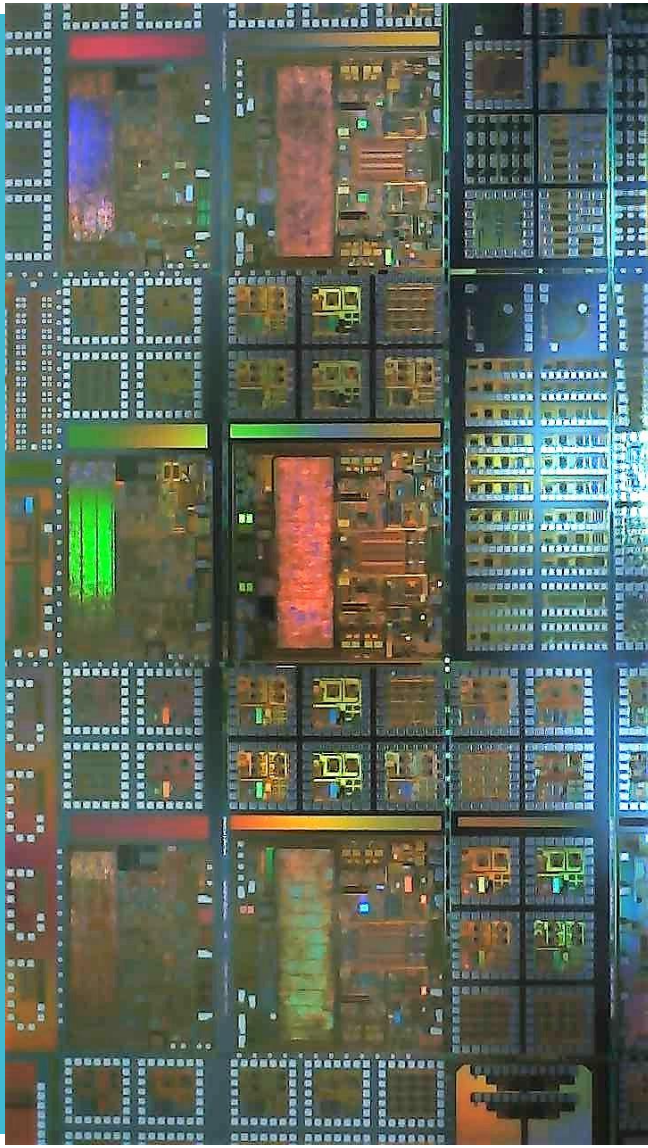
.UBA fiuba
FACULTAD DE INGENIERÍA

Referencias y Osciladores

2024



ALLEGRO microsystems

Contenido Clase 13

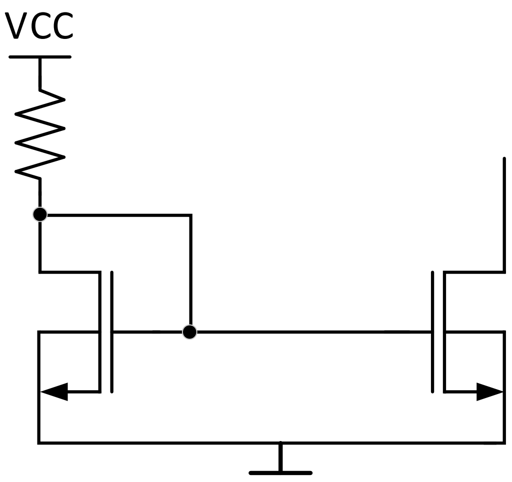
- Referencias Reales
- Circuito Self-biased
- Referencias Independientes de la Temperatura
- Bandgap
- Brokaw Cell
- Startup
- Osciladores

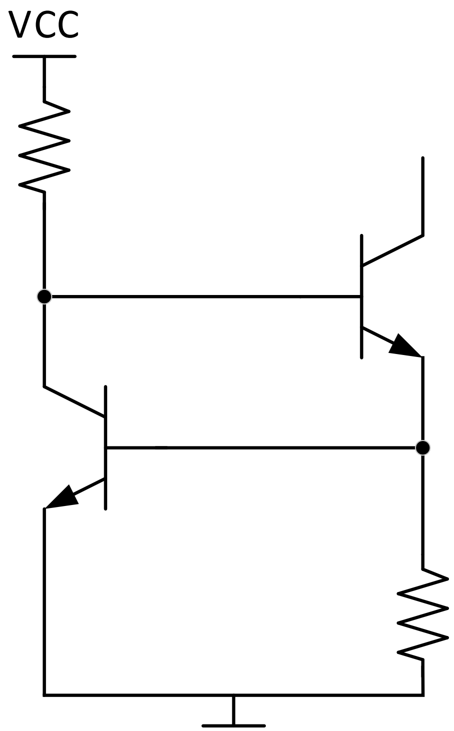
Capítulo 5: Referencias Reales

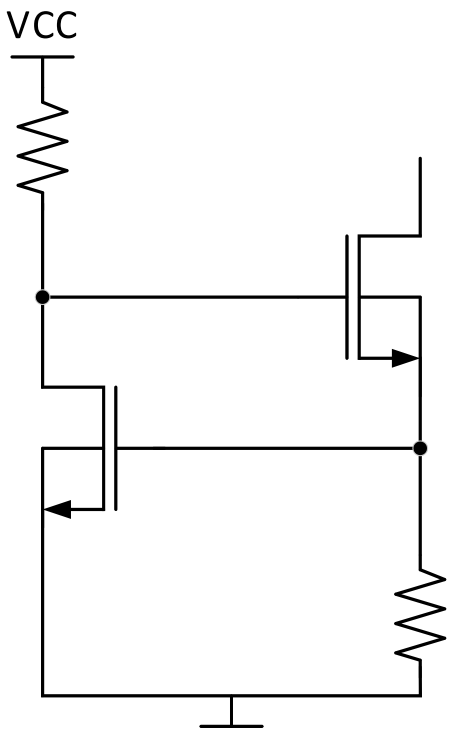
Hasta ahora, cada vez que usábamos una fuente de corriente de referencia suponíamos que era una fuente externa ideal.

La pregunta es, en un circuito real, **quién genera esa corriente?**

Una posibilidad es implementar lo siguiente:





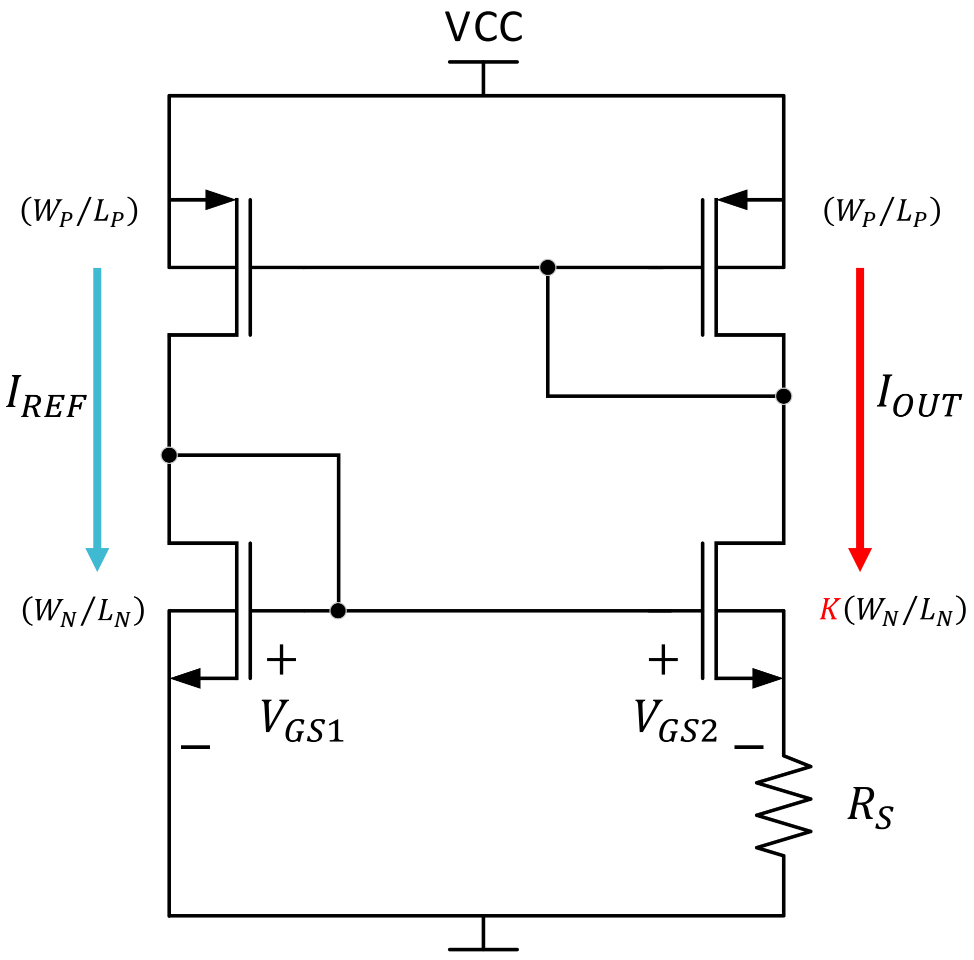


Sin embargo, todas ellas presentan, en mayor o menor medida, dependencia de VCC y temperatura.

Capítulo 5: Circuito Self Biased

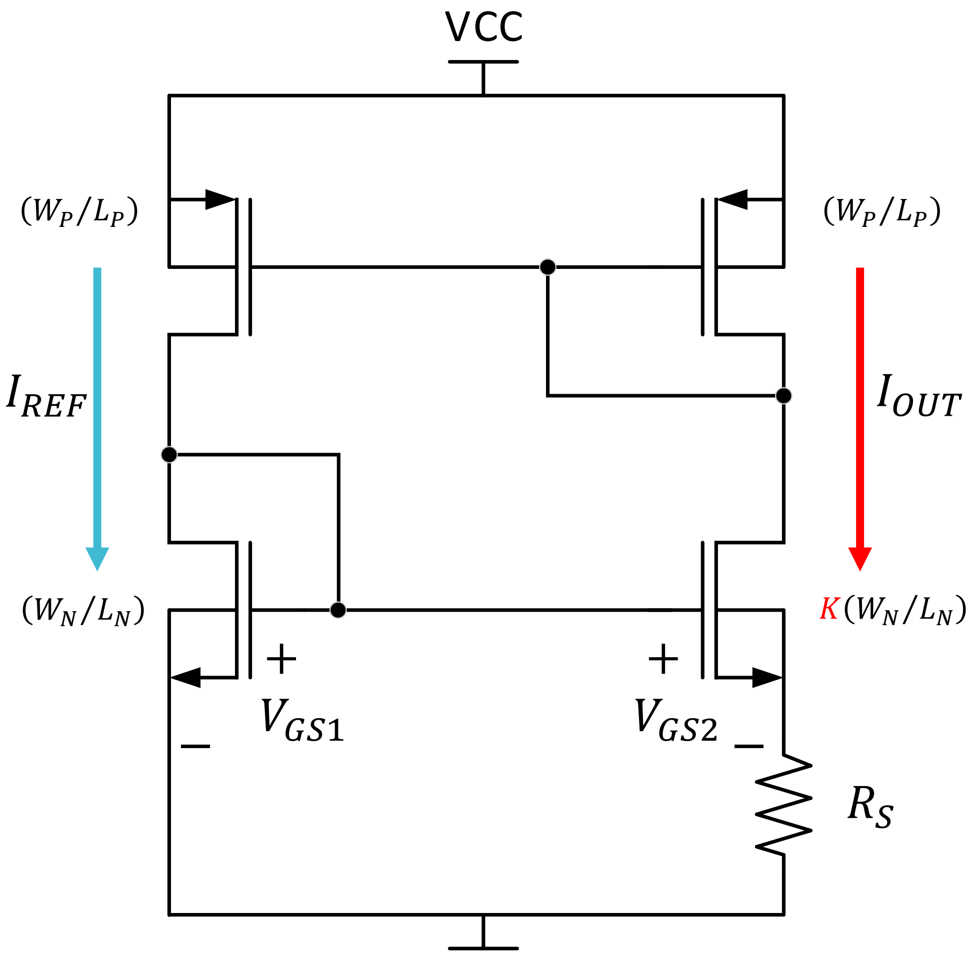
Si queremos completa independencia vamos a necesitar un circuito *"self biased".*

Calcular la corriente I_{OUT}



Capítulo 5: Circuito Self Biased

Si queremos complete independencia vamos a necesitar un circuito *"self biased"*



$$V_{GS1} = V_{GS2} + I_{OUT} \times R_S$$

$$\sqrt{\frac{2I_{OUT}}{\mu_n C_{ox}(W_N/L_N)}} + V_{T1} = \sqrt{\frac{2I_{OUT}}{\mu_n C_{ox}K(W_N/L_N)}} + V_{T2} + I_{OUT} \times R_S$$

$$I_{OUT} = \frac{2}{\mu_n C_{ox}(W_N/L_N)} \times \frac{1}{R_S} \times \left(1 - \frac{1}{\sqrt{K}}\right)^2$$

✓Independiente de VCC

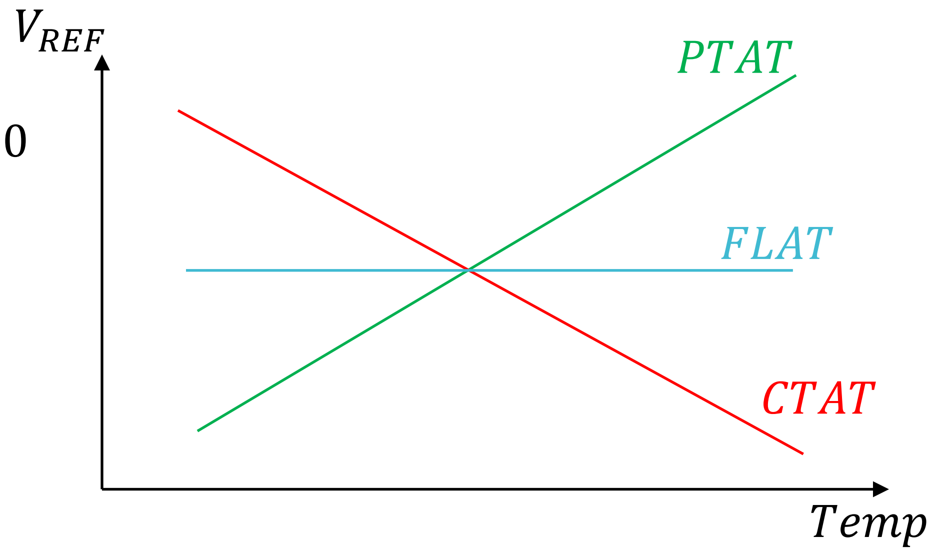
✗ Dependiente del Proceso y la Temperatura

✗ Necesita Start-up

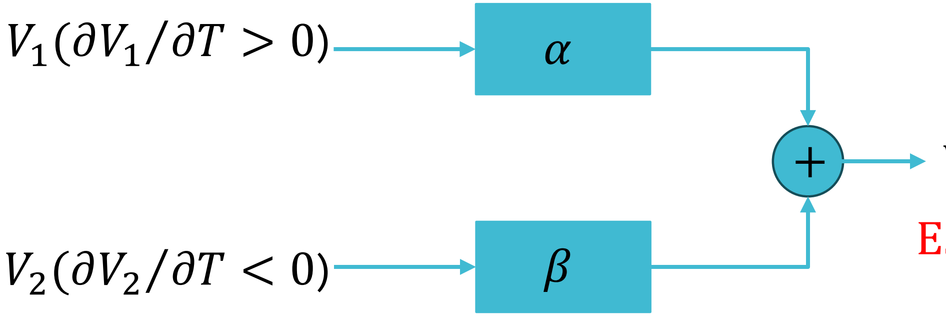
Capítulo 5: Referencias Independientes de la Temperatura

Si quiero una corriente independiente de la temperatura podría generarla a partir una tensión y una resistencia cuyos valores no varíen

La variación de un parámetro (por ejemplo una tensión de referencia) con temperatura se denomina *TC (temperature coefficient)* y se encuentrada dado por $TC = \partial V_{ref}/\partial T$. Cuando el $TC > 0$ se dice que nuestra referencia es *PTAT (proportional to absolute temperature). Si el* $TC < 0$ diremos que nuestra referencia es *CTAT (complimentary to absolute temperature)*.



Nuestro objetivo es encontrar una referencia *flat*, es decir, que su $TC = 0$



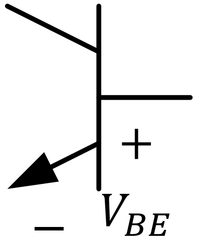
$V_{REF} = \alpha V_1 + \beta V_2 \ (\partial V_{REF}/\partial T = \alpha\, \partial V_1/\partial T + \beta\, \partial V_2/\partial T)$

Escogiendo correctamente α y β Podemos lograr que $TC_{VREF} = 0$

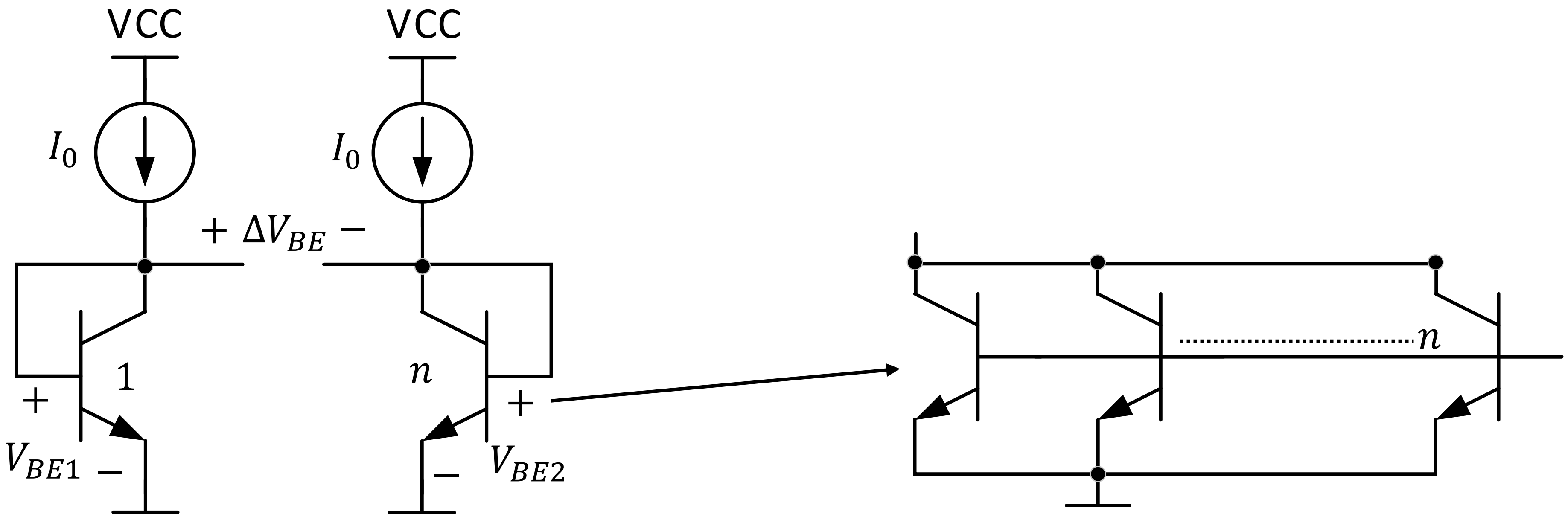
Capítulo 5: Referencias Independientes de la Temperatura

Calcular el TC de las siguientes referencias:

CTAT



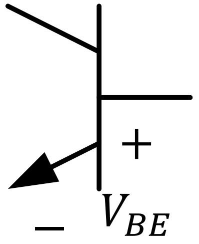
PTAT



Capítulo 5: Referencias Independientes de la Temperatura

Calcular el TC de las siguientes referencias:

CTAT



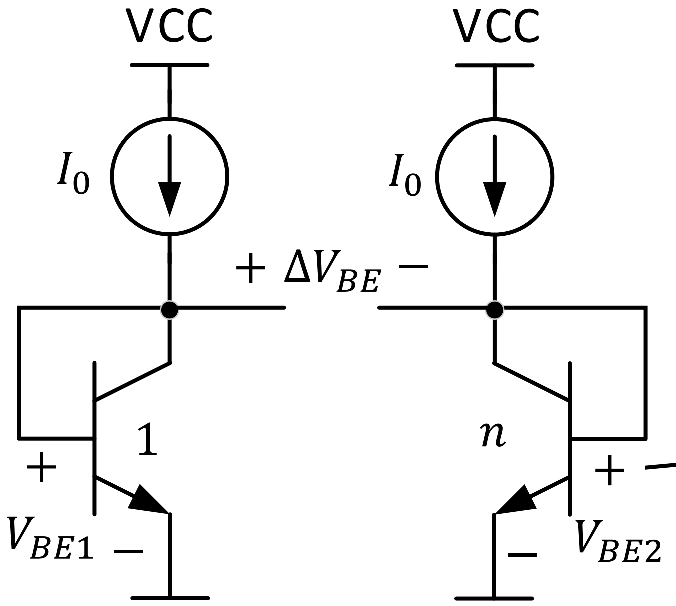
$$\frac{\partial V_{BE}}{\partial T} \sim -2\,mV/°C < 0$$

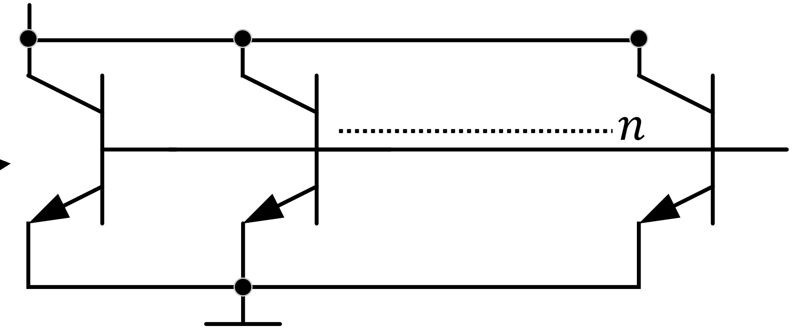
PTAT

$$\left.\begin{array}{l} V_{BE1} = V_T\,ln\left(\dfrac{I_0}{I_S}\right) \\[2em] V_{BE2} = V_T\,ln\left(\dfrac{I_0}{I_S}\right) \end{array}\right\} \Delta V_{BE} = V_{BE1} - V_{BE2} = V_T \ln(n)$$

$$V_T = \frac{k_B T}{q}$$

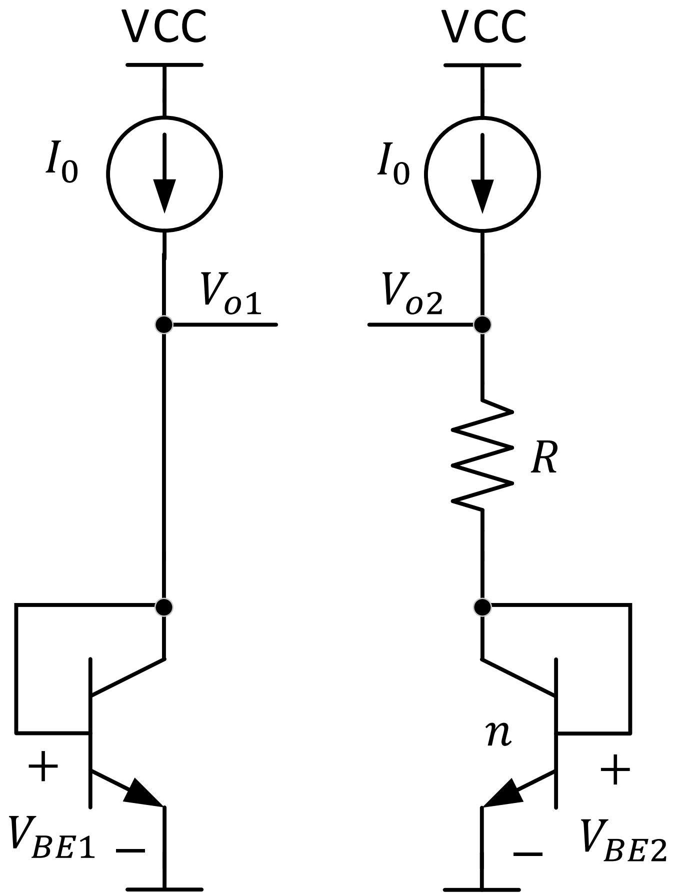
$$\frac{\partial \Delta V_{BE}}{\partial T} = \frac{\partial V_T}{\partial T}\ln(n) = \frac{k_B}{q}\ln(n) > 0$$





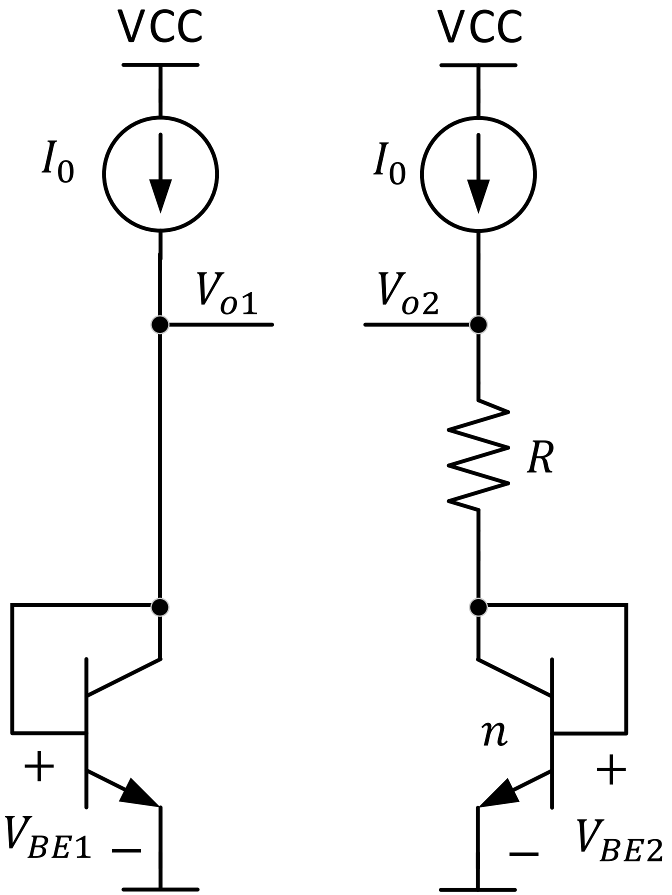
Capítulo 5: Bandgap

Asumiendo que $V_{o1} = V_{o2} = V_{ref}$, calcular V_{ref}



Capítulo 5: Bandgap

Asumiendo que $V_{o1} = V_{o2} = V_o$, calcular V_o



$$\left.\begin{aligned} V_{o1} &= V_{BE1} \\ V_{o2} &= V_{BE2} + I_0 \times R \end{aligned}\right\} \quad V_{BE1} = V_{BE2} + I_0 \times R \rightarrow \Delta V_{BE} = V_T \ln(n) = I_0 \times R$$

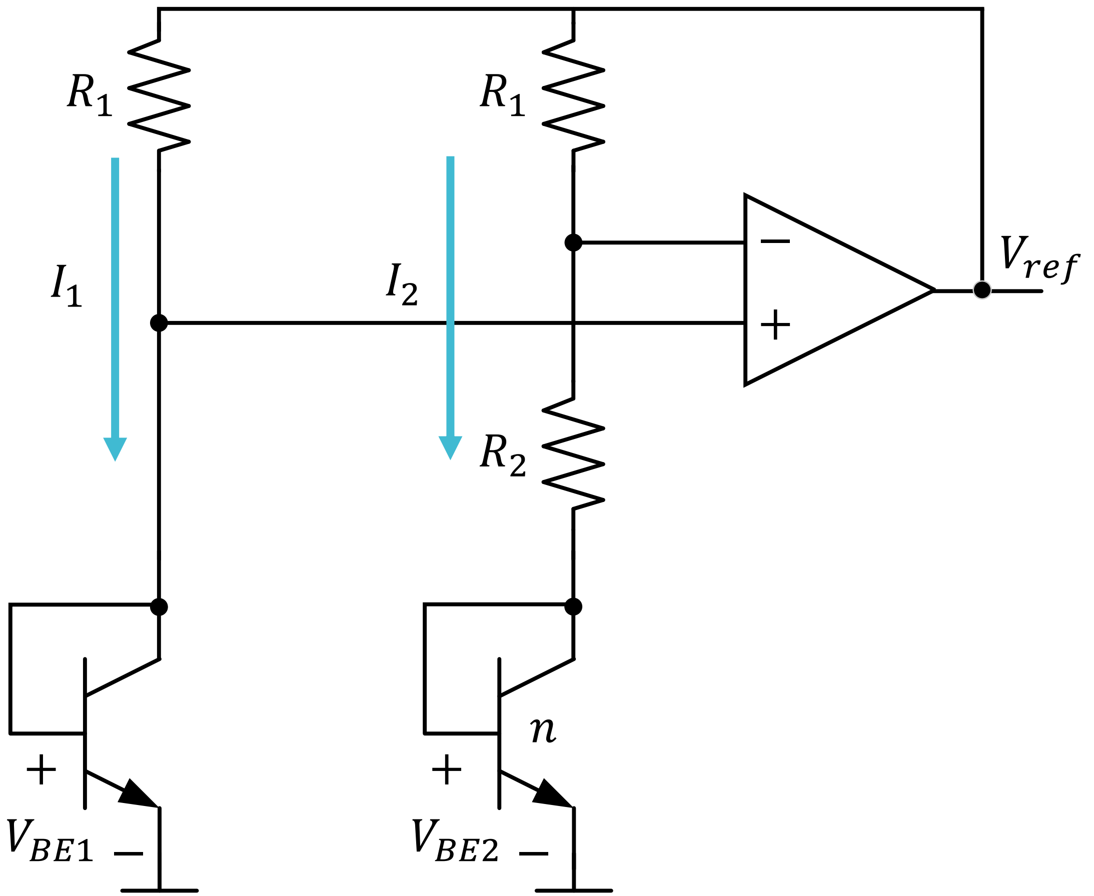
$$V_{ref} = V_{o1} = V_{o2} = \underbrace{V_{BE2}}_{TC < 0} + \underbrace{V_T \ln(n) \times R}_{TC > 0}$$

$$\frac{\partial V_{ref}}{\partial T} = \frac{\partial V_{BE2}}{\partial T} + \frac{\partial V_T}{\partial T} \ln(n) \times R = 0 \rightarrow V_{ref} \sim 1.2V^{1}$$

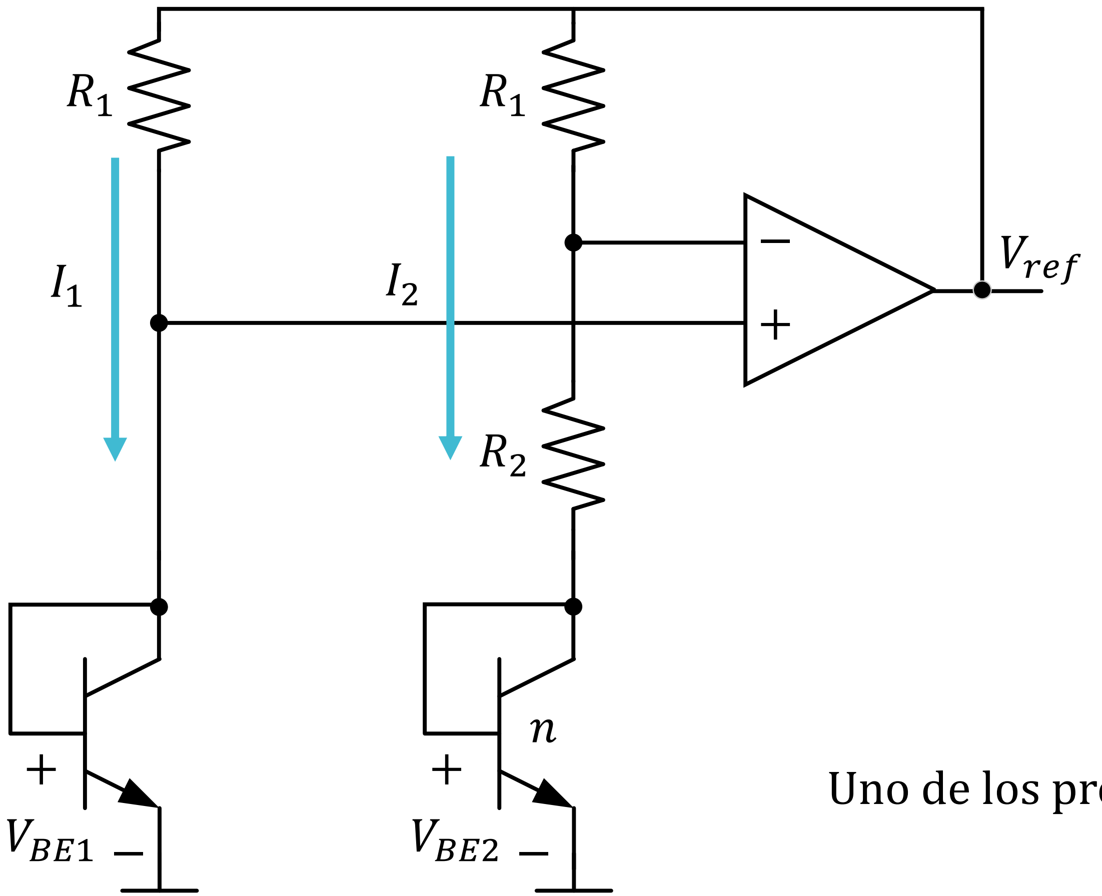
[1]Carusone, Johns, Martin. Analog Integrated Circuit Design. pp. 310-314

Una forma de garantizar que ambas corrientes son iguales es utilizando un opamp con feedback.

Calcular el valor de V_{ref}.



Calcular el valor de V_{ref}.



$$I_1 = \frac{V_{ref} - V_{BE1}}{R_1} \qquad I_2 = \frac{V_{ref} - (V_{BE2} + I_2 \times R_2)}{R_1} \quad (2)$$

$$I_1 = I_2 = \frac{V_{ref} - V_{BE1}}{R_1} = \frac{V_{ref} - (V_{BE2} + I_2 \times R_2)}{R_1}$$

$$-V_{BE1} = -(V_{BE2} + I_2 \times R_2) \rightarrow I_2 = \frac{V_T \ln(n)}{R_2}$$

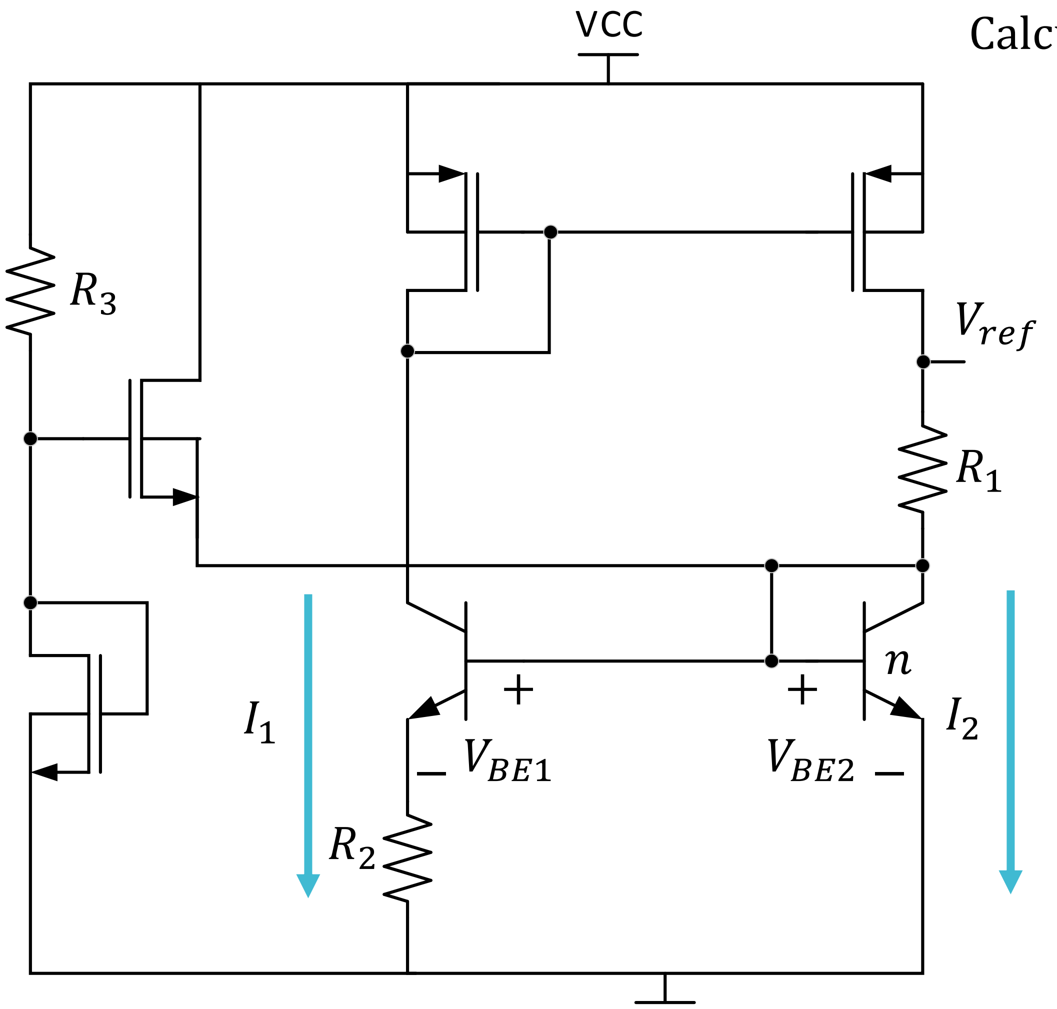
Reemplazando en (2):

$$V_{ref} = V_{BE2} + V_T \ln(n)\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$$

Uno de los problemas que tiene este circuito es el offset del amplificador

Capítulo 5: Brokaw Cell

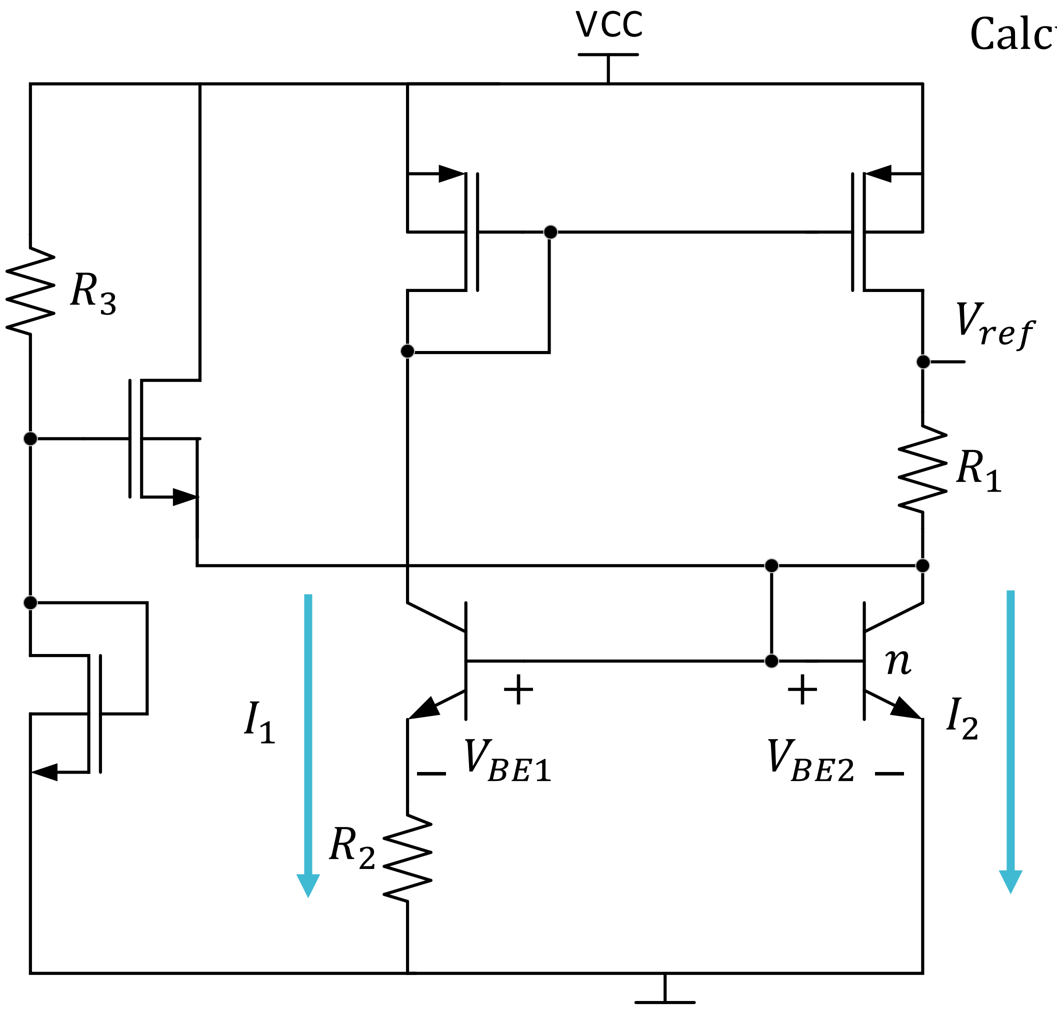
Una celda muy utilizada generar una tensión de referencia es la *"Brokaw Cell"*



Calcular la tensión V_{ref}:

Capítulo 5: Brokaw Cell

Una celda muy utilizada generar una tensión de referencia es la *"Brokaw Cell"*



Calcular la tensión V_{ref}:

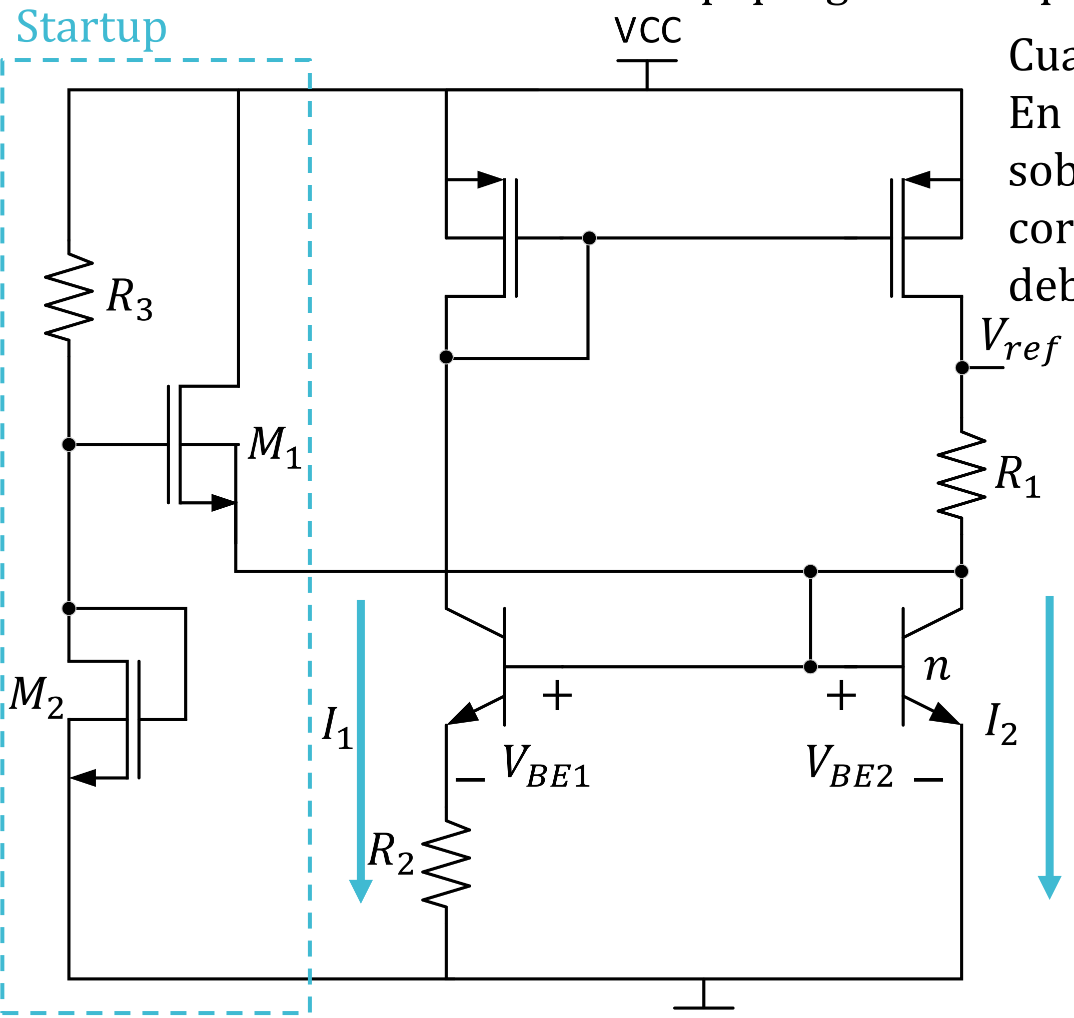
$$V_{ref} = V_{BE2} + I_2 \times R_1$$

$$I_2 = I_1 = \frac{V_T \ln(n)}{R_2}$$

$$V_{ref} = V_{BE2} + V_T \ln(n) \frac{R_1}{R_1}$$

Capítulo 5: Startup

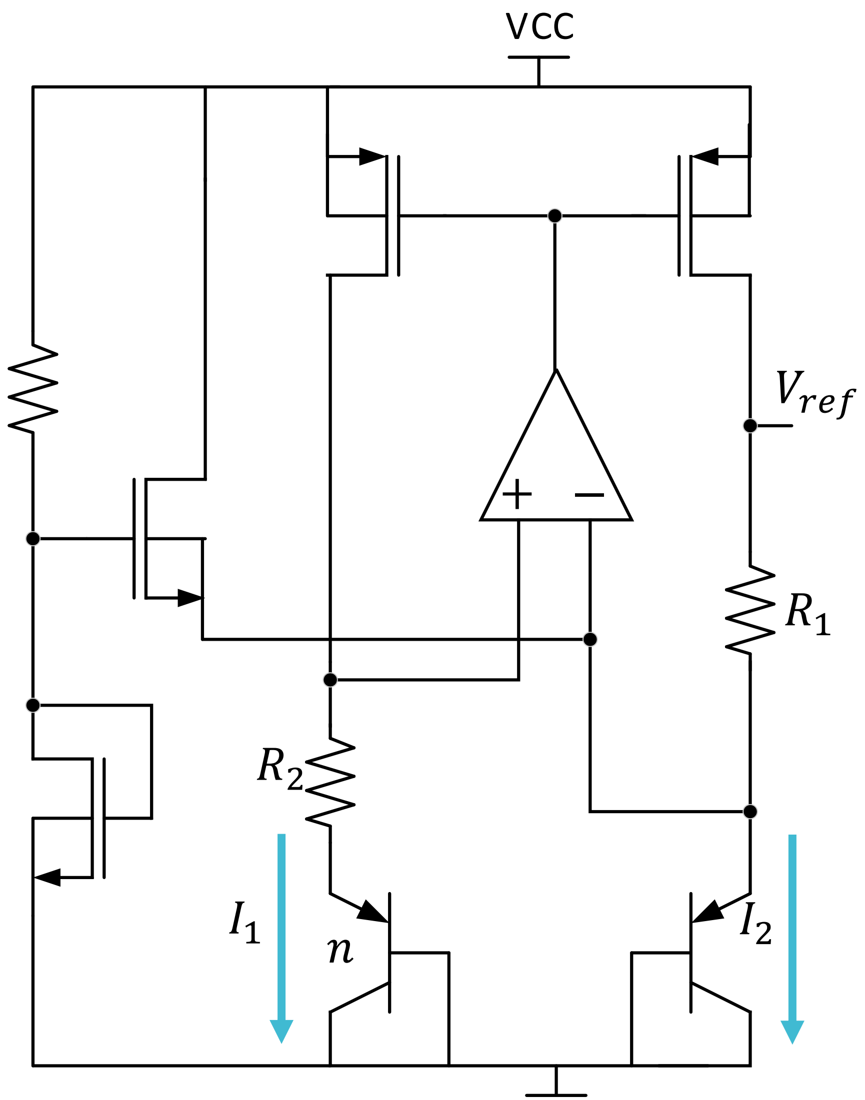
Las celdas *“self biased”* tienen un problema: el arranque. La condición de que las corrientes por las ramas sean iguales se da para dos casos: cuando se cumple lo calculado anteriormente y cuando ambas son cero. Por esta razón es necesario un circuito de startup que garantice que llegaremos al punto de trabajo deseado



Cuando VCC vaya subiendo, llegará un punto en el cual M_1 se encenderá. En ese momento, el transitor comenzará a hacer circular corriente sobre las bases de los bipolares, encendiéndolos, y garantizando que haya corrientes en los colectores. Luego, llegará un punto en el que la caída en R_3, debido a la corriente de drain de M_2, hará que M_1 se apague.

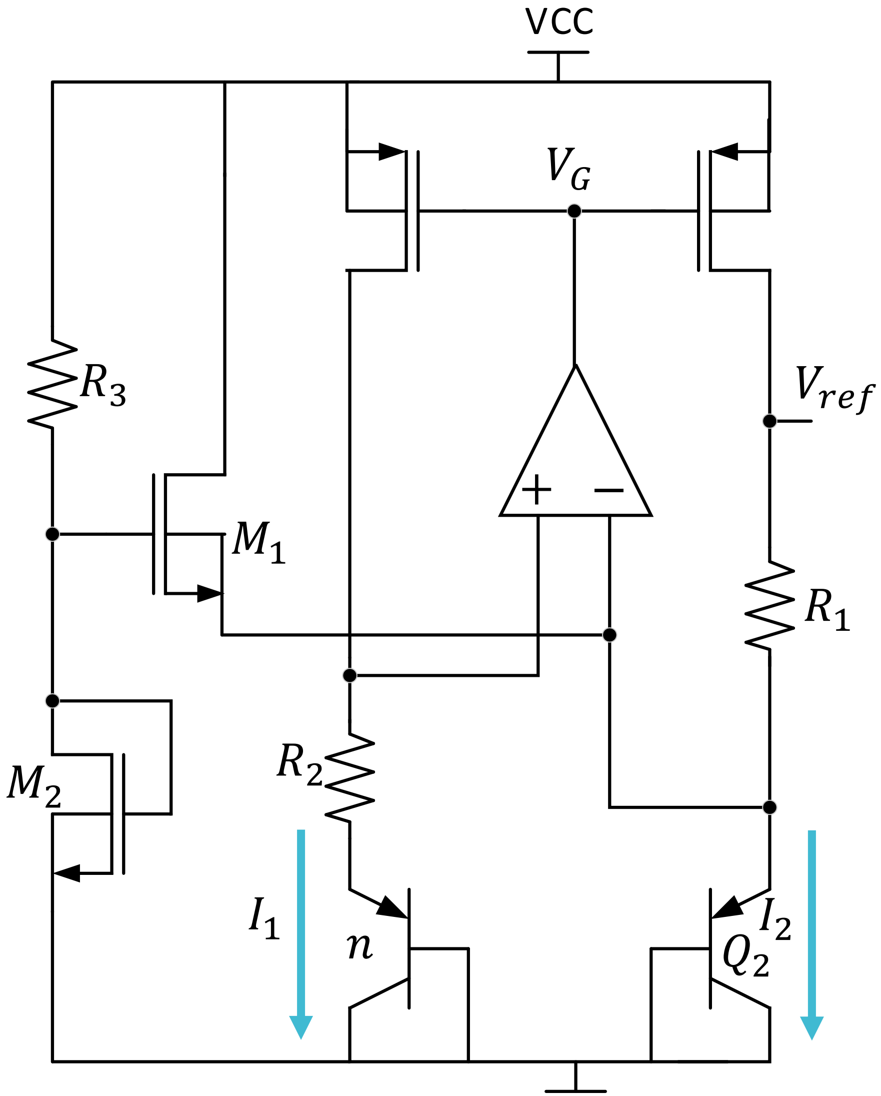
Capítulo 5: Bandgap – Brokaw Cell

El siguiente circuito es una Brokaw Cell implementada con PNP. Calcular la tensión V_{ref} y explicar el circuito de startup



Capítulo 5: Bandgap – Brokaw Cell

El siguiente circuito es una Brokaw Cell implementada con PNP. Calcular la tensión V_{ref}:



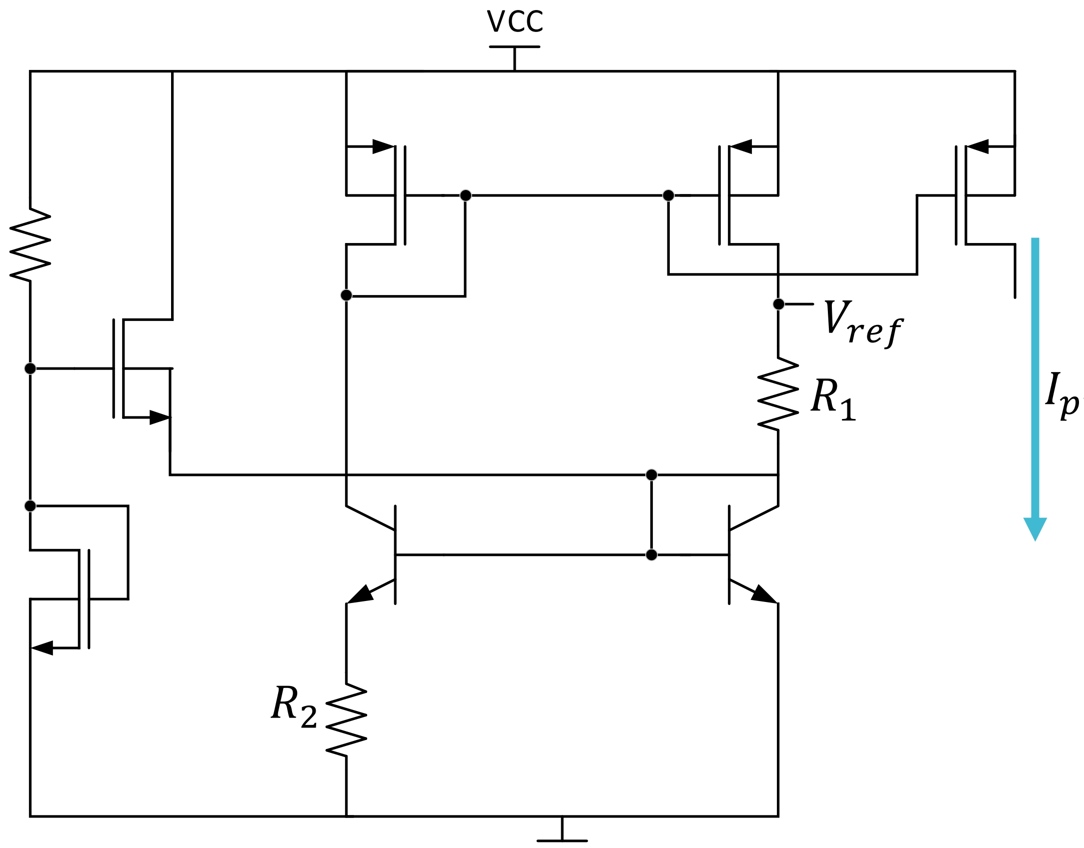
$$I_1 = \frac{V_{EB2} - V_{EB1}}{R_2} \rightarrow I_1 = \frac{V_T \ln(n)}{R_2} \qquad I_1 = I_2$$

$$V_{ref} = V_{EB1} + V_T \ln(n) \frac{R_1}{R_2}$$

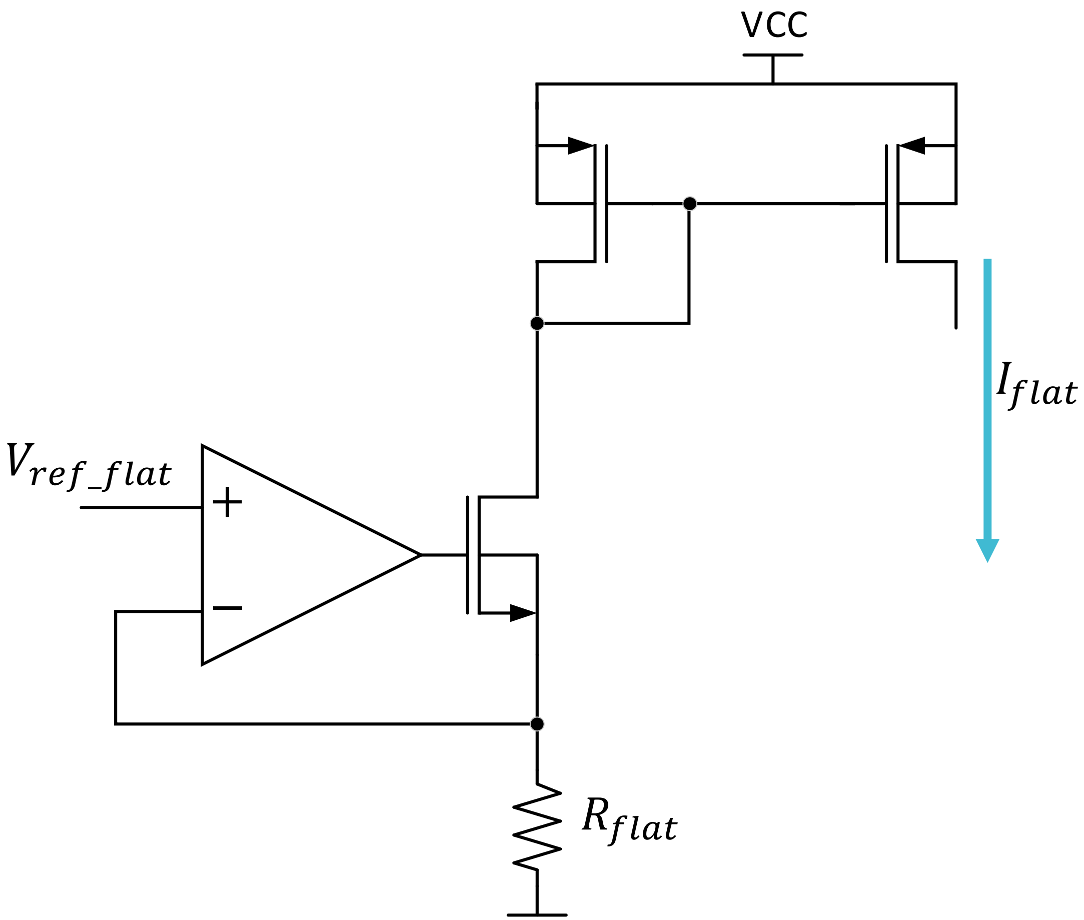
Startup:cuando VCC comience a subir y encienda el transistor M_1, comenzará a circular corriente por Q_2 lo cual hará que la entrada negativa del opamp suba, bajando V_G y encendiendo los PMOS

Capítulo 5: Corrientes PTAT y FLAT

Utilizando lo visto estamos en condiciones de generar corrientes PTAT y FLAT

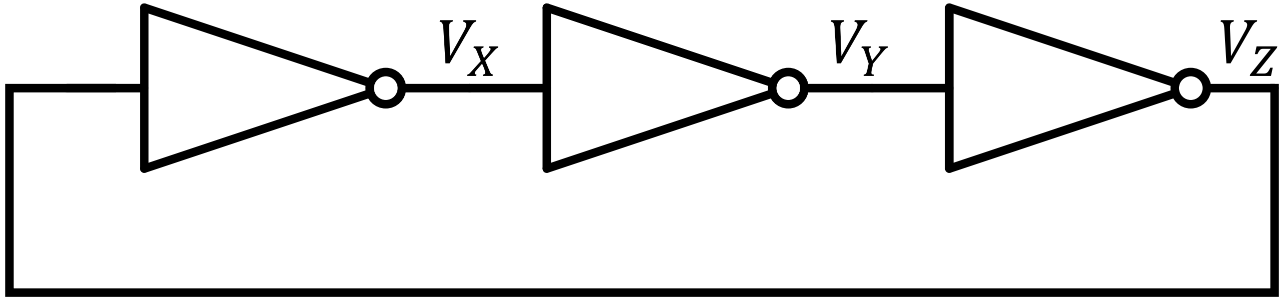


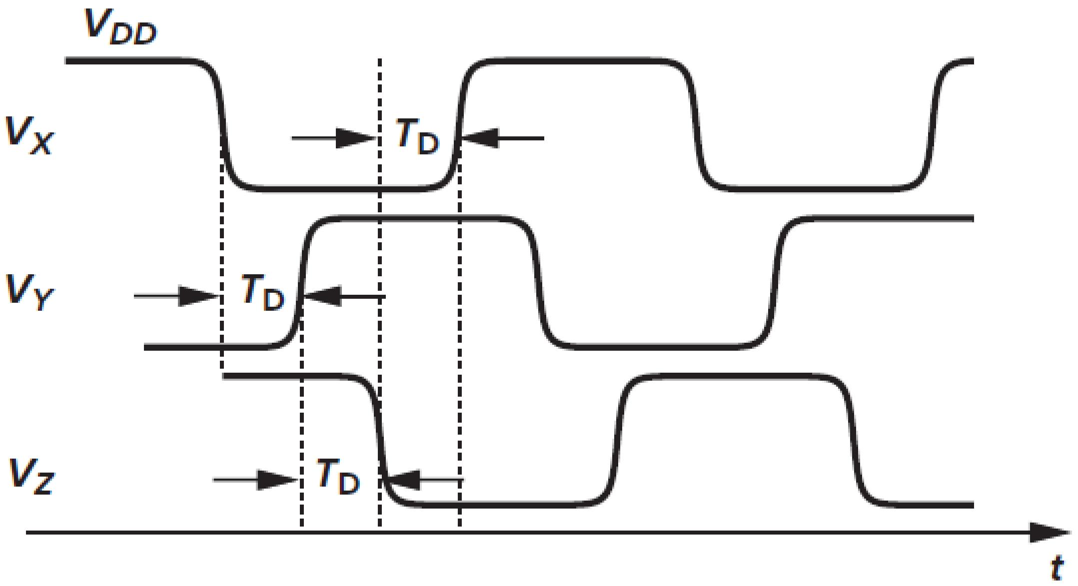
$$I_{ptat} = \frac{V_T \ln(n)}{R_2}$$



Capítulo 5: Ring Oscillator

Consiste en una cascada impar de inversores en lazo cerrado





$$f_{osc} = \frac{1}{2NT_D}$$

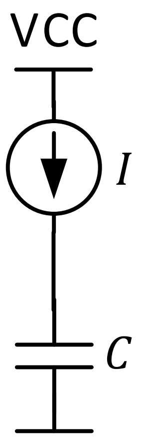
$$T_D = 0.69\text{RonCL}$$

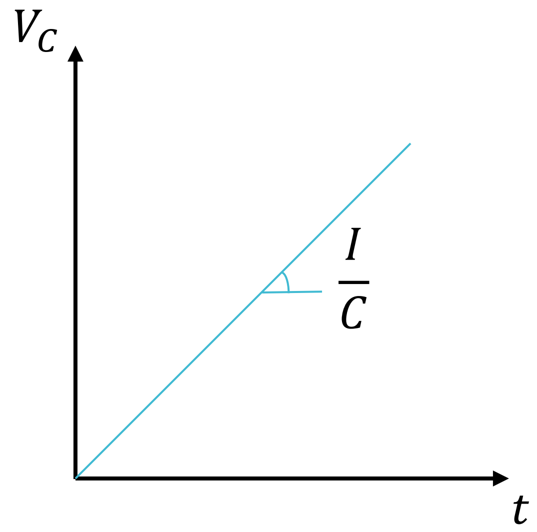
- ✓Poca área
- ✗ Dependiente del Proceso y la Temperatura
- ✗ No se puede trimmear

Capítulo 5: Relaxation Oscillator

Se caracterizan por un circuito RC

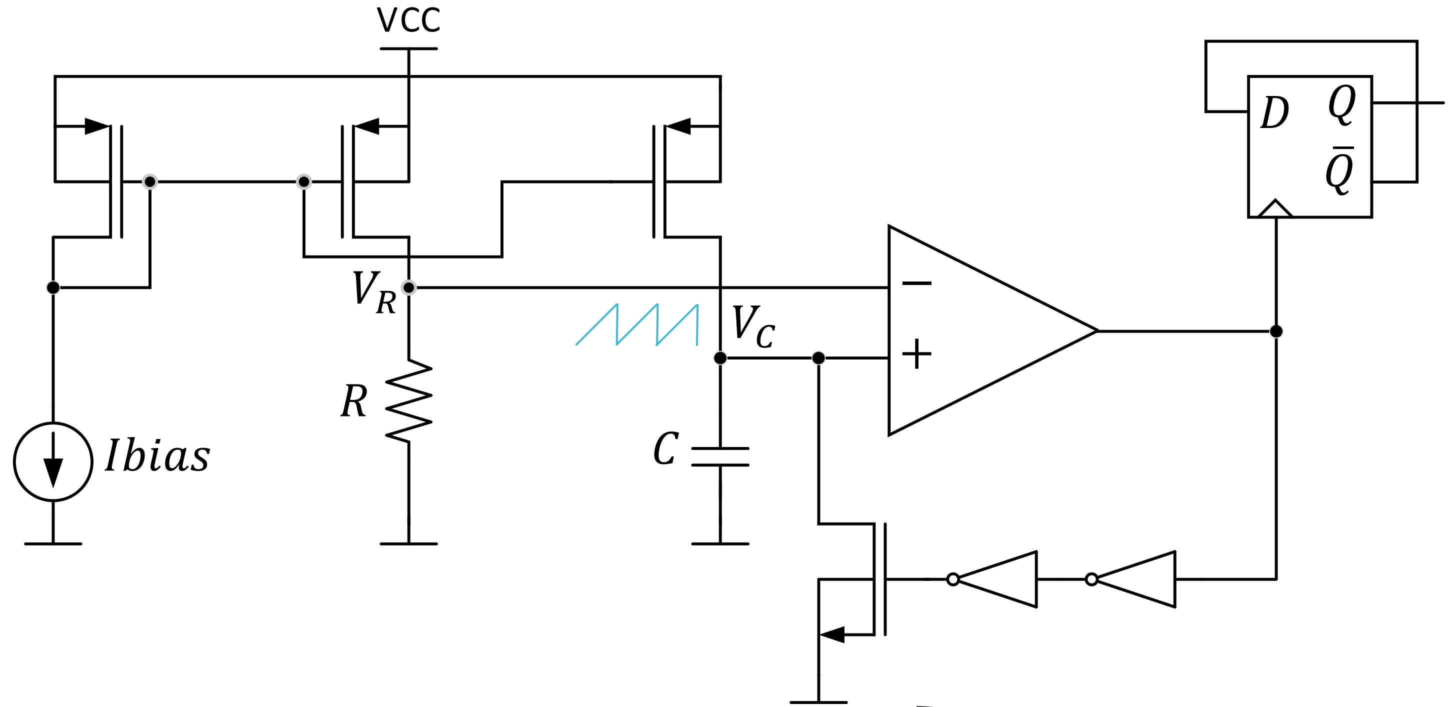
La tensión en un capacitor que se carga con una fuente de corriente crece linealmente con el tiempo





$$I = C\frac{\partial V_C}{\partial t} \rightarrow V_C = \frac{I}{C}\int \partial t = \frac{I}{C} \times t$$

Cuando la tensión en el capacitor supere la de la resistencia el comparador cambiará su salida haciendo que la salida del FF cambie de estado



✓Se puede trimear

✗ Diseño más complejo

$$\left.\begin{aligned} V_R &= I \times R \\ V_C &= \frac{I}{C} \times t \end{aligned}\right\}$$

Nos interesa cuando $V_C = V_R$

$$f = \frac{1}{t} = \frac{1}{RC}$$