

Electrónica Avanzada 2

Práctico 2 Referencias de Corriente y Tensión

Los ejercicios marcados con ★ son opcionales. Además cada ejercicio puede tener una fecha, que indica en que prueba se planteó el ejercicio.

Objetivo: Este práctico tiene como objetivo familiarizar al estudiante con los circuitos clásicos de referencias de tensión y corriente y sus variantes, así como las técnicas de diseño y análisis vistas en clase.

Ejercicio 1

- Determine la resistencia de salida del circuito de la figura 1. Cual es la corriente de salida si $V_{OUT} = 1V, 5V, 30V$ si consideramos que los transistores tienen β infinito.
- Repita la parte anterior considerando ahora que los transistores tienen $\beta = 100$.
- Compare sus resultados con una simulación SPICE.

Para todo el problema considere que los transistores tienen $V_{BE} = 0.6V$ y $V_A = 100V$.

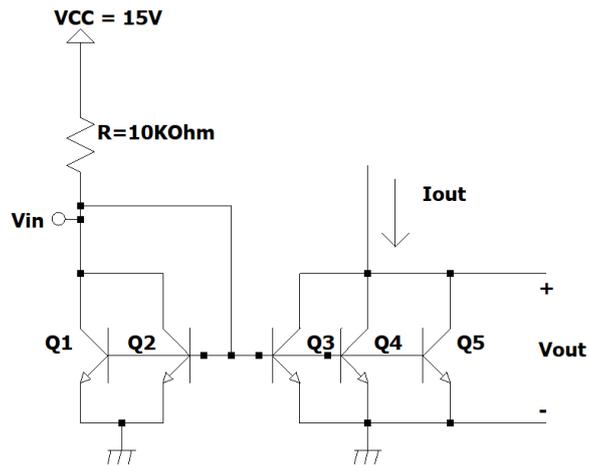


Figura 1

Ejercicio 2

- Encuentre una expresión analítica para la resistencia de salida R_o de un espejo de corriente bipolar tipo Cascode como el de la figura 2.
- Demuestre que la expresión se puede aproximar como $\frac{\beta r_o}{2}$. ¿Cuánto vale R_o si $\beta = 100$, $V_A = 130V$ e $I_{IN} = 2mA$?
- Utilice SPICE para graficar I_{OUT} vs V_{OUT} . ¿Cómo cambia la resistencia de salida si $\beta = 50$?

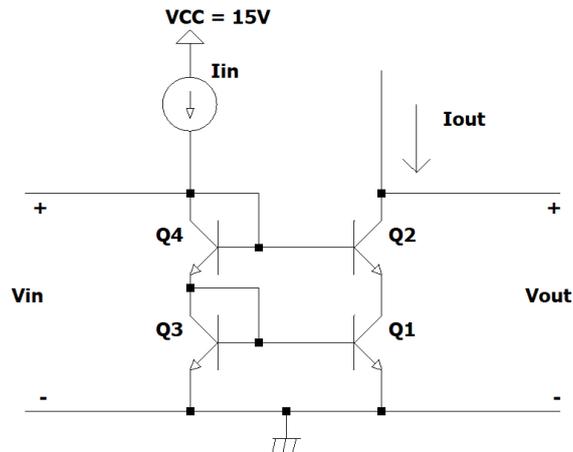


Figura 2

Ejercicio 3

Dimensione el ancho de los transistores y las resistencias de una fuente de corriente Widlar MOS como la que se muestra en la figura 3 con $V_{DD} = 3V$ y que cumpla las siguientes condiciones:

- La corriente de entrada debe ser $100\mu A$ y la de salida debe ser $10\mu A$.
- $V_{GS1} - V_t = 0.2V$
- La resistencia de salida debe ser $50M\Omega$.
- El largo de los transistores es $1\mu m$.
- La datos de la tecnología son: $\mu C_{ox} = 200\mu A/V^2$, $V_t = 0.8V$, $n = 1.4$, $V_A = 50V$.

Ejercicio 4

El circuito de la figura 4 genera una corriente de salida con una relación no lineal con respecto a la corriente de entrada.

- Encuentre la relación I_{OUT} en función de I_{IN} .

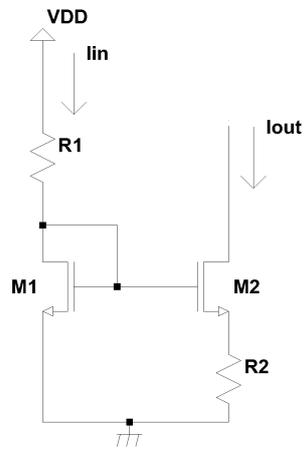


Figura 3

- (b) Grafique I_{OUT} si $R = 10k\Omega$ y si I_{IN} varía entre 0 y $10\mu A$.
- (c) Determine el valor de R necesario para obtener $I_{OUT} = 0.1\mu A$ si $I_{IN} = 1\mu A$.

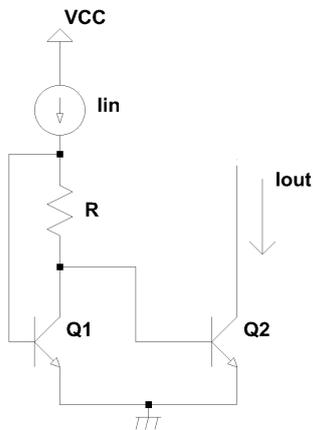


Figura 4

Ejercicio 5

Determine la corriente y la resistencia de salida de la fuente de corriente de la figura 5. Asuma que los transistores son idénticos con $\beta = 200$ y $V_A = 100V$.

Ejercicio 6

- (a) En el circuito de la figura 6 determine las corrientes I_{IN} e I_{OUT} asumiendo que los transistores son idénticos y que para los valores de corriente considerados se puede asumir que tienen un $V_{BE} = 0.7V$.

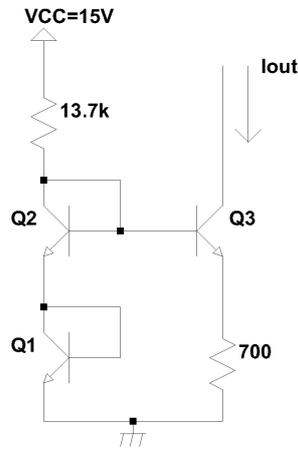


Figura 5

- (b) Encuentre una expresión para la sensibilidad $S_{VCC}^{I_{OUT}}$ de la corriente de salida con respecto a la tensión de alimentación. ¿Que porcentaje cambiará la corriente I_{OUT} si VCC aumenta 5V?
- (c) Verifique que la hipótesis de V_{BE} es correcta si los transistores tienen un $I_S = 1.5 \times 10^{-15} A$. ¿Cuánto cambian I_{IN} e I_{OUT} si usamos el V_{BE} real?

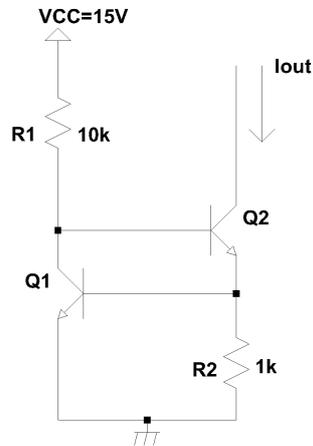


Figura 6

Ejercicio 7

El circuito de la figura 7 genera una corriente I_{BIAS} que depende de R y la relación de tamaños entre los transistores M1 y M2.

- (a) Determine el ancho del transistor M2 necesario para generar una corriente $I_{BIAS} = 50 \mu A$.

- (b) Encuentre la expresión de la relación de variaciones en pequeña señal en I_{BIAS} con respecto a variaciones en pequeña señal en VDD . Considere que todos los transistores tienen una resistencia de salida finita r_o .

Datos:

- M3 y M4 idénticos.
- M1 y M2: $L = 2\mu m$, $V_{tn} = 0.9V$, $\mu_n C_{ox} = 400\mu A/V^2$, $n = 1.5$.
- $W1 = 4\mu m$, $R = 2k\Omega$, $VDD = 5V$.

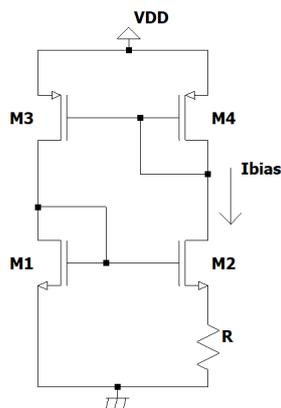


Figura 7

Ejercicio 8

El circuito de la figura 8 es una referencia de tensión bandgap. Modele la tensión V_{BE} con un modelo lineal con tensión de bandgap $V_{G0} = 1.205V$ y pendiente $-2mV/^\circ C$.

- Determine el valor de $R3$ para que la tensión V_{OUT} no dependa de la temperatura. ¿Qué valor tiene V_{OUT} ?
- Asuma que por defectos de fabricación $R3$ vale 1% menos que su valor nominal calculado en (a). ¿Qué pendiente tiene la derivada de V_{OUT} con la temperatura? ¿Qué valor tiene V_{OUT} a $25^\circ C$?
- Utilizando otra vez el valor nominal de $R3$, asuma que el amplificador operacional tiene una tensión de offset a la entrada de $5mV$. ¿Cuál es la tensión de offset a la salida?

Datos:

- Q1 es idéntico a Q2, $\beta \gg 1$
- El amplificador es ideal excepto en lo que indique la letra.
- $R1 = 4.7k\Omega$, $R2 = 8R1$.

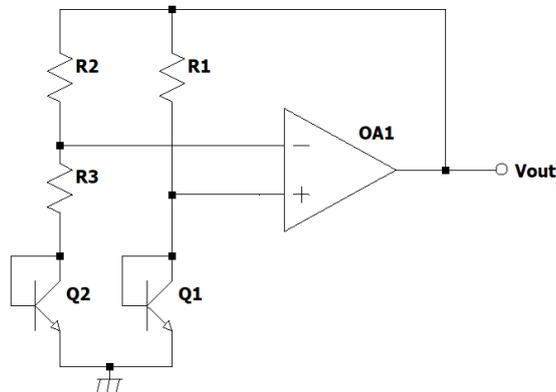


Figura 8

Ejercicio 9

El circuito de la figura 9 es una referencia de tensión bandgap de Widlar. En este problema considere que todos los transistores son idénticos y que la tensión V_{BE} depende linealmente con la temperatura, con tensión de bandgap $V_{G0} = 1.205V$ y pendiente $-2.2mV/^{\circ}C$.

- Asumiendo que la corriente $I1$ es tal que las corrientes por Q1 y Q3 son similares, determine el valor de R1 que garantiza que la tensión V_{ref} no varía con la temperatura.
- Asumiendo que la dependencia de las resistencias del circuito con la temperatura es despreciable, ¿cómo varía la corriente por Q1 con la temperatura? Si consideramos que $I1$ es una fuente de corriente independiente de la temperatura y elegimos su valor de manera que a $25^{\circ}C$ las corrientes por Q1 y Q3 sean iguales, ¿qué diferencia habrá entre esas mismas corrientes cuando el circuito opere a $150^{\circ}C$?

Datos: $R2 = 15k\Omega$, $R3 = 1.5k\Omega$

Ejercicio 10

El circuito de la figura 10 es una referencia de tensión basada en el circuito de Brokaw.

- Determine V_{ref} en función de los parámetros del problema. Desprecie el efecto de las impedancias de salida de los transistores y del β de los bipolares.
- Determine el valor de R1 y R2 para que V_{ref} no dependa de la temperatura y el consumo total del circuito sea $100\mu A$.
- Analice el efecto que introduce en V_{ref} considerar β finito. Considere ahora que los transistores bipolares tienen un $\beta = 80$. Determine para los valores hallados en la parte (b) cuál es la pendiente de V_{ref} con la temperatura y el valor de V_{ref} a $25^{\circ}C$, $-40^{\circ}C$ y $80^{\circ}C$

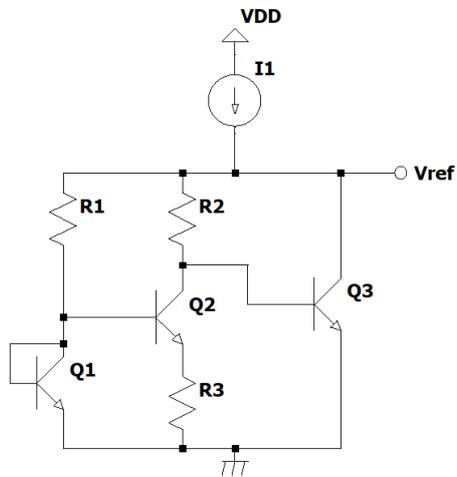


Figura 9

- (d) El circuito de la figura sufre de los mismos problemas de arranque que las fuentes de corriente autopolarizadas vistas en clase. Si dispusiera en su circuito de un pulso de arranque de amplitud V_{DD} y ancho fijo que se activa cada vez que V_{DD} pasa de $0V$ a su valor nominal, ¿cómo modificaría el circuito para asegurarse que el mismo siempre opere en el punto deseado luego del pulso de arranque?.

Datos: $N = 10$, $T = 25^\circ C$

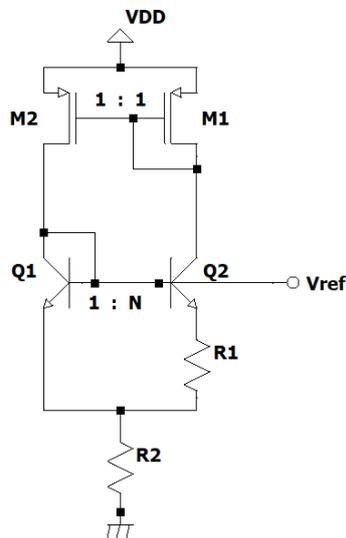


Figura 10

Solución

Ejercicio 1

(a)

$$I_{out} = \begin{cases} 2.18 \text{ mA, si } V_{out} = 1 \text{ V.} \\ 2.27 \text{ mA, si } V_{out} = 5 \text{ V.} \\ 2.81 \text{ mA, si } V_{out} = 30 \text{ V.} \end{cases}$$

(b)

$$I_{out} = \begin{cases} 2.13 \text{ mA, si } V_{out} = 1 \text{ V.} \\ 2.21 \text{ mA, si } V_{out} = 5 \text{ V.} \\ 2.74 \text{ mA, si } V_{out} = 30 \text{ V.} \end{cases}$$

Ejercicio 2

(a) $R_o = \frac{\beta r_{o2} (1 + 4/\beta + 2/\beta^2)}{2(1 + 1/\beta)}$

(b) $R_o = 3.25 M\Omega$

Ejercicio 3

$R1 = 20 k\Omega, R2 = 16.7 k\Omega$

$W1 = 35 \mu m, W2 = 126 \mu m$

Ejercicio 4

(a) $I_{OUT} = I_{IN} e^{-I_{IN} R/V_T}$

(c) $R = 60 k\Omega$

Ejercicio 5

$I_{out} = V_{BE}/R_{E3} = 857 \mu A$

O utilizando $I_S = 5 fA$ $I_{out} = 970 \mu A$

$$R_o \approx r_{o3} \left(1 + \frac{gm_3 R_2}{1 + \frac{gm_3 R_2}{\beta}} \right) = 2.2 M\Omega @ V_A = 100V, \beta = 100$$

Ejercicio 6

(a) $I_{IN} = 1.36 mA$ e $I_{OUT} = 700 \mu A$.

(b) $S_{VCC}^{I_{OUT}} = \frac{V_T V_{CC}}{V_{BE} I_{IN} R_1} = 0.0409 \rightarrow \Delta I_{OUT} = 1.35\%$

(c) I_{IN} disminuye 2.32% e I_{OUT} aumenta 2.26% .

Ejercicio 7

(a) $W2 = 6.76\mu m$

(b) $\frac{i_{bias}}{v_{dd}} \approx \frac{(gm_1 + gm_2)}{r_o (gm_2 (gm_1 R - 1) + gm_1)}$

Ejercicio 8

(a) $R3 = 3.37k\Omega$

(b) $56\mu V/^{\circ}C$

(c) $V_{OffSalida} = \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right) V_{OffOpAmp}$

Ejercicio 9

(a) $R1 = 1.17k\Omega$

(b) $-1.69\mu A/^{\circ}C$
 $\Delta I = 440\mu A$

Ejercicio 10

(a) $V_{ref} = V_{BE1} + 2V_T \ln N \frac{R_2}{R_1}$

(b) $R1 = 1.2k\Omega$ $R2 = 6k\Omega$

(c) $-22\mu V/^{\circ}C$

$$V_{ref} = \begin{cases} 1.198 \text{ V, si } T = 25^{\circ}C. \\ 1.200 \text{ V, si } T = -40^{\circ}C. \\ 1.97 \text{ V, si } T = 80^{\circ}C. \end{cases}$$

(d) Utilizaría el pulso para cerrar una llave que conecte, mediante una R, el colector de Q1 a VDD. Otra opción es que la llave conecte, también mediante una R, el drain de M1 a tierra.