



Guía de Ejercicios N^o 8: circuitos analógicos

Parte I: Amplificadores con TBJ

- Se tiene el amplificador emisor común de la Fig. 1. Los datos del circuito son: $V_{CC} = 5\text{ V}$, $R_B = 172\text{ k}\Omega$, $R_C = 500\ \Omega$, $v_s = 12\text{ mV} \cdot \sin(2\pi \cdot f_s)$, $f_s = 1\text{ kHz}$, $R_s = 500\ \Omega$, $R_L = 950\text{ k}\Omega$ y $C_{in} = C_{out} = 50\ \mu\text{F}$. Los parámetros del transistor son: $\beta = 200$ y $V_A = 130\text{ V}$.
 - Calcular el punto de polarización del circuito ¿Cual es el propósito de C_{in} y C_{out} ?
 - Hallar los parámetros de pequeña señal y dibujar el circuito equivalente de pequeña señal a frecuencias medias. ¿A qué nos referimos con frecuencias medias?
 - Calcular los parámetros del amplificador A_{v0} , A_v , A_{vs} , R_{IN} y R_{OUT} .
 - En un mismo gráfico dibujar v_s , v_{in} y v_{out} . ¿Distorsiona este amplificador?

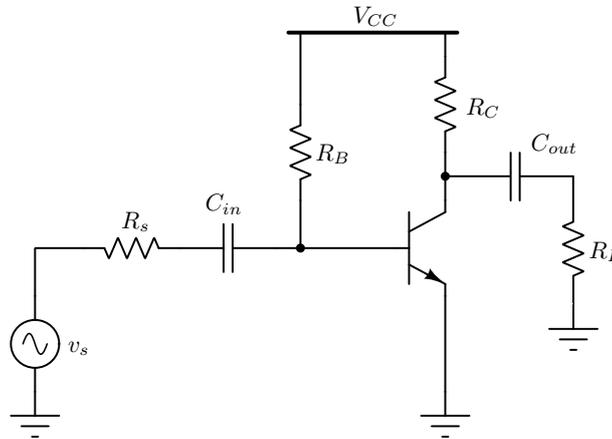


Figura 1

- En el circuito de la Fig. 2,
 - Calcule I_C y V_{BB} en términos de R_C y V_{CC} , tal que se verifique $V_{CEQ} = V_{CC}/2$.
 - Calcule g_m y r_π en términos de R_C y V_{CC} .
 - Demuestre que la única forma de aumentar A_v es aumentando V_{CC} . Para ello verifique que es cierta la relación $A_v = \frac{q V_{CC}}{2 k T}$.

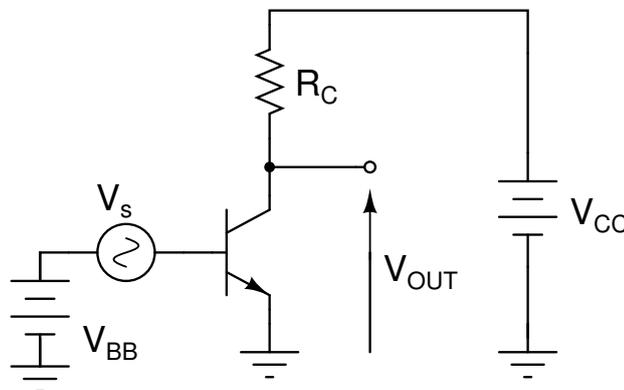


Figura 2



3. Dado el circuito de la Fig. 3, se quiere implementar un amplificador emisor común que permita obtener una señal de $\hat{v} = 0,75 \text{ V}$ a la salida. Considerando que la señal de entrada está caracterizada por $\hat{v}_s = 30 \text{ mV}$, $R_s = 1 \text{ k}\Omega$, que se desea el mínimo consumo posible, y teniendo en cuenta que $V_{CC} = 5 \text{ V}$, $\beta = 600$ y $V_A = 75 \text{ V}$, calcule I_C , R_B y R_C que cumplan las especificaciones.

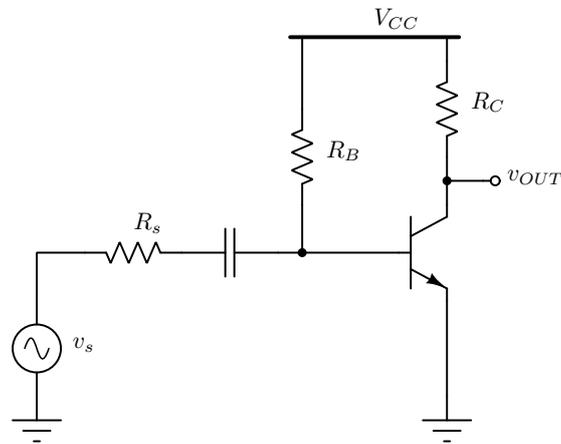


Figura 3

4. Se desea que el amplificador de la Fig. 4 cumpla con los siguientes requerimientos: $A_{v0} = 100$ y $P < 5 \text{ mW}$, donde P es la potencia total consumida por el circuito. Las características del transistor son: $V_{BE\text{ on}} = -0,7 \text{ V}$, $\beta = 200$ y $V_A \rightarrow \infty$. La tensión de alimentación es $V_{CC} = 5 \text{ V}$ y la resistencia R_s del generador vale 50Ω .
- Elegir un valor de R_B y uno de R_C tal que se cumplan ambas condiciones.
 - Determinar el rango admisible de R_C para que se cumplan los requerimientos y el transistor se mantenga en MAD.
 - Calcular R_{in} y R_{out} .
 - Si ahora se conecta una carga $R_L = 1 \text{ k}\Omega$ **sin estar desacoplada por un capacitor**, calcular la ganancia en funcionamiento A_{vs} . ¿Se sigue cumpliendo con los requerimientos iniciales? ¿La ganancia en funcionamiento cumple con el mismo requerimiento que la ganancia intrínseca A_{v0} ?

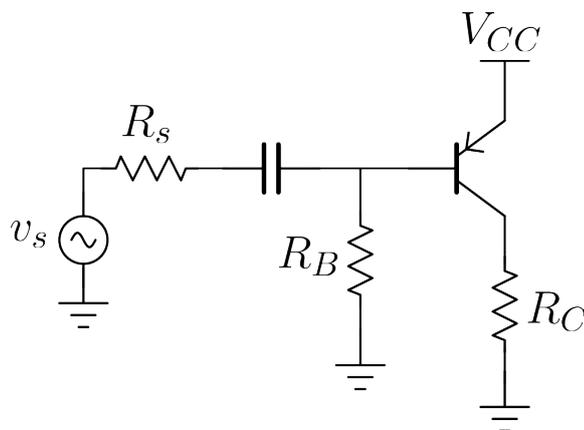


Figura 4

5. Se desea diseñar un amplificador emisor común tal que, para una señal de entrada de $\hat{v} = 20 \text{ mV}$ y $R_s = 500 \Omega$, se obtenga una señal de salida de al menos $\hat{v} = 1 \text{ V}$. Como restricciones, se tienen que la



tensión de alimentación sea $V_{CC} = 5\text{ V}$, y que la tensión de continua en el nodo de salida sea $V_{CC}/2$. La Fig. 3 muestra una implementación donde se buscó una ganancia de aproximadamente 100 veces respecto de la fuente de señal, donde $R_C = 1\text{ k}\Omega$, $R_B = 860\text{ k}\Omega$, y para el transistor $\beta = 500$ y $V_A = 25\text{ V}$. La Fig. 5 muestra la señal de salida del amplificador donde se observa que se produce distorsión.

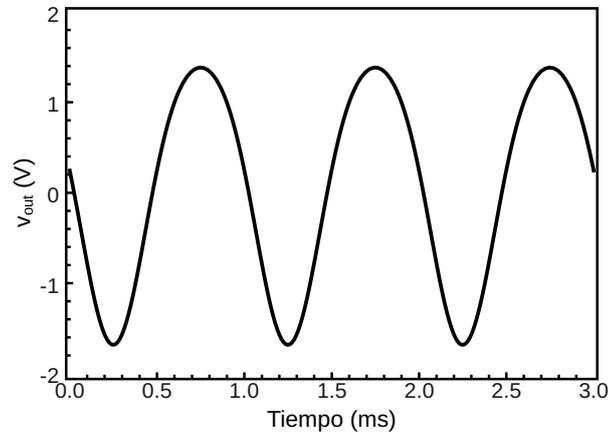


Figura 5

- a) Identifique qué tipo de distorsión se produce, justificando a partir de la forma de onda de la señal de salida de la figura 5.
 - b) Explique qué nuevos valores de R_B y R_C son necesarios para eliminar la distorsión, manteniendo los requerimientos de ganancia y polarización.
6. Se desea diseñar un amplificador emisor común sin carga, alimentado por una fuente de 5 V , con ganancia $A_{vo} = 150$ y $R_{IN} = 1\text{ k}\Omega$.
- a) Calcule I_{CQ} y R_C que cumplen con el diseño. Considere para el TBJ: $V_{BE\text{ on}} = 0,7\text{ V}$, $V_{CE\text{ sat}} = 0,2\text{ V}$, $\beta = 100$ y $V_A \rightarrow \infty$.
 - b) Si se conecta a la entrada una señal con amplitud v_s y resistencia serie de $R_s = 500\ \Omega$. Si se aumenta la amplitud de la señal gradualmente, ¿cuál es el motivo por el cual distorsiona primero? Indicar la opción correcta fundamentado todas las opciones.
 - Por alinealidad.
 - Por saturación.
 - Por corte.
 - Simultáneamente por alinealidad y saturación.
 - Simultáneamente por alinealidad, saturación y corte.
 - Ninguna de las opciones anteriores es correcta.
 - c) Si se cambia el transistor por otro idéntico salvo que $V_A = 26\text{ V}$, ¿Cómo cambian los parámetros para los cuales fue diseñado? Indicar la opción correcta fundamentado todas las opciones.
 - A_{vo} y R_{IN} aumentan.
 - A_{vo} y R_{IN} disminuyen.
 - A_{vo} y R_{IN} se mantienen constantes.
 - A_{vo} disminuye y R_{IN} se mantiene constante.
 - A_{vo} se mantiene constante y R_{IN} disminuye.
 - Ninguna de las respuestas anteriores es correcta.
7. Dado el amplificador TBJ de la Fig. 6, con $V_{CC} = 2,5\text{ V}$, $R_s = 100\ \Omega$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$, $\beta = 100$ e $I_s = 10\text{ fA}$ y sabiendo que puede considerarse r_o infinita para el TBJ,
- a) Calcule los valores de R_C y V_{BB} tal que se obtenga $I_{CQ} = 500\ \mu\text{A}$ y $V_{OUT} = 0\text{ V}$.



- b) Dibuje la recta de carga estática.
- c) Calcule los parámetros R_{IN} (vista desde el generador) y R_{OUT} (desde la carga), A_v y A_{v0} .
- d) Repita los puntos anteriores para $I_{CQ} = 50 \mu\text{A}$ y $V_{OUT} = 0 \text{V}$, y compare los resultados.

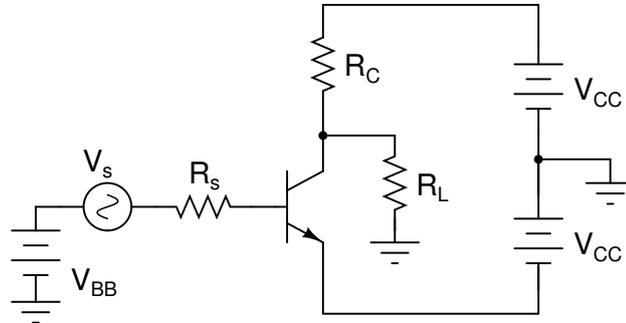


Figura 6

Parte II: Amplificadores con MOSFET

8. Se tiene el amplificador source común implementando con un transistor NMOS de la Fig. 7. Los datos del circuito son: $V_{DD} = 12 \text{V}$, $R_{G1} = 251 \text{k}\Omega$, $R_{G2} = 180 \text{k}\Omega$, $R_D = 1,2 \text{k}\Omega$, $R_L = 1,2 \text{M}\Omega$, $v_s = 250 \text{mV} \cdot \sin(2\pi \cdot f_s)$, $f_s = 1 \text{kHz}$, $R_s = 10 \text{k}\Omega$ y $C_{in} = C_{out} = 50 \mu\text{F}$. Los parámetros del transistor son: $k = \frac{\mu_n C'_{ox} W}{2L} = 405 \mu\text{A}/\text{V}^2$, $V_T = 1,5 \text{V}$, $\lambda = 0,01 \text{V}^{-1}$
- a) Calcular el punto de polarización del circuito.
 - b) Hallar los parámetros de pequeña señal y dibujar el circuito equivalente de pequeña señal a frecuencias medias.
 - c) Calcular los parámetros del amplificador A_{v0} , A_v , A_{vs} , R_{IN} y R_{OUT} .
 - d) En un mismo gráfico dibujar v_s , v_{in} y v_{out} . ¿Distorsiona este amplificador?
 - e) ¿Por qué la ganancia de este source común es más baja que la del emisor común del ejercicio 1 a pesar de que ambos transistores están polarizados con corrientes similares?
 - f) ¿Por qué, en general, un source común admite valores de v_s más grandes que un emisor común? Comparar con el emisor común del ejercicio 1.

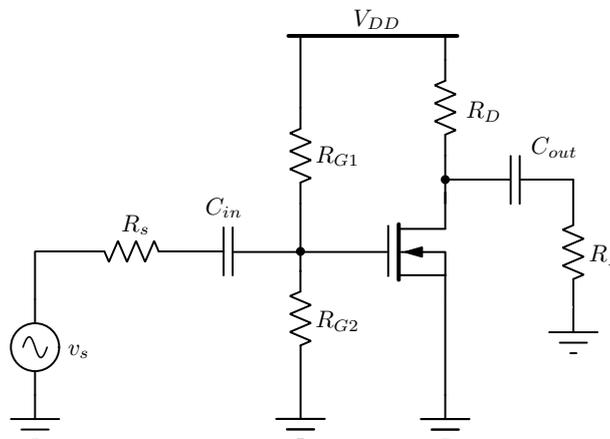


Figura 7



9. Dado el circuito amplificador de la Fig. 8, calcule A_v , A_{v_s} , R_{IN} y R_{OUT} .
 Datos: $V_T = -1,5\text{ V}$, $\mu_p C'_{ox} = 500\ \mu\text{A}/\text{V}^2$, $W = 100\ \mu\text{m}$, $L = 1\ \mu\text{m}$, $\lambda = 0,05\ \text{V}^{-1}$, $V_{DD} = 5\ \text{V}$, $\hat{v}_s = 50\ \text{mV}$, $R_s = 1\ \text{k}\Omega$, $R_{G1} = R_{G2} = 10\ \text{k}\Omega$, $R_D = 100\ \Omega$.

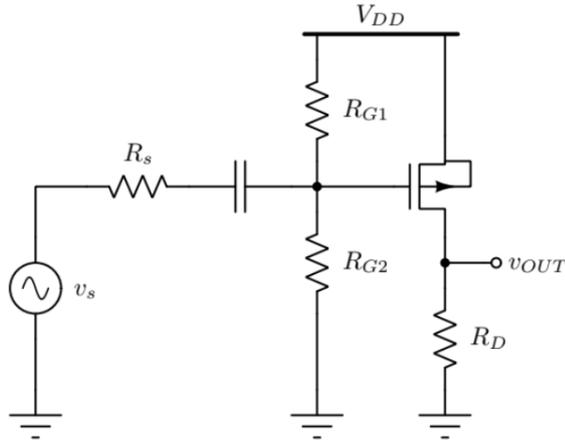


Figura 8

10. Se tiene un amplificador source común sin carga, alimentado por una fuente de $3,3\ \text{V}$ con $I_{DQ} = -500\ \mu\text{A}$ y $R_D = 5\ \text{k}\Omega$. Hallar la máxima señal a la salida (v_{out}) sin distorsión siendo un MOSFET tipo P con: $V_T = -0,8\ \text{V}$, $\mu_p C'_{ox} = 120\ \mu\text{A}/\text{V}^2$, $W/L = 25$, $\lambda = 0\ \text{V}^{-1}$.
11. Dado el amplificador de la Fig. 9, con $V_{DD} = 2,5\ \text{V}$, $R_s = 100\ \Omega$, $R_L = 10\ \text{M}\Omega$, $V_T = 1\ \text{V}$, $\mu_n C'_{ox} = 50\ \mu\text{A}/\text{V}^2$, $\lambda = 0\ \text{V}^{-1}$, y $W/L = 10$:
- Calcule los valores de R_D y V_G tal que $V_{OUT} = 0\ \text{V}$ e $I_D = 500\ \mu\text{A}$.
 - Dibuje la recta de carga estática.
 - Calcule g_m , R_{IN} , R_{OUT} , A_v y A_{v_o} del modelo de pequeña señal.
 - Repita para $I_D = 50\ \mu\text{A}$ y compare los valores de g_m , R_{IN} , R_{OUT} , A_v y A_{v_o} .

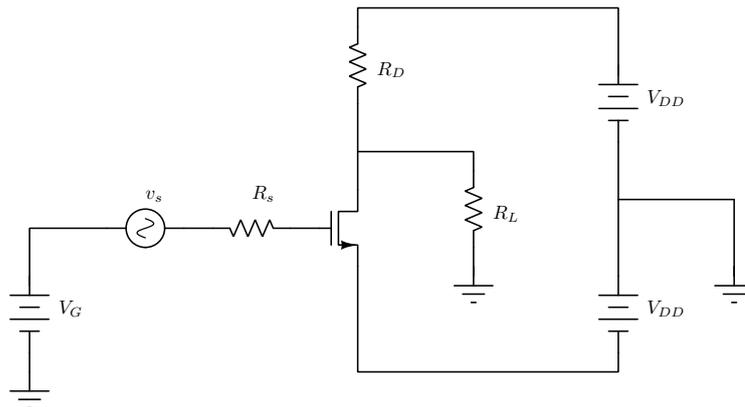


Figura 9

Parte III: Copia espejo de corriente

12. En la figura 10 se muestra un circuito elemental muy utilizado en diseños CMOS analógicos para generar una tensión de referencia. Asumiendo $I_{REF} = 40\ \mu\text{A}$, $V_{DD} = 3,3\ \text{V}$, $\mu_n C'_{ox} = 116\ \mu\text{A}/\text{V}^2$, $V_T = 0,8\ \text{V}$, $\lambda = 0,04\ \text{V}^{-1}$, $W/L = 2$.



- a) Calcular el punto de trabajo del transistor. ¿En qué región de operación se encuentra? ¿Depende de I_{REF} ?
- b) Suponer que ahora se reemplaza la fuente I_{REF} por una resistencia $R = 10\text{ k}\Omega$. Diseñar el transistor, es decir hallar W/L , para que $V_{OUT} = 1,5\text{ V}$.

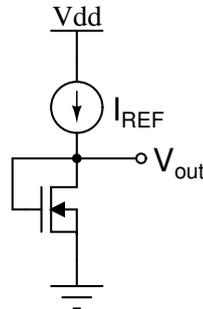


Figura 10

13. Siendo el circuito de la Fig. 11 donde $V_{DD} = 5\text{ V}$, $I_{REF} = 1\text{ mA}$, $(W/L)_1 = 1$, $(W/L)_2 = 2$, $\frac{\mu_n C'_{ox}}{2} = 1\text{ mA/V}^2$, $V_T = 0,6\text{ V}$ $\lambda \rightarrow 0$.

- a) ¿Cuál es la corriente de salida cuando ambos transistores están en saturación? ¿Cuál es el rango de R_L admitido para que M2 permanezca saturado?
- b) Si ahora $\lambda = 0,05\text{ V}^{-1}$ en M2, determinar I_D cuando $R_L = 1\text{ k}\Omega$.

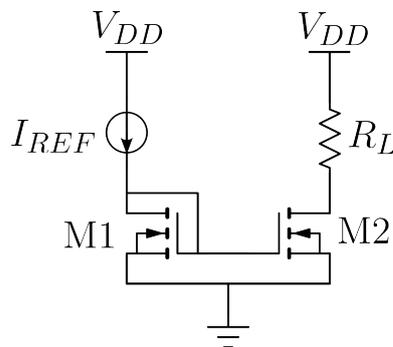


Figura 11

14. Se tiene el circuito de la Fig. 12, donde $V_{DD} = 3,3\text{ V}$ e $I_{REF} = 2\text{ mA}$. todos los NMOS comparten los siguientes valores: $V_T = 0,4\text{ V}$, $\frac{\mu_n C'_{ox}}{2} = 0,9\text{ mA/V}^2$ y $\lambda \rightarrow 0$; mientras que todos los PMOS comparten $V_T = -0,5\text{ V}$, $\frac{\mu_p C'_{ox}}{2} = 0,5\text{ mA/V}^2$ y $\lambda \rightarrow 0$. Asegurarse de que todos los transistores estén saturados y calcular las corrientes ...

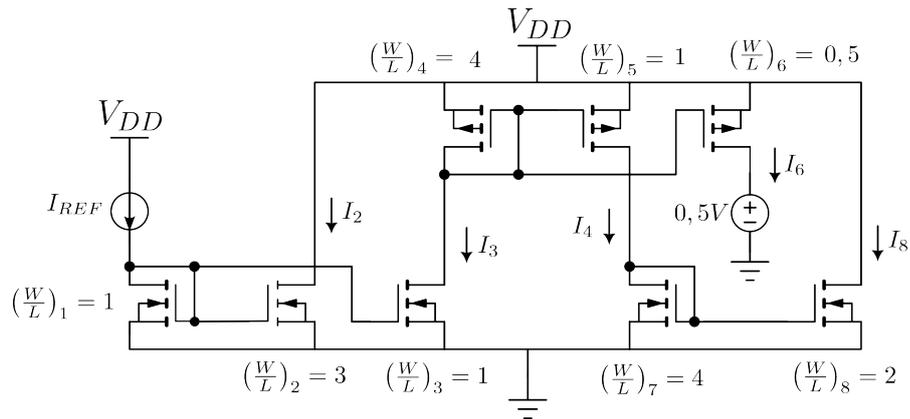


Figura 12

15. Dado el circuito de la Fig. 13 y sabiendo que $V_T = 0,6\text{ V}$, $V_{DD} = 3,3\text{ V}$, $(W/L)_1 = 10$, $\mu_n C'_{ox} = 80\ \mu\text{A}/\text{V}^2$ y asumiendo $\lambda = 0\ \text{V}^{-1}$.
- ¿Puede M_1 estar polarizado en régimen de triodo?
 - Describa el funcionamiento del circuito y explique para qué sirve.
 - Hallar R_{REF} tal que $I_{OUT} = 100\ \mu\text{A}$.
 - Si $(W/L)_2 = 50$, encuentre el rango de valores de R_L para los cuales el circuito funciona correctamente.
 - Suponiendo que $\lambda \neq 0$, realice un gráfico de I_{OUT} vs. V_{OUT} . Explique cómo afecta la modulación del largo del canal a la corriente de salida.
 - ¿Qué criterio de diseño aplicaría a M_2 para reducir este efecto?

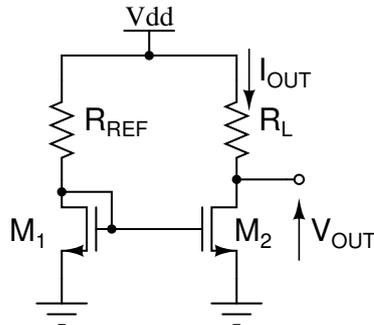


Figura 13

16. En la Fig. 14 se muestra una fuente de corriente donde $V_{T_o} = -0,9\text{ V}$, $\mu_p C'_{ox} = 25\ \mu\text{A}/\text{V}^2$, $\lambda_p = 0,02\ \text{V}^{-1}$, $V_{DD} = 5\text{ V}$ y $R_{REF} = 36\ \text{k}\Omega$.
- Explique por qué M_1 nunca puede estar en régimen de triodo.
 - Halle $(W/L)_1$ para que $I_{REF} = 100\ \mu\text{A}$. ¿Cuánto vale V_{REF} en ese caso?
 - ¿Cuánto debe valer $(W/L)_2$ para que $I_{OUT} = 500\ \mu\text{A}$?
 - Realice el gráfico exacto de $I_{OUT} = f(V_{OUT})$ para $0 < V_{OUT} < 5\text{ V}$.
 - ¿A qué valores debe acotarse R_L para que el circuito funcione correctamente?

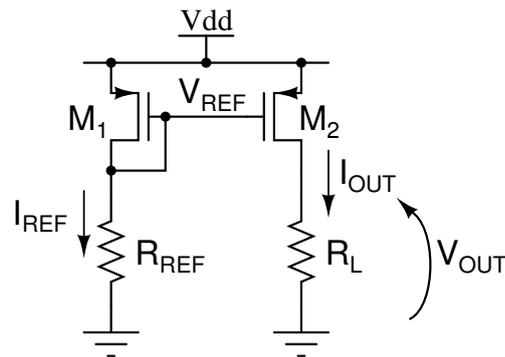


Figura 14

17. El circuito de la Fig. 15 representa una referencia de tensión y de corriente simultáneamente. Considere $V_{DD} = 3,3\text{ V}$, $V_{Tn} = 0,7\text{ V}$, $V_{Tp} = -0,9\text{ V}$, $\mu_n C'_{ox} = 3\ \mu\text{pA}/\text{V}^2$, $\lambda_{n,p} = 0$ y $(W/L)_{N1,N2,N3} = 3$.
- Explique cualitativamente cómo funciona el circuito.
 - Encuentre el valor de R tal que $I_{OUT} = 50\ \mu\text{A}$.
 - Dimensione el transistor P_1 de forma tal que $V_{REF} = 2\text{ V}$.
 - ¿Cómo se modifica este valor si se conecta una resistencia de $100\text{ k}\Omega$ entre V_{REF} y GND ?
 - Si se conecta una carga resistiva entre V_{DD} y V_{OUT} , ¿cuál es el valor máximo que puede adoptar esta carga sin modificar el funcionamiento del circuito?

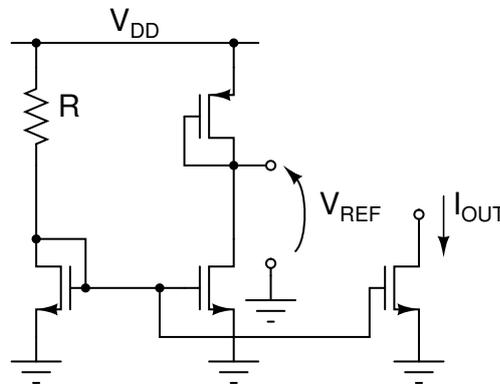


Figura 15

Parte IV: Integradores

18. Dado el amplificador MOSFET de la Fig. 16, con $V_{DD} = 2,5\text{ V}$, $R_s = 50\ \Omega$, $R_L = 20\text{ k}\Omega$, $V_T = 1\text{ V}$, $\mu_n C'_{ox} = 50\ \mu\text{A}/\text{V}^2$, $\lambda = 0,1\text{ V}^{-1}$, $L = 2\ \mu\text{m}$, y sabiendo que puede considerarse infinita la r_{oc} de la fuente de corriente, calcule los valores de V_G , I_{SUP} , y W , tal de obtener $g_m \geq 2\text{ mS}$ y $A_v \geq |-20|$, considerando $V_{OUT} = 0$.

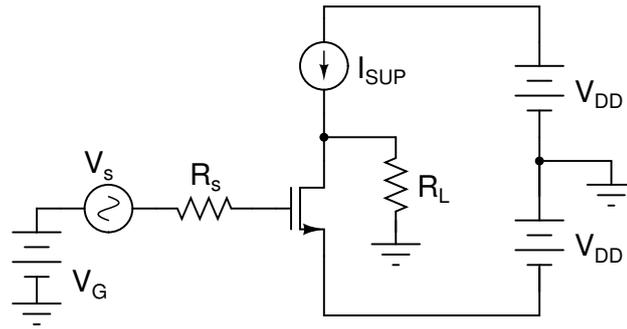


Figura 16

19. El amplificador de la Fig. 17 posee los siguientes parámetros: $V_{DD} = 3,3\text{ V}$, $I_{ref} = 5\text{ mA}$, $R_{G1} = 3\text{ k}\Omega$, $R_{G2} = 7\text{ k}\Omega$, $R_s = 50\ \Omega$ y $R_L = 1\text{ k}\Omega$. La propiedades del NMOS son: $V_T = 0,8\text{ V}$, $\frac{\mu_n C'_{ox}}{2} = 1,2\text{ mA/V}^2$, $W/L = 1$ y $\lambda = 0,01\text{ V}^{-1}$; y las del PMOS: $V_T = -0,8\text{ V}$, $\frac{\mu_p C'_{ox}}{2} = 0,5\text{ mA/V}^2$, $W/L = 5$ y $\lambda = 0,01\text{ V}^{-1}$. Ambos PMOS son idénticos.

- Determinar el punto de polarización.
- Calcular A_{v0} , A_{vs} , R_{in} y R_{out} .
- Responda: ¿Qué ventaja tiene reemplazar la resistencia de drain por un PMOS?

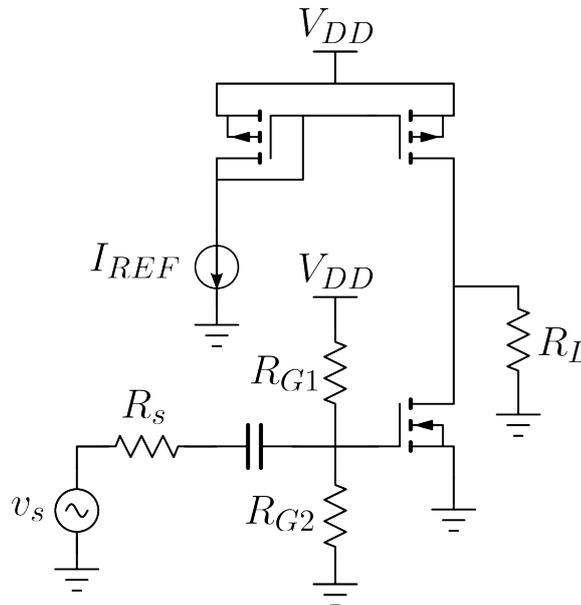


Figura 17