

EL42A - Circuitos Electrónicos

Clase No. 28: Circuitos Fuentes de Corriente

Patricio Parada

`pparada@ing.uchile.cl`

Departamento de Ingeniería Eléctrica
Universidad de Chile

13 de noviembre de 2008

Circuitos Fuentes de Corriente: Motivación

- 1 Técnicas clásicas de polarización hacen uso extensivo de divisores de tensión, condensadores de acoplamiento y bypass.
- 2 Este enfoque no es práctico en polarización de circuitos integrados.
- 3 Porque? Resistencias grandes utilizarían porciones grandes de la superficie del integrado.
- 4 Condensadores de acoplamiento y bypass tienen un efecto pasaltos no deseable.

La solución es utilizar una **fuentes de corriente** para polarizar el circuito.

Parámetros Típicos de una Fuente de Corriente

Hay dos elementos que importan al momento de caracterizar una fuente de corriente:

- La magnitud de la fuente I_0 .
- La resistencia de salida de la fuente R_0 .

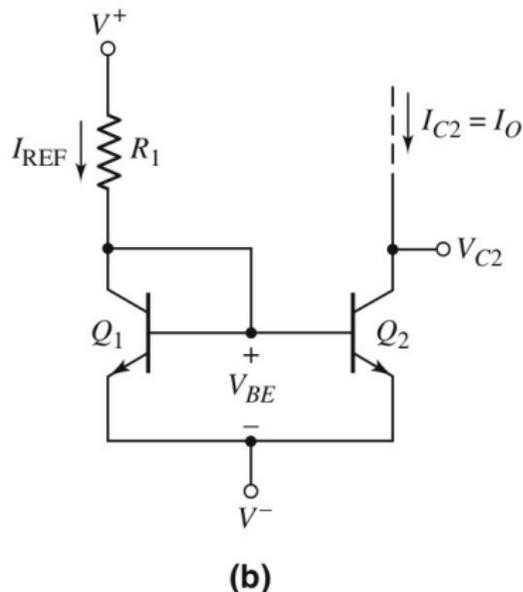
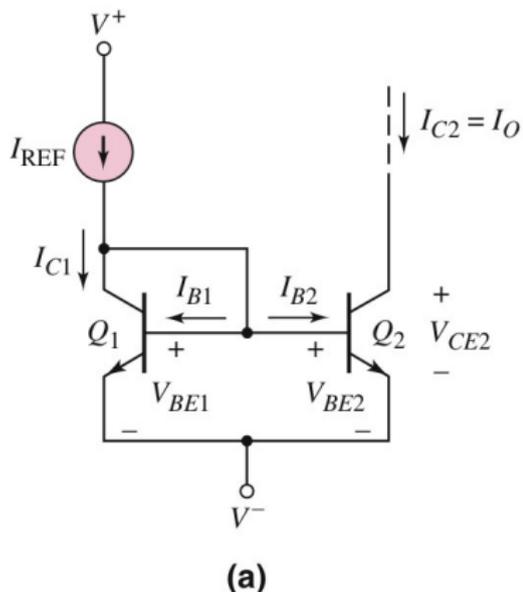
En el caso de la fuente ideal $R_0 = \infty$. En general, sin embargo, tal valor es finito y tiene un efecto en la variación de corriente que se mide en la carga cuando esta se conecta:

$$\frac{\Delta V_0}{\Delta I_0} = R_0$$

o equivalentemente

$$\Delta I_0 = \frac{1}{R_0} \Delta V_0. \quad (1)$$

Circuito Espejo de Corriente



$$R_1 = \frac{V^+ - V^- - V_{BE}}{I_{REF}}$$

Circuito Espejo de Corriente

Si ambos transistores son iguales y como $V_{BE1} = V_{BE2} = V_{BE}$ tenemos

$$\begin{aligned} I_{C1} &= I_{S1} \exp\left(\frac{V_{BE1}}{V_T}\right) = I_S \exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right) \\ &= I_{S2} \exp\left(\frac{V_{BE2}}{V_T}\right) = I_{C2} \end{aligned}$$

Si Q_2 está en el modo activo, entonces

$$I_{B1} = I_{B2}.$$

Por lo tanto

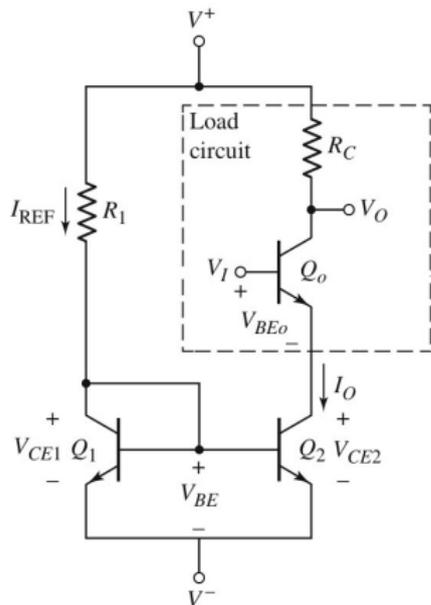
$$\begin{aligned} I_{REF} &= I_{C1} + I_{B1} + I_{B2} \\ &= I_{C1} + 2I_{B1} \\ &= I_{C1} \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \\ &= I_{C2} \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \end{aligned}$$

Circuito Espejo de Corriente

Pero $I_{C2} = I_0$. Finalmente

$$I_0 = \frac{I_{REF}}{1 + \frac{2}{\beta}}. \quad (2)$$

Qué pasa si conectamos una carga a la fuente?



- La carga afecta la operación de Q_2 .
- Si R_0 es pequeño Q_2 podría eventualmente saturarse.
- En general se tienen las siguientes relaciones

$$I_{C1} = I_S \exp\left(\frac{V_{BE1}}{V_T}\right) \left(1 + \frac{V_{CE1}}{V_A}\right)$$

$$I_{C2} = I_S \exp\left(\frac{V_{BE2}}{V_T}\right) \left(1 + \frac{V_{CE2}}{V_A}\right)$$

Circuito Espejo de Corriente

Por lo tanto

$$\frac{I_{C1}}{I_{C2}} = \exp\left(\frac{V_{BE1} - V_{BE2}}{V_T}\right) \frac{1 + V_{CE1}/V_A}{1 + V_{CE2}/V_A}$$

Pero $V_{BE1} = V_{BE2} = V_{BE}$ y $V_{CE1} = V_{CE2}$ tenemos

$$\frac{I_{C1}}{I_{C2}} = \frac{1 + V_{BE}/V_A}{1 + V_{CE2}/V_A}$$

Además tenemos

$$I_{REF} = I_{C1} \left(1 + \frac{2}{\beta}\right)$$

$$I_{C2} = I_0$$

$$\Rightarrow I_0 = \frac{I_{REF}}{1 + \frac{2}{\beta}} \times \frac{1}{1 + V_{BE}/V_A} \times \left(1 + \frac{V_{CE2}}{V_A}\right)$$

Circuito Espejo de Corriente

Notemos que el voltaje V_{CE2} depende del voltaje de entrada aplicado al transistor de carga, V_I . La relación entre ellos se deriva haciendo LVK en el loop externo:

$$V_I = V_{BE0} + V_{CE2} + V^-$$

esto es

$$V_{CE2} = V_I - V_{BE0} - V^-$$

Por lo tanto el cambio del voltaje tendrá un efecto en V_{CE2} . En efecto

$$\Delta V_{CE2} = \Delta V_I$$

Cabe preguntarse entonces, cuál es la magnitud del cambio diferencia del I_0 con respecto a V_{CE2} ?

$$\frac{dI_0}{dV_{CE2}} = \frac{I_{REF}}{1 + \frac{2}{\beta}} \times \frac{1}{1 + V_{BE}/V_A} \times \frac{1}{V_A}$$

Circuito Espejo de Corriente

$$\frac{dI_0}{dV_{CE2}} = \frac{1}{r_{02}} \times \frac{1}{1 + V_{BE}/V_A}$$

Si $V_{BE} \ll V_A$, entonces

$$\frac{dI_0}{dV_{CE2}} \cong \frac{1}{r_{02}}.$$

La resistencia de salida de la fuente (mirando hacia el colector de Q_2 corresponde a la resistencia dinámica del transistor, esto es, r_{02}).

Este cálculo también puede realizarse utilizando el modelo equivalente de señal pequeña (en el modo activo) de ambos transistores.

Se tiene entonces lo siguiente:

$$V_x = (I_x - g_{m2}V_{\pi 2})r_{02}$$

En la entrada $V_{\pi 1} = V_{\pi 2}$. Por lo tanto

$$\begin{aligned} g_{m1}V_{\pi 1} + \frac{V_{\pi 1}}{R_1 \parallel r_{01}} + \frac{V_{\pi 1}}{r_{\pi 1} \parallel r_{\pi 2}} &= 0 \\ \Rightarrow V_{\pi 1} &= 0. \end{aligned}$$

Circuito Espejo de Corriente

Por lo tanto,

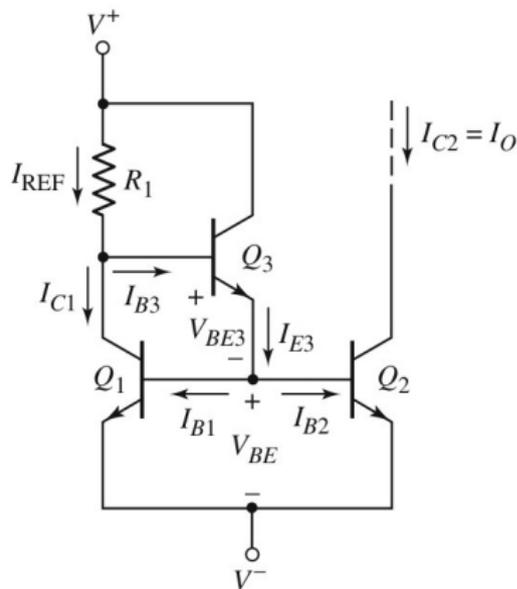
$$V_x = I_x r_{02}$$

y finalmente $R_0 = r_{02}$.

Circuitos Fuente de Corriente Mejorados

Objetivo: Mejorar la estabilidad de la fuente con respecto a variaciones de β y V_o .

Fuente con Tres Transistores



El transistor Q_3 provee de corriente a las bases Q_1 y Q_2 . Se tiene

$$I_0 = \frac{I_{REF}}{1 + \frac{2}{\beta(1+\beta_3)}}$$

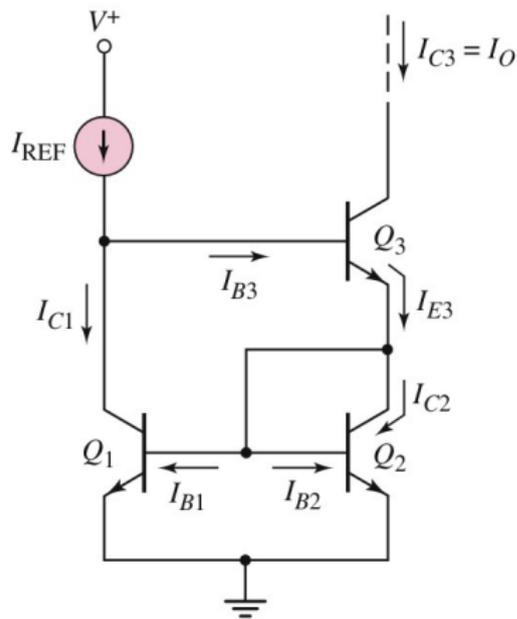
y

$$R_1 = \frac{V^+ - 2V_{BE} - V^-}{I_{REF}}.$$

La resistencia de salida es $R_0 \cong r_{o2}$.

Circuitos Fuente de Corriente Mejorados

Fuente Wilson



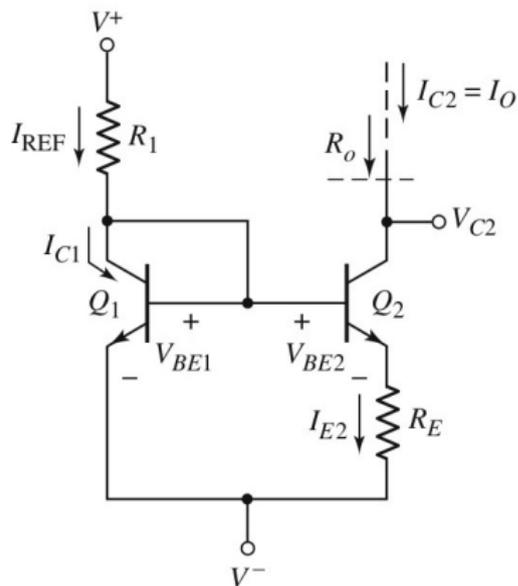
y

$$I_0 = \frac{I_{REF}}{1 + \frac{2}{\beta(2+\beta)}}$$

$$R_0 \cong \frac{\beta}{2} r_{03}$$

Circuitos Fuente de Corriente Mejorados

Fuente Widlar



y

$$I_0 R_E = V_T \log \left(\frac{I_{REF}}{I_0} \right)$$

$$R_0 \cong (1 + g_{m2} R_E \parallel r_{\pi 2}) r_{o2}.$$