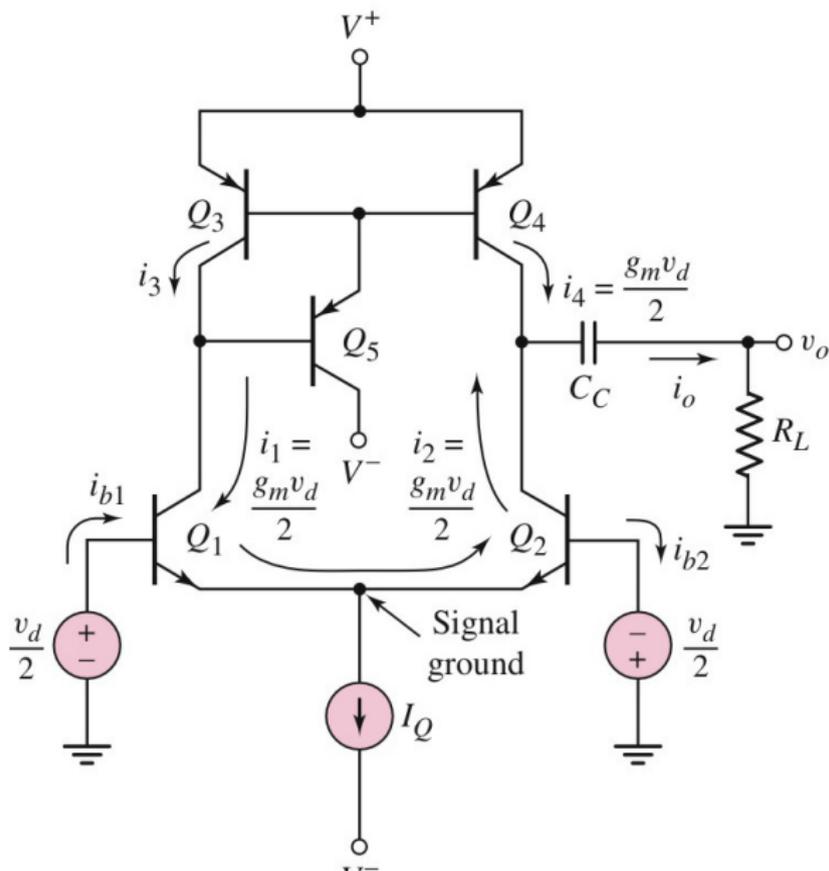
Pares Diferenciales con Cargas Activas I



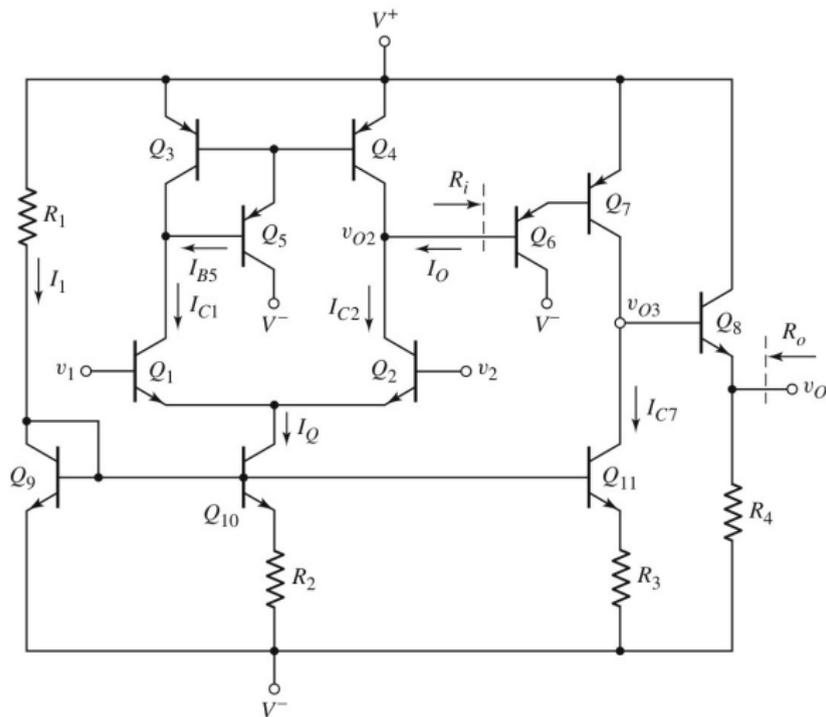
Pares Diferenciales con Cargas Activas II



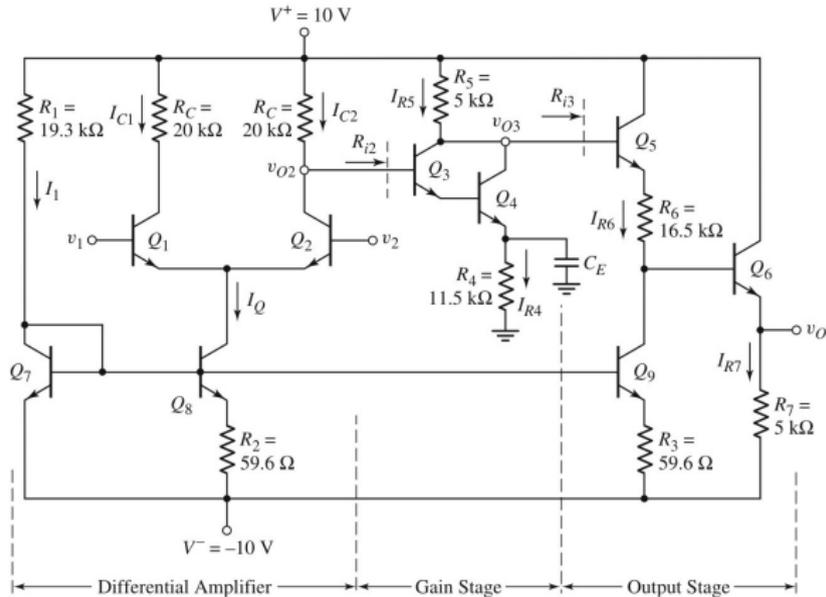
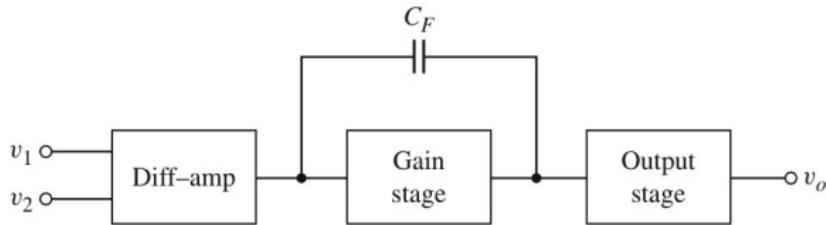
Pares Diferenciales con Cargas Activas III



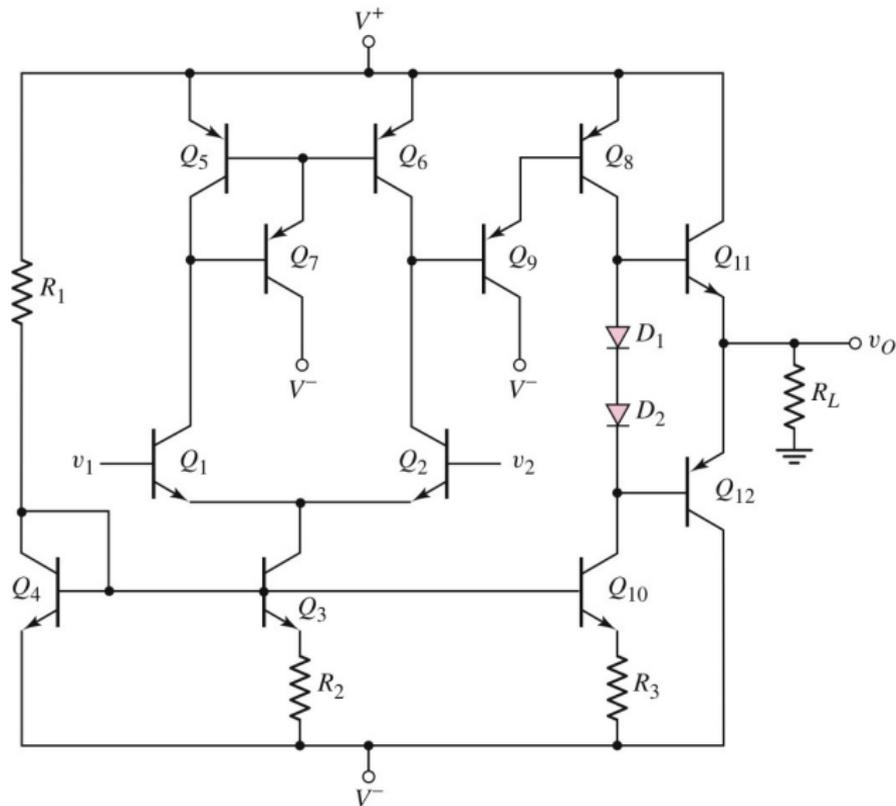
Circuitos Amplificadores Operacionales



Circuitos Amplificadores Operacionales



Circuitos Amplificadores Operacional Básico



OpAmp 741

