

Exercícios – 10

Transístores MOS

1- A fig. 1 mostra quatro circuitos com transístores MOS. Para cada um deles, indique se os transístores poderão estar em condução ou se estão cortados.

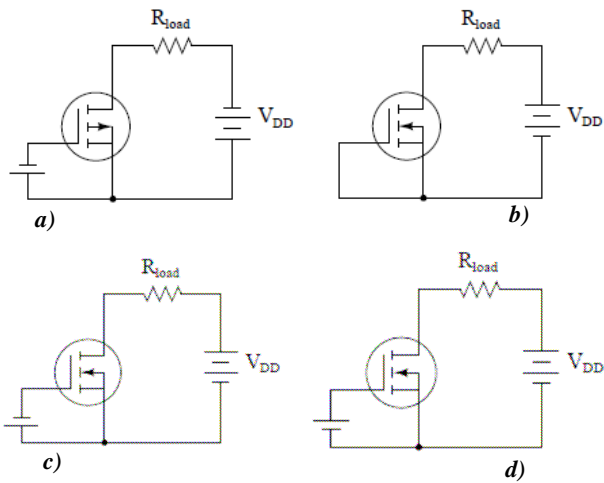


Fig. 1

2- Na fig. 2 todos os transístores têm uma tensão de limiar $V_T = 0.4V$. Indique a região de funcionamento de cada um deles.

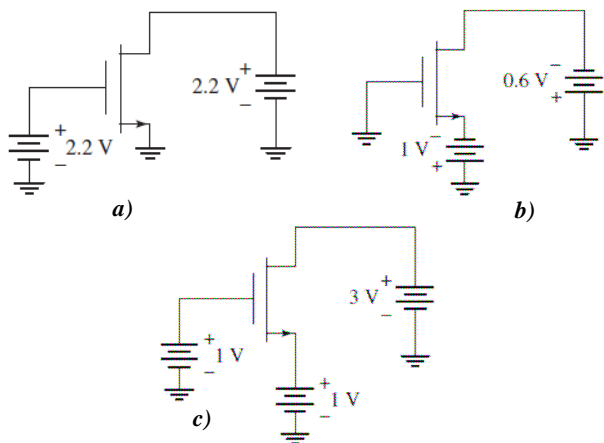


Fig. 2

3- Na fig. 3 todos os transístores têm uma tensão de limiar $V_T = -0.4V$. Indique a região de funcionamento de cada um deles.

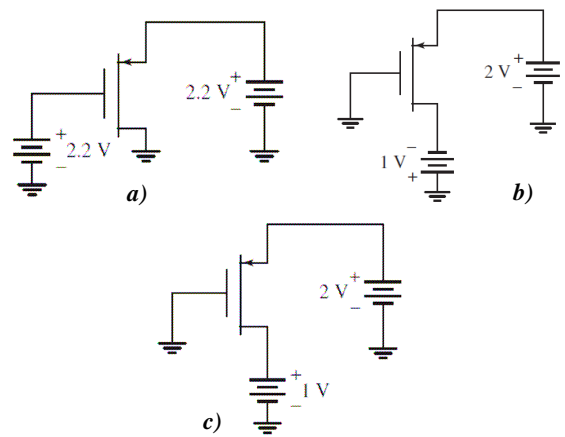


Fig. 3

4- No circuito da fig. 4, os parâmetros do transístor são $V_T = 0.8V$ e $k_n = 0.25mA/V^2$. Determine os valores de V_{DS} e I_{DS} .

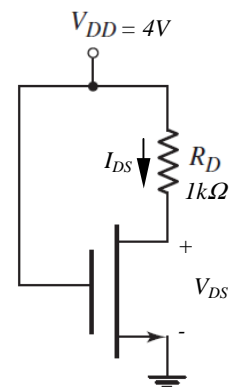


Fig. 4

5- No circuito da fig. 5, os parâmetros do transistor são $V_T = 0.8V$ e $k_n = 0.5mA/V^2$. Determine os valores de V_{GS} , V_{DS} e I_{DS} .

6- No circuito da fig. 6, os parâmetros do transistor são $V_T = -0.8V$ e $k_p = 0.2mA/V^2$. Determine os valores de V_S e V_{SD} .

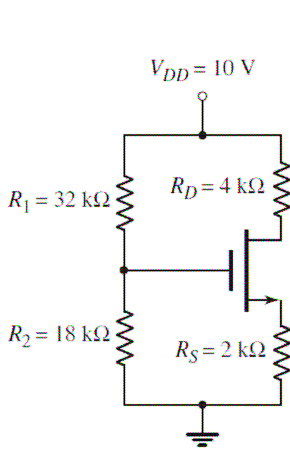


Fig. 5

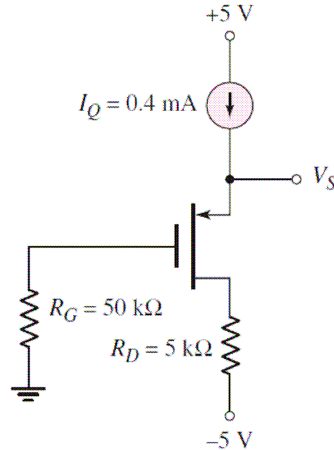


Fig. 6

7- No circuito da fig. 7, ambos os transistores são caracterizados por $V_T = 0.4V$ e $k'_n = 0.12mA/V^2$. As razões geométricas são $(W/L)_1 = 30$ e $(W/L)_2 = 15$. Determine os valores de V_{GS1} , V_0 e I_D .

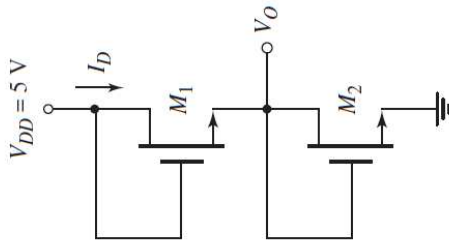


Fig. 7

8- O circuito da fig. 8 inclui uma lâmpada ligada no dreno de um MOSFET e um botão de pressão ligado na porta.

- Explique o funcionamento do circuito.
- Supondo que o V_T do transistor é $4V$, durante quanto tempo ficará a lâmpada acesa depois que o botão de pressão é libertado.

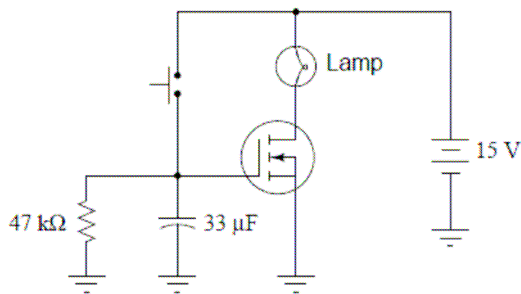


Fig. 8

9- O circuito da fig. 9 é usado para ligar e desligar o diodo LED, actuando na tensão V_I . Considere que os parâmetros do transistor são $V_T = 0.6V$ e $k'_n = 0.08mA/V^2$. Suponha ainda que a tensão de condução do LED é de $1.6V$.

Determine os valores da razão geométrica do transistor (W/L) e da resistência R_D de forma a ter $I_D = 12mA$ e $V_{DS} = 0.15V$ com $V_I = 5V$.

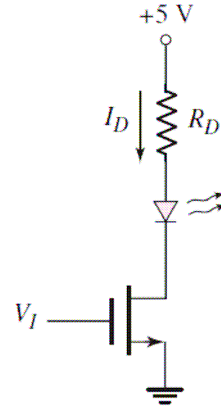


Fig. 9

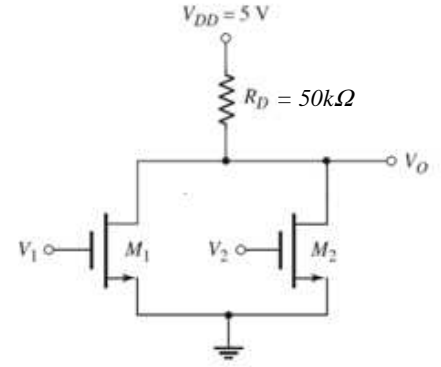


Fig. 10

10- No circuito da fig. 10 considere, para ambos os transistores, $V_T = 0.6V$ e $k'_n = 0.12mA/V^2$.

a) O circuito realiza uma função lógica Booleana $V_0 = f(V_1, V_2)$. Considerando o nível lógico 1 representado por uma tensão de $5V$ e o nível lógico 0 por uma tensão de valor inferior a V_T , identifique a função f .

b) Calcule as razões geométricas dos transistores de forma a ter $V_0 = 0.15V$ quando $V_1 = V_2 = 5V$. Assuma $(W/L)_1 = (W/L)_2$.

c) Com o valor de $(W/L)_1 = (W/L)_2$ obtido na alínea anterior, determine V_0 para $V_1 = 5V$ e $V_2 = 0.2V$.

11- No circuito da fig. 11 considere, para ambos os transistores, $V_T = 2V$ e $k_n = 0.5mA/V^2$. O circuito está alimentado com uma tensão de $10V$ e inclui dois botões de pressão, S_1 e S_2 , que estabelecem a ligação entre os contactos respectivos, quando premidos.

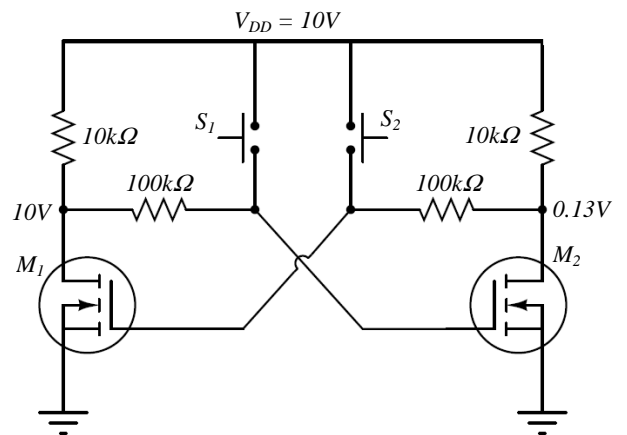


Fig. 11

Assumindo que as tensões nos drenos de M_1 e M_2 são as indicadas na figura, diga o que acontece quando

- a) S_1 é premido momentaneamente.
b) S_2 é premido momentaneamente.

12- Qual deverá ser a razão geométrica, W/L , que um transistor NMOS com $V_T = 0.4V$ e $k'_n = 100\mu A/V^2$ deverá ter para apresentar um valor de transcondutância de pequeno sinal, g_m , de $0.5mA/V$ a uma corrente de dreno de $0.5mA$? Qual deverá ser o valor de V_{GS} de polarização?

13- Considere o circuito amplificador da fig. 12 em que o transistor é caracterizado por $V_T = 0.4V$, $k_n = 0.5mA/V^2$ e $V_A = 50V$. Para as frequências do sinal v_i assuma que o condensador de acoplamento C_{C1} é um curto-circuito. Determine:

- a) A corrente de dreno, I_{DS} .
b) Os parâmetros do modelo de pequeno sinal, g_m e r_o .
c) O ganho em tensão do amplificador, $A_v \equiv v_o/v_i$.
d) A resistência de entrada, R_{in} , (vista pela fonte de tensão v_i) e a resistência de saída, R_o , do amplificador (vista no nó de saída v_o).

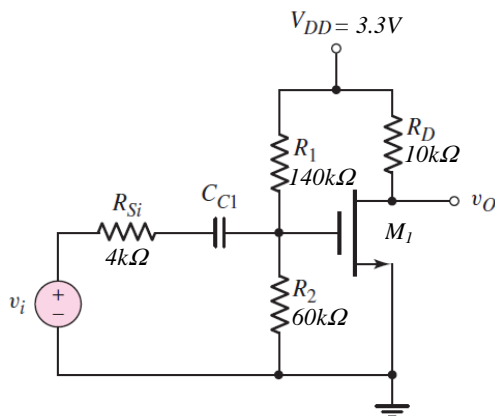


Fig. 12

Respostas

- 1- a) on b) off c) off d) on.
2- a) saturação; b) linear; c) corte.
3- a) corte; b) saturação; c) linear.
4- $V_{DS} = 1.88V$, $I_{DS} = 2.12mA$.
5- $V_{GS} = 2.05V$, $V_{DS} = 5.35V$, $I_{DS} = 0.775mA$.
6- $V_S = 2.21V$ e $V_{SD} = 5.21V$.
7- $V_{GS1} = 2.14V$, $V_0 = 2.86V$, $I_D = 5.45mA$.

8- a) Sem actuar no botão de pressão a tensão na porta do MOSFET será $0V$, este estará *off* e portanto a lâmpada estará apagada. Quando o botão de pressão é premido a tensão na porta do MOSFET sobe até $15V$, ligando o transistor e portanto acendendo a lâmpada. Quando o botão é depois libertado, o condensador mantém a tensão na porta do MOSFET inicialmente em $15V$, mas depois vai descarregando através da resistência. Quando a tensão no condensador cair abaixo da tensão de limiar do transistor ($4V$), este corta e a lâmpada apaga.

b) $2.05seg$.

9- $(W/L) = 231$, $R_D = 271\Omega$.

10- a) $V_0 = \overline{V_1 \vee V_2}$, **b)** $(W/L)_{1,2} = 0.623$; **c)** $V_0 = 0.297V$.

11- a) Antes de premir S_1 , temos M_1 *off* (porque tem na porta uma tensão de $0.13V < V_T$) e M_2 *on* (porque tem na porta uma tensão de $10V > V_T$). Isto acontece porque não há queda de tensão nas resistências de $100k$, uma vez que não há corrente nas portas dos transistores. Premir S_1 não altera a tensão na porta de M_2 (nem muito menos a tensão na porta de M_1), e portanto não altera nada no circuito.

b) Premir S_2 faz subir a tensão na porta de M_1 para $10V$. M_1 fica portanto *on* fazendo a tensão no seu dreno baixar para o valor $0.13V$ (como o circuito de M_1 é igual ao de M_2 , a tensão no dreno de M_1 tem de ser a mesma quando este transistor fica *on*). Como $V_{DS1} = V_{GS2} = 0.13V < V_T$, M_2 fica *off*. Em resumo, a ligação momentânea de S_2 faz com que o circuito mude de estado: de M_1 *off* / M_2 *on* para M_1 *on* / M_2 *off*. Por ter dois estados estáveis, este circuito é chamado de biestável.

12- $(W/L) = 2.5$, $V_{GS} = 2.4V$.

13- a) $I_{DS} = 0.18mA$; **b)** $g_m = 0.6mA/V$; $r_o = 278k\Omega$; **c)** $A_v = -5.29V/V$; **d)** $R_{in} = 46k\Omega$; $R_o = 9.65k\Omega$.

Fontes

- 1- Problemas 14 (alíneas a e b) e 15 (alíneas c e d) de [1];
2- Exercício 3.5 de [2];
3- Exercício 3.6 de [2];
4- Exercício 3.27-a) de [2];
5- Exercício 3.26 de [2];
6- Exercício 3.31 de [2];
7- Exercício 3.46-b) de [2];
8 – Problema 31 de [1];
9- Exercício 3.51 de [2];
10- Exercício 3.53 de [2];
11- Adaptação do problema 30 de [1];
12- Adaptado do exercício 4.1 de [2];
13- Exemplo 4.3 (pg. 218) de [2].

Referências

- [1] - Insulated gate field-effect transistors - *igfet.pdf*.
[2] - Neamen, Microelectronics Circuit Analysis and Design, 4th edition.