

# 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  $\beta$  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  $V_A = 100V$ .

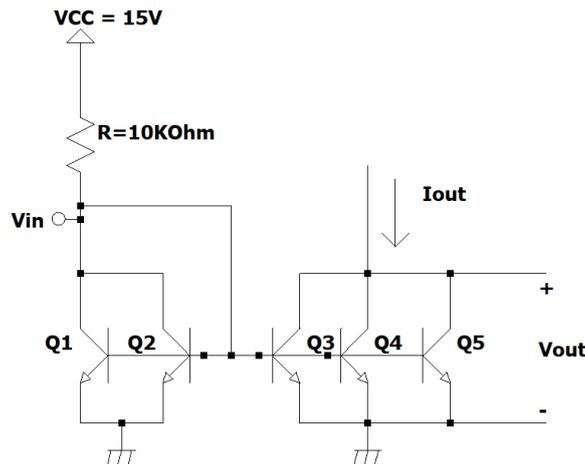


Figura 1

## 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  $\beta = 50$ ?

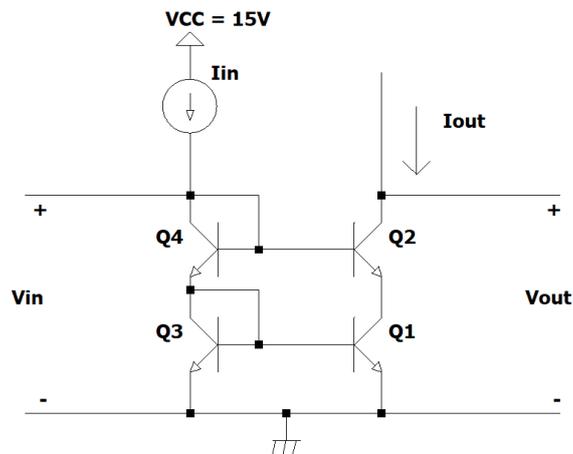


Figura 2

## 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  $I_{IN}$ .

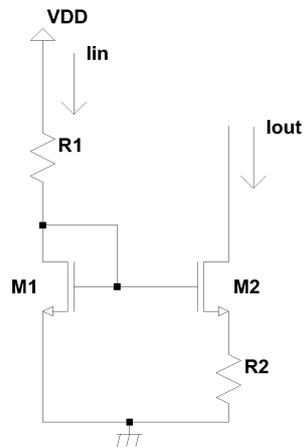


Figura 3

- (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  $I_{IN} = 1\mu A$ .

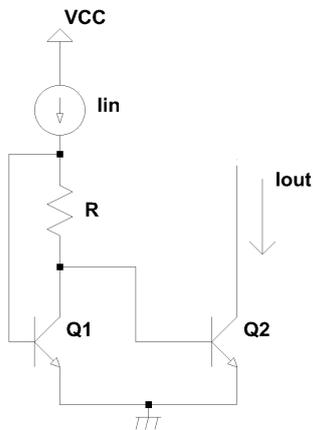


Figura 4

### 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  $V_{BE} = 0.7V$ .

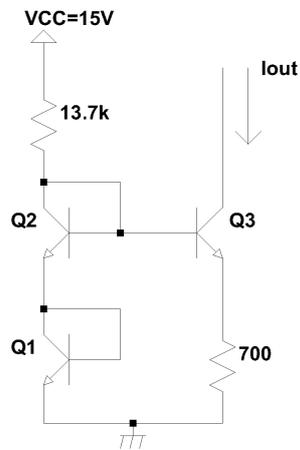


Figura 5

- (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?

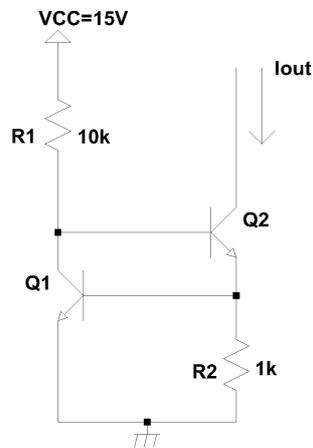


Figura 6

### 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  $V_{DD}$ . Considere que todos los transistores tienen una resistencia de salida finita  $r_o$ .

Datos:

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

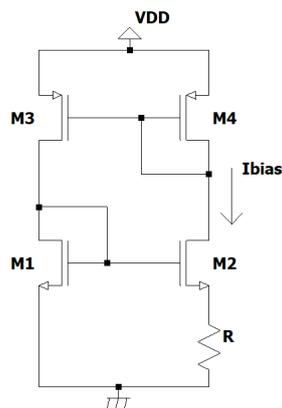


Figura 7

## 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.
- $R1 = 4.7k\Omega$ ,  $R2 = 8R1$ .

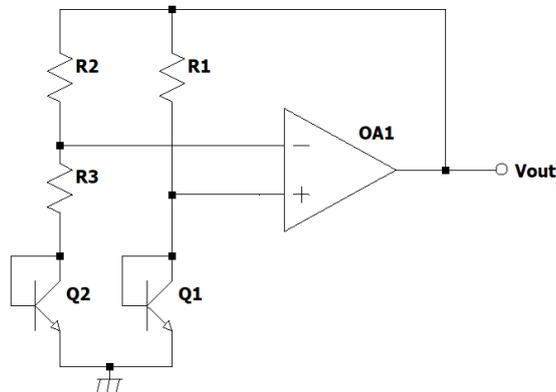


Figura 8

### 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  $\beta$  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  $\beta$  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  $80^{\circ}C$

