



Guía de Ejercicios N° 4: Transistor MOS

Datos generales: $\varepsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$, $\varepsilon_r(\text{Si}) = 11,7$, $\varepsilon_r(\text{SiO}_2) = 3,9$, $n_i = 10^{10}/\text{cm}^3$, $\phi(n, p = n_i) = 0 \text{ V}$.

1. En un transistor n-MOSFET,
 - a) ¿La corriente entre Source y Drain es de huecos o de electrones?
 - b) ¿El sustrato del transistor está dopado con impurezas donoras o aceptoras?
 - c) ¿Qué diferencia al terminal Drain del terminal Source?
 - d) En un n-MOSFET que forma parte de un circuito electrónico, ¿cómo se determina cual terminal es el Drain y cuál es el Source?
 - e) ¿Qué sucede en un n-MOSFET si se polariza con $V_B > V_S$?
 - f) En un MOSFET en estado de saturación, ¿La corriente I_D se provoca debido al arrastre o a la difusión de portadores?
 - g) En un MOSFET en estado de corte, ¿La corriente I_D es exactamente cero? ¿Qué fenómenos de fuga existen?
 - h) La palabra “tríodo” deriva de “3 nodos”, ¿por qué se llama tríodo al estado de polarización $V_{GS} > V_T$, $V_{GS} - V_{DS} > V_T$? ¿Cuántos nodos intervienen en el control de I_D en estado tríodo y cuantos en saturación?
2. Un transistor n-MOSFET de $V_T = 0,8 \text{ V}$ tiene los terminales conectados de forma que $V_D = V_S = V_B = 0 \text{ V}$, mientras que el terminal de gate puede tomar uno de los siguientes valores: $V_{G1} = -1 \text{ V}$, $V_{G2} = 0,6 \text{ V}$, $V_{G3} = 0,8 \text{ V}$, $V_{G4} = 2 \text{ V}$.
 - a) Identificar en que régimen se encuentra la juntura MOS para cada uno de los casos.
 - b) Realizar un diagrama de concentración de portadores y de densidad volumétrica de carga de la juntura MOS en función de la posición para V_{G1} , V_{G3} y V_{G4} .
 - c) Graficar el campo en función de la posición para V_{G4} .
 - d) Considere que se aplica V_{G4} y que ahora $V_D \neq 0$. Siendo $t_{ox} = 30 \text{ nm}$, $W/L = 10$ y $\mu_n = 215 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ calcule $I_{D_{SAT}}$ y encuentre el rango de V_D para el cual se puede suponer que el dispositivo trabaja en saturación.
3. Dado un transistor n-MOSFET con $\mu_n = 215 \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$, $t_{ox} = 150 \text{ Å}$, $V_{T0} = 1 \text{ V}$, $L = 1,5 \mu\text{m}$, $W = 30 \mu\text{m}$, que tiene aplicadas tensiones $V_{DS} = 2 \text{ V}$ y $V_{BS} = 0 \text{ V}$,
 - a) Calcule el rango de tensiones V_{GS} para los cuales el transistor se encontrará operando en los regímenes de:
 - I. corte (cut-off),
 - II. saturación,
 - III. lineal (o tríodo).
 - b) Grafique I_D en función de V_{GS} , e indique en el gráfico las regiones de corte, saturación y lineal.
 - c) Explique cómo a partir de una medición experimental de la curva I_D vs. V_{GS} (para $V_{BS} = 0 \text{ V}$) puede obtenerse los parámetros $k = (W \mu_n C_{ox})/(2 L)$ y V_{T0} del transistor.
4. Dado un transistor n-MOSFET con parámetros $\mu_n = 650 \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$, $L = 1,25 \mu\text{m}$, $V_{T0} = 0,65 \text{ V}$ y $C_{ox} = 6,9 \times 10^{-8} \text{ F/cm}^2$, calcule el valor de W tal que en la condición de saturación se verifique que para $V_{GS} = 5 \text{ V}$ se obtenga $I_D = 4 \text{ mA}$.
5. Dado un transistor n-MOSFET con parámetros $W = 15 \mu\text{m}$, $L = 2 \text{ m}$ y $C_{ox} = 6,9 \times 10^{-7} \text{ F/cm}^2$, y con una tensión aplicada de $V_{DS} = 100 \text{ mV}$ y $V_{BS} = 0 \text{ V}$,
 - a) Sabiendo que para $V_{GS} = 1,5 \text{ V}$, $V_{DS} = V_{DS_{sat}}$, y se tiene $I_D = 35 \mu\text{A}$, calcule el valor de μ_n .
 - b) Para $V_{GS} = 2,5 \text{ V}$, ¿en qué región está operando el transistor? ¿Corte, saturación o lineal?

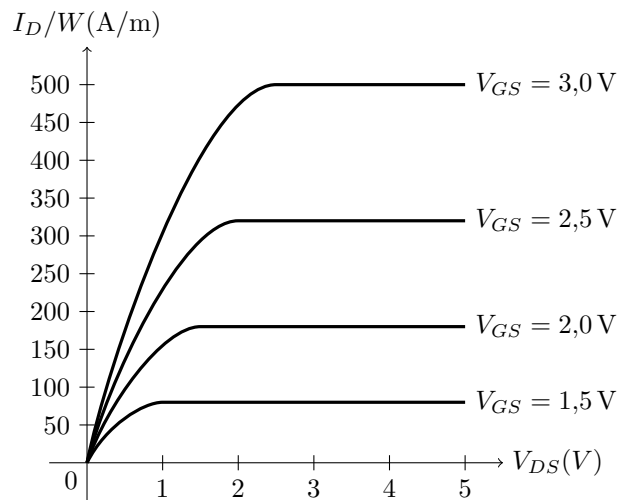


Figura 1

6. En la figura 1 se ilustran algunas curvas de salida de un n-MOSFET para $V_{BS} = 0$ V, normalizadas por unidad de W . Los parámetros del transistor son $L = 1 \mu\text{m}$ y $t_{ox} = 100 \text{ \AA}$.
- Estime el valor de la tensión umbral, V_{T0} .
 - Estime la movilidad de los electrones de la capa de inversión.
7. En la figura 2 se ilustran un par de curvas $-I_D$ vs V_{SD} de un transistor p-MOSFET para $V_{BS} = 0$ V.

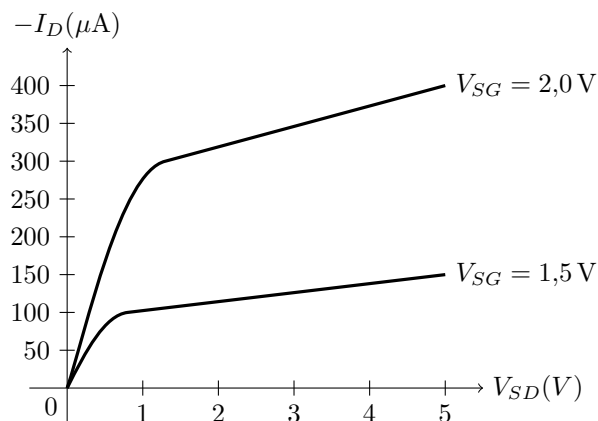


Figura 2

- A partir de estas curvas, ¿cuál es el valor de V_{T0} ?
 - Estime los parámetros $k_p = W \mu_p C_{ox} / 2L$ y λ del transistor.
8. Dado un transistor n-MOSFET con parámetros $V_{T0} = 1$ V, $N_A = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $\phi_p = 0,42$ V, $\mu_n = 215 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$, $C_{ox} = 2,3 \text{ fF} / \mu\text{m}^2$, y con una tensión aplicada $V_{DS} = 100$ mV,
- Para $V_{GS} = 1$ V y $V_{BS} = 0$ V, ¿En qué región está operando el transistor? ¿Corte, saturación o lineal?
 - A partir de la figura 3 calcule el parámetro γ (*backgate parameter*) del transistor.

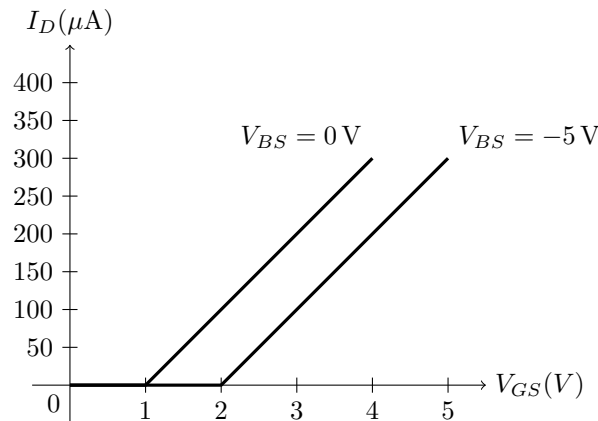


Figura 3

9. Considere un transistor n-MOSFET de silicio a 300 °K. Asuma que el sustrato está dopado con $N_A = 3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, que la capa de óxido de silicio tiene un espesor $t_{ox} = 500 \text{ Å}$, y que $V_{SB} = 1 \text{ V}$.
 - a) Calcule ϕ_p y C_{ox} .
 - b) Calcule la variación en el valor de V_T respecto a V_{T0} .
10. Dado un transistor n-MOSFET con parámetros $W = 30 \mu\text{m}$, $L = 1 \mu\text{m}$, $C_{ox} = 6 \times 10^{-7} \text{ F/cm}^2$, $N_a = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $V_{T0} = 1 \text{ V}$ y $V_{BS} = 0 \text{ V}$,
 - a) Sabiendo que para $V_{GS} = 1,5 \text{ V}$, $V_{DS} = V_{DSsat}$, se tiene $I_D = 0,9 \text{ mA}$, calcule el valor de μ_n .
 - b) Para $V_{GS} = 2,5 \text{ V}$ y $V_{DS} = 0,1 \text{ V}$ ¿en qué región está operando el transistor? ¿Corte, saturación o lineal?
 - c) Realice un diagrama cualitativo de $Q_n(y)$ en el canal para el caso $V_{GS} = 2,5 \text{ V}$, $V_{DS} = 0,1 \text{ V}$ ¿Cuánto vale $Q_n(y = L)$?
 - d) Explique cómo se modifica este diagrama si para $V_{GS} = 2,5 \text{ V}$ se tiene ahora $V_{DS} = 1,5 \text{ V}$. ¿Puede decir cuánto vale exactamente la concentración de electrones $Q_n(y = L)$?
 - e) Para las mismas condiciones que en el ítem anterior, ¿puede decir cuánto vale la concentración de electrones del canal en el extremo del drain?
11. En la figura 4 se representan dos estados de operación de un transistor MOSFET con V_T conocido.

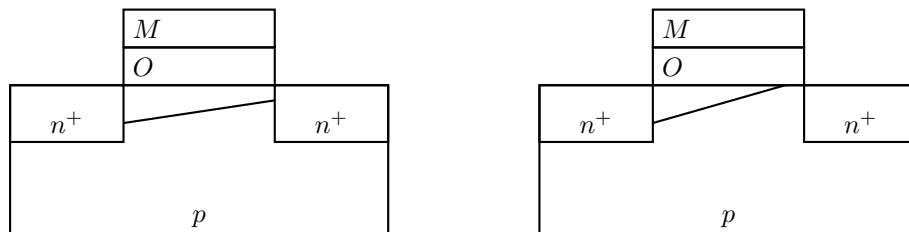


Figura 4

- a) Represente las curvas I_D vs. V_{GS} e I_D vs. V_{DS} e indique en las mismas donde se ubica, para cada caso, los puntos de trabajo representados en las figuras.
- b) Indique rango de valores posibles para V_G , V_D y V_S en cada caso (considerar siempre $V_{BS} = 0$).
- c) Seleccione una polarización adecuada para que el dispositivo funcione en zona de saturación sabiendo que $\mu_n = 215 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, $t_{ox} = 150 \text{ Å}$, $V_T = 1 \text{ V}$, $L = 1,5 \mu\text{m}$, $W = 30 \mu\text{m}$ y $\lambda = 0$.



12. Suponga un transistor n-MOSFET conectado tal como se muestra en la figura 5, siendo W , L , C_{ox} , μ_n y V_T parámetros conocidos (asumir $\lambda = 0$). Se pide representar las siguientes curvas identificando el modo de operación del dispositivo:

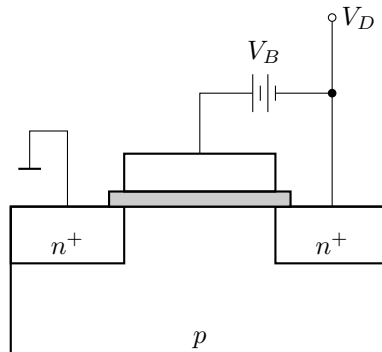


Figura 5

- I_D vs. V_D ($V_D \geq 0$) para $V_B = V_T/2$.
 - I_D vs. V_D ($V_D \geq 0$) para $V_B = 2 \times V_T$.
 - I_D vs. V_D ($V_D \geq 0$) para $V_B = 0$.
 - ¿Cuáles serían las condiciones equivalentes (en tensiones aplicadas) de los puntos anteriores para un p-MOSFET?
- Para el circuito de la figura 12b, donde $V_{DD} = 5\text{ V}$, $V_{GG} = 1\text{ V}$, $R_G = 47\text{ k}\Omega$, $R_D = 10\text{ k}\Omega$, y el transistor un n-MOSFET con $V_T = 0,8\text{ V}$, $\mu_n C_{ox} = 110\text{ }\mu\text{A/V}^2$, $L = 5\text{ }\mu\text{m}$ y $W = 500\text{ }\mu\text{m}$, encuentre todas las tensiones y todas las corrientes que definen el estado del circuito. ¿En qué régimen se encuentra polarizado el transistor?
 - Repita el ejercicio 13 para el circuito de la figura 6b donde $V_{DD} = 3,3\text{ V}$, $R_{G1} = 130\text{ k}\Omega$, $R_{G2} = 200\text{ k}\Omega$, $R_S = 5,6\text{ k}\Omega$, y la geometría del transistor cambia a $W = 50\text{ }\mu\text{m}$.
 - Repita el ejercicio 13 para el circuito de la figura 6c donde $V_{DD} = 5\text{ V}$, $R_{G1} = 200\text{ k}\Omega$, $R_{G2} = 300\text{ k}\Omega$, $R_D = 3,3\text{ k}\Omega$, y los parámetros del transistor son $V_T = -0,9\text{ V}$, $\mu_p C_{ox} = 36\text{ }\mu\text{A/V}^2$, $L = 5\text{ }\mu\text{m}$ y $W = 150\text{ }\mu\text{m}$.
 - Repita el ejercicio 13 para el circuito de la figura 6d donde $V_{DD} = 5\text{ V}$, $R_{G1} = 300\text{ k}\Omega$, $R_{G2} = 200\text{ k}\Omega$, $R_D = 1,5\text{ k}\Omega$, y los parámetros del transistor son $V_T = -0,9\text{ V}$, $\mu_p C_{ox} = 36\text{ }\mu\text{A/V}^2$, $L = 5\text{ }\mu\text{m}$ y $W = 150\text{ }\mu\text{m}$.
 - Para el circuito de la figura 7, siendo $\mu_n C_{ox} = 80\text{ }\mu\text{A/V}^2$, $V_T = 0,8\text{ V}$, $L = 4\text{ }\mu\text{m}$, $\lambda = 0,02/\text{V}$ y $R_{G1} = 370\text{ k}\Omega$, $R_{G2} = 130\text{ k}\Omega$, $R_D = 18\text{ k}\Omega$ y $V_{DD} = 5\text{ V}$, se pide:
 - Hallar el ancho del transistor W tal que $I_D = 100\text{ }\mu\text{A}$.
 - Calcule todas las corrientes y tensiones del circuito para las condiciones del ítem anterior.
 - Hallar el rango posible de valores de R_D para el cual el transistor opera en saturación.
 - El circuito de la figura 8 consta de un transistor que impone una corriente constante de 35 mA en una resistencia variable. Se desea averiguar el rango de tensiones V_{DS} para el cual el transistor va a funcionar correctamente. El transistor es un MOSFET de canal P con $\mu_n C_{OX} = 70\text{ }\mu\text{A/V}^2$, $V_T = -0,5\text{ V}$, $W/L = 2000$ y $\lambda = 0,01/\text{V}$.
 - ¿En qué régimen de operación deberá estar el transistor para que este comportamiento sea posible?
 - ¿Cuál es el rango de variación que presentará dicha corriente?
 - ¿Cuál es el rango de tensiones admisible para que el transistor no salga de régimen de operación?

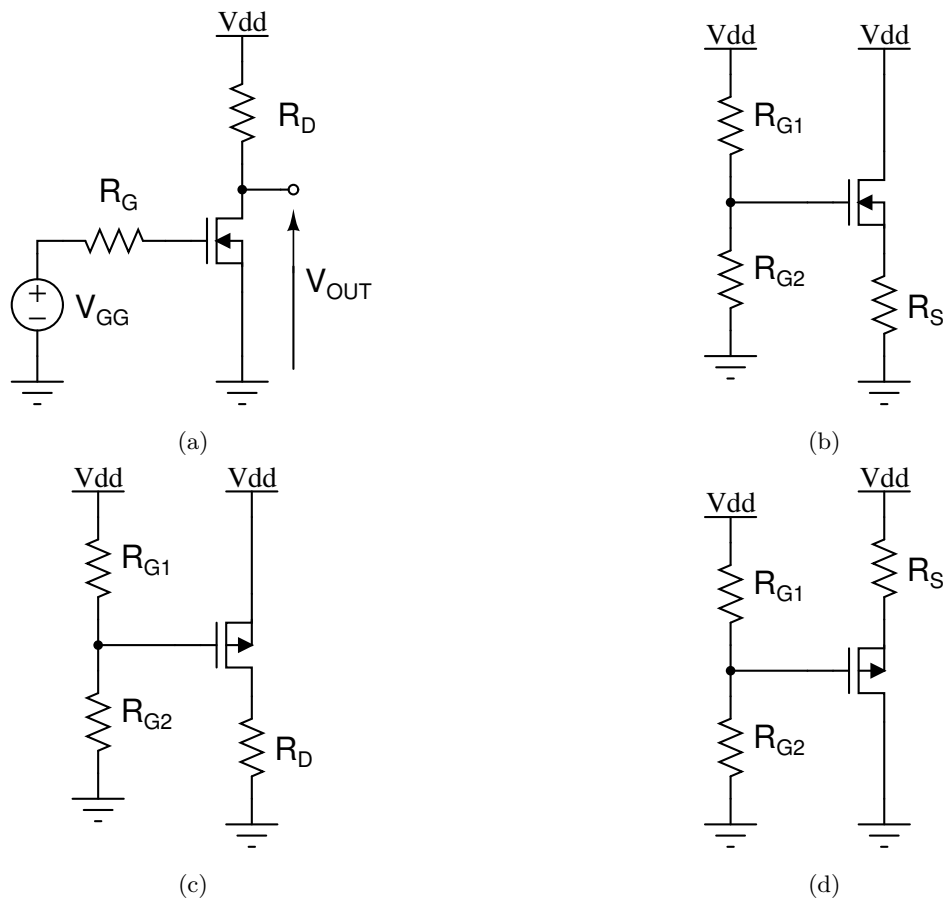


Figura 6

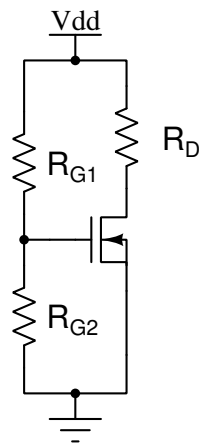


Figura 7

d) ¿Cuál es el rango de R_L admisible?

19. La Fig. 9 muestra un circuito con un transistor MOSFET. Para este circuito y considerando $k = 1/2 \mu C_{OX} W/L = 4 \text{ mA/V}^2$, $V_T = 1 \text{ V}$, $\lambda = 0 \text{ V}^{-1}$, $V_{DD} = 5 \text{ V}$, $I_0 = 4 \text{ mA}$, $R_0 = 1 \text{ k}\Omega$ y $R_{G2} = 1/2 R_{G1} = 10 \text{ k}\Omega$:

a) Encontrar el punto de polarización.

b) Hallar la ecuación de la recta de carga y dibujarla en un gráfico de i_D vs. v_{DS} junto con las curvas

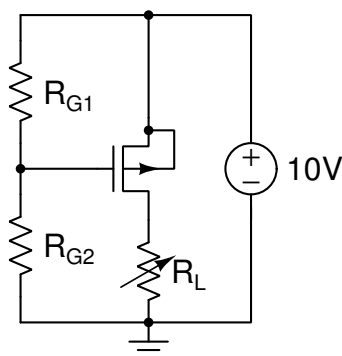


Figura 8

de salida del transistor MOS tal que corten a la recta de carga en:

- el punto de *pinch-off*.
- el punto donde $I_D = 1\text{mA}$.

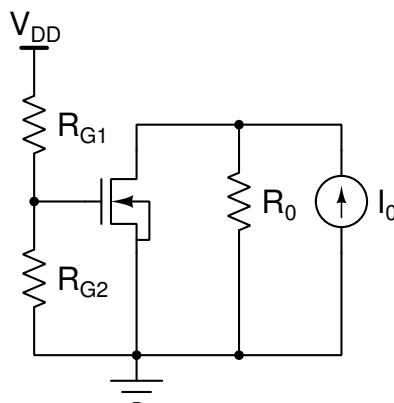


Figura 9

20. Para el transistor de la figura 1 con $V_{BS} = 0\text{V}$.
 - a) Estime la trasconductancia g_m para $V_{GS} = 3\text{V}$, $V_{DS} = 3\text{V}$, y $W = 10\mu\text{m}$.
 - b) Estime la capacidad C_{gs} para $V_{GS} = 3\text{V}$, $V_{DS} = 3\text{V}$, y $W = 10\mu\text{m}$.
21. Para el transistor p-MOSFET de la figura 2 con $V_{BS} = 0\text{V}$.
 - a) Estime el parámetro $k_p = W\mu_p C_{ox}/2L$ del transistor, y el valor de r_o del modelo de pequeña señal.
 - b) Calcule el valor de g_m en función de I_D , y para el transistor en saturación grafique la curva g_m vs. I_D para valores de I_D entre 0 y $500\mu\text{A}$.
 - c) Grafique la curva r_o vs. I_D .
22. Dado un transistor n-MOSFET con parámetros $\mu_n = 215\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$, $t_{ox} = 150\text{\AA}$, $L = 2\mu\text{m}$, $W = 30\mu\text{m}$, $L_{diff} = 6\mu\text{m}$, $C_{ov} = 0,5\text{fF}/\mu\text{m}$, $\lambda = 0,05\text{V}^{-1}$, $N_A = 10^{17}\text{cm}^{-3}$, $V_{T0} = 1\text{V}$, considerando $C_{jsw} \approx 0$ y $C_{gb} \approx 0$, en la condición de operación $V_{GS} = 1,5\text{V}$, $V_{DS} = 1,5\text{V}$, $V_{BS} = 0\text{V}$,
 - a) ¿El transistor está operando en la región de corte, saturación o lineal?
 - b) Calcule el valor de V_T y de la corriente de polarización I_D .
 - c) Estime el rango de variación admisible en v_{gs} si se admite un 10% de error en la linealización de $i_D = k_n (v_{GS} - V_T)^2$.



- d) Calcule los parámetros del modelo de pequeña señal: g_m , g_{mb} , r_o , C_{gs} , C_{gd} , C_{sb} , C_{db} .
- e) Dibuje el modelo de pequeña señal del transistor.
23. En un n-MOSFET en régimen de saturación,
- ¿Cómo es la relación g_m vs. V_{GS} ?
 - ¿La capacidad C_j de las junturas Source-Bulk y Drain-Bulk son iguales?
24. Sea un transistor n-MOSFET con parámetros $\mu_n C_{ox} = 50 \mu\text{A}/\text{V}^2$, $V_T = 1 \text{ V}$, $\lambda = 0,01 \text{ V}^{-1}$, $W/L = 4$,
- Para $V_{DS} = 1 \text{ V}$, realice el gráfico en forma exacta de g_m en función de V_{GS} para $0 < V_{GS} < 3 \text{ V}$. Explique la forma de la curva y los puntos característicos de la misma.
 - Para $V_{GS} = 2 \text{ V}$, realice el gráfico en forma exacta de r_o en función de V_{DS} para $0 < V_{DS} < 3 \text{ V}$. Explique la forma de la curva y los puntos característicos de la misma.
25. Para el circuito de la figura 6c, siendo $\mu_p C_{ox} = -70 \mu\text{A}/\text{V}^2$, $V_T = -1,2 \text{ V}$, $W = 30 \mu\text{m}$, $L = 5 \mu\text{m}$, $\lambda = 0,05 \text{ V}^{-1}$, $R_{G2} = 470 \text{ k}\Omega$ y $V_{dd} = 5 \text{ V}$ se pide:
- Hallar R_{G1} y R_D tal que $I_D = -80 \mu\text{A}$ y $V_{out} = V_D = 2,4 \text{ V}$.
 - Hallar el rango posible de valores de R_D para el cual el transistor opera en saturación. Representar esta respuesta en el plano $(-I_D, V_{SD})$.
 - Hallar el modelo circuital equivalente de pequeña señal (bajas frecuencias) para el circuito de la figura 6c. Calcular los parámetros correspondientes para el caso a).
 - Explique qué representa g_m y cómo se obtiene su expresión.
26. Sólo dos de los parámetros que intervienen en el cálculo de la corriente I_D de saturación del MOSFET varían con la temperatura ambiente: $\mu_n(T) = \mu_n(T_o) \times (T_o/T)^{1,5}$ y $V_T = V_{T,T_o} + \alpha(T - T_o)$, con $\alpha > 0$. Al variar la temperatura con V_{GS} constante, ¿Las variaciones de μ_n y V_T influyen en I_D en el mismo sentido o en sentido opuesto?
27. Para el circuito de la figura 10, donde $\mu C_{ox} W/L = 1 \text{ mA}/\text{V}^2$, $V_T = 1 \text{ V}$, $\lambda = 0$, $R_{G1} = 1 \text{ k}\Omega$, $R_{G2} = 2 \text{ k}\Omega$, $R_D = 8,6 \text{ k}\Omega$, $V_{DD} = 3 \text{ V}$, indique en qué régimen está polarizado el transistor.

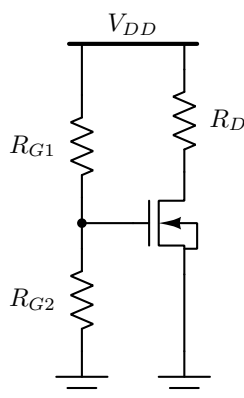


Figura 10

28. Dado un transistor p-MOSFET de parámetros $V_T = 0,9 \text{ V}$, $\mu_p C_{ox} = 40 \mu\text{A}/\text{V}^2$ y $W/L = 50$. Calcular la corriente de drain cuando las tensiones en el dispositivo son $V_G = 1 \text{ V}$, $V_S = V_B = 4 \text{ V}$ y $V_D = 2,5 \text{ V}$.
29. Se tiene un transistor MOSFET canal N del cual se sabe que $W = 100 \mu\text{m}$, $L = 5 \mu\text{m}$ y que el dopaje de sustrato es $5 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ aproximadamente. Al medir el transistor en el laboratorio y realizando el ajuste de la curva de transferencia se obtiene $|k| = 1 \text{ mA}/\text{V}^2$. Utilizando los datos y ayudándose con el gráfico de movilidades indique cuánto vale aproximadamente la capacidad del óxido.

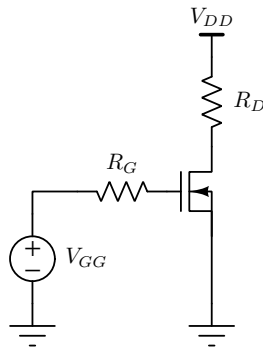


Figura 11

30. Dado el circuito de la figura 11 donde $V_{GG} = 1\text{ V}$, $V_{DD} = 5\text{ V}$, $\mu_n C_{OX} = 116\text{ mA/V}^2$, $\lambda = 0,8/\text{V}$, $V_T = 0,8\text{ V}$, $W/L = 2$ y $R_G = 50\text{ }\Omega$, determinar R_D para que la corriente de drain sea 5 mA .
31. Dada la curva de I_D vs. V_{DS} de la figura 12a y el circuito de la figura 12b, con $V_{dd} = 5\text{ V}$, $V_T = 1\text{ V}$, $\mu_n C_{ox} = 50\text{ }\mu\text{A/V}$ y $R_D = 10\text{ k}\Omega$:
- Dibuje la recta estática de carga de este circuito.
 - Determine gráficamente el valor de V_{GG} tal que $V_{OUT} = 2,5\text{ V}$, y halle gráficamente el valor de I_D resultante.
 - A partir de la figura 12a halle la relación W/L del transistor.
 - Determine analíticamente el valor de V_{GG} tal que $V_{OUT} = 2,5\text{ V}$, y halle analíticamente el valor de I_D resultante.

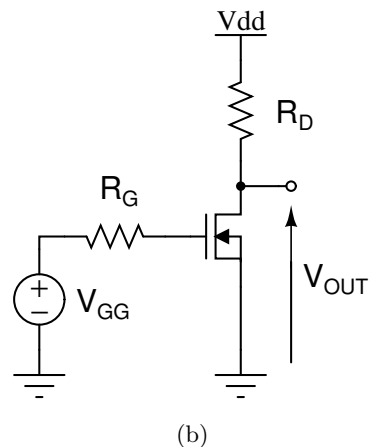
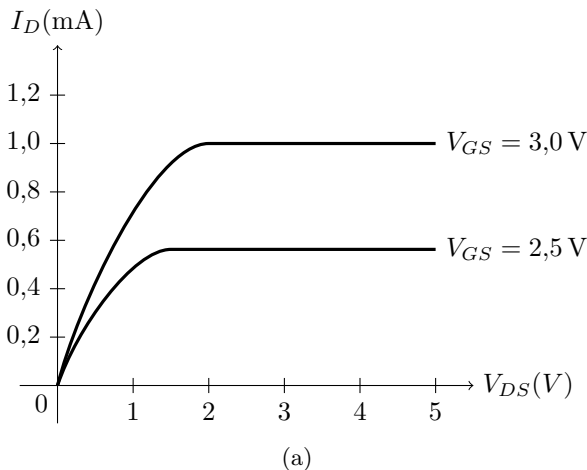


Figura 12

32. En la figura 13 se muestra un circuito elemental muy utilizado en diseños CMOS analógicos para generar una tensión de referencia. Asumiendo $I_{REF} = 40\text{ }\mu\text{A}$, $V_{dd} = 3,3\text{ V}$, $\mu_n C_{ox} = 116\text{ }\mu\text{A/V}^2$, $V_T = 0,8\text{ V}$, $\lambda = 0,04/\text{V}$, $W/L = 2$,
- Calcular el punto de trabajo del transistor. ¿En qué región de operación se encuentra? ¿Depende de I_{REF} ?
 - Hallar el modelo de pequeña señal del circuito. Explique qué efecto representa cada uno de los componentes. Grafique de forma cualitativa g_m y r_o en función de I_{REF} .
 - 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 $V_{out} = 1,5\text{ V}$.

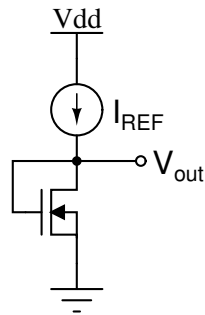


Figura 13

33. Dado el circuito de la figura 14 y sabiendo que $V_T = 0,6\text{ V}$, $V_{DD} = 3,3\text{ V}$, $(W/L)_1 = 10$, $\mu_n C_{ox} = 80\text{ }\mu\text{A/V}^2$ y asumiendo $\lambda = 0$,
- ¿Puede M_1 estar polarizado en régimen de triodo?
 - Describa el funcionamiento del circuito y explique para qué sirve.
 - Hallar R_{REF} tal que $I_{OUT} = 100\text{ }\mu\text{A}$.
 - 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?

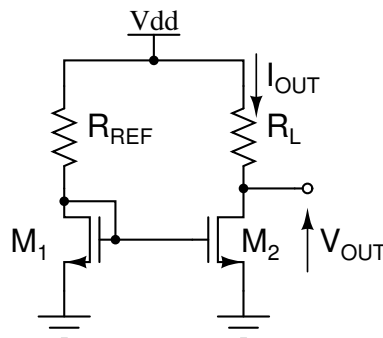


Figura 14

34. En la figura 15 se muestra una fuente de corriente donde $V_{T0} = -0,9\text{ V}$, $\mu_p C_{ox} = 25\text{ }\mu\text{A/V}^2$, $\lambda_p = 0,02/\text{V}$, $V_{DD} = 5\text{ V}$ 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 $I_{REF} = 100\text{ }\mu\text{A}$. ¿Cuánto vale V_{REF} en ese caso?
 - ¿Cuánto debe valer $(W/L)_2$ para que $I_{OUT} = 500\text{ }\mu\text{A}$?
 - 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?
35. Para el circuito de la figura 16, siendo para ambos transistores $V_T = 0,7\text{ V}$, $\mu_n C_{ox} = 75\text{ }\mu\text{A/V}^2$, $L_1 = L_2 = 2\text{ }\mu\text{m}$ y $V_{DD} = 5\text{ V}$, calcule:
- El valor de R_{D1} para que $I_{D1sat} = 150\text{ }\mu\text{A}$ siendo $W_1 = 20\text{ }\mu\text{m}$.
 - El valor de W_2 para obtener $I_{D2sat} = 50\text{ }\mu\text{A}$ siendo $R_{D2} = 10\text{ k}\Omega$.
36. Para el circuito de la figura 17, siendo $V_T = -0,9\text{ V}$, $\mu_p C_{ox} = 57\text{ }\mu\text{A/V}^2$, $W_1 = 20\text{ }\mu\text{m}$ y $L_1 = 2\text{ }\mu\text{m}$, $V_{DD} = 5\text{ V}$, hallar el valor de R_{D1} para que la corriente I_{D1} sea $-100\text{ }\mu\text{A}$.

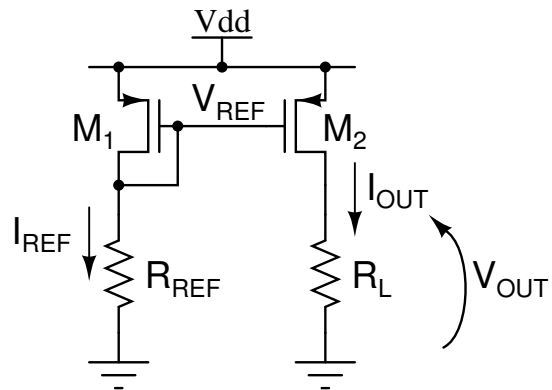


Figura 15

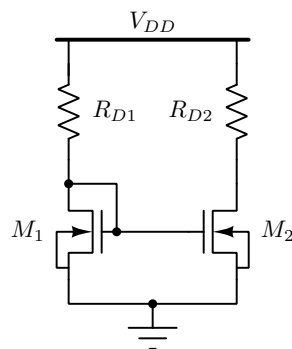


Figura 16

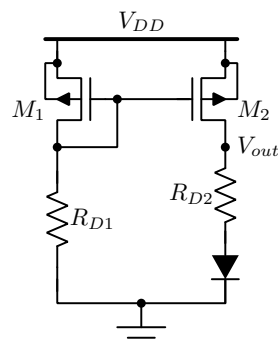


Figura 17