

## 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.

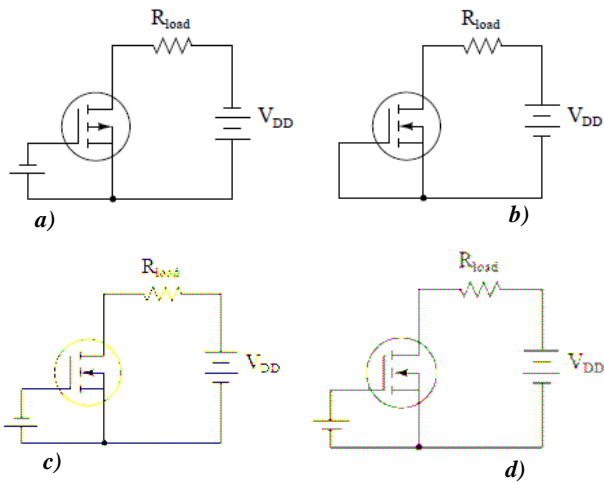


Fig. 1

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.

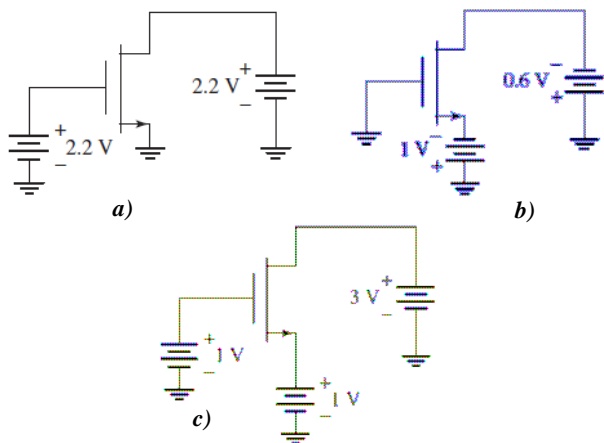


Fig. 2

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.

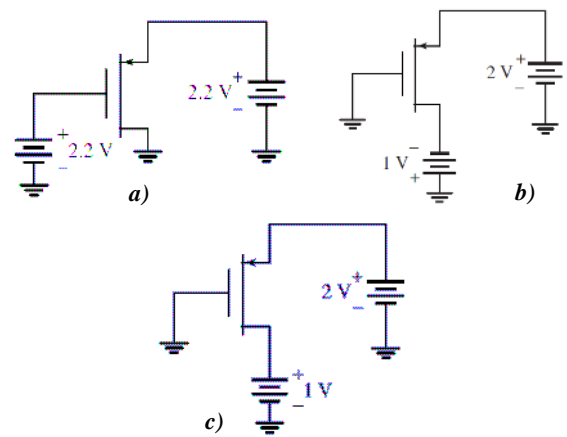


Fig. 3

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  $I_{DS}$ .

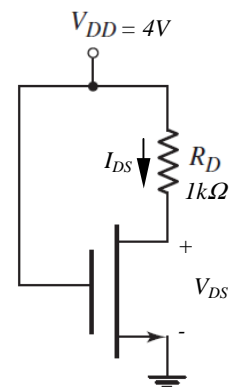


Fig. 4

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  $V_{SD}$ .

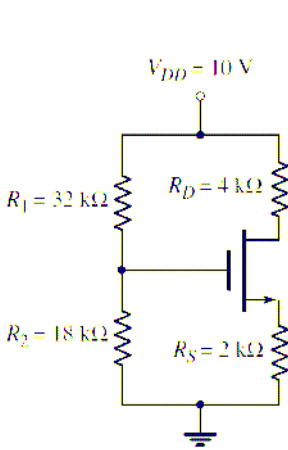


Fig. 5

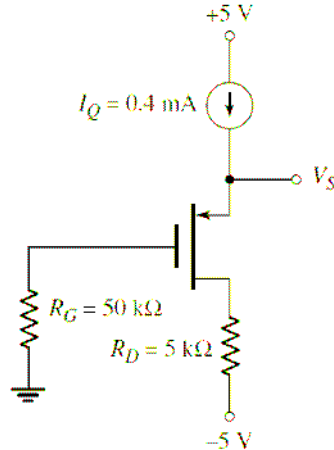


Fig. 6

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  $I_D$ .

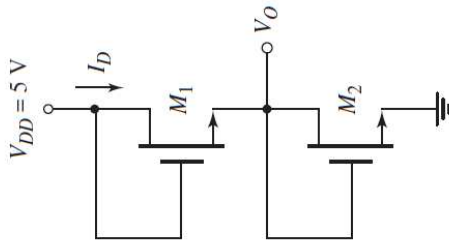


Fig. 7

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

a) Explique o funcionamento do circuito.

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

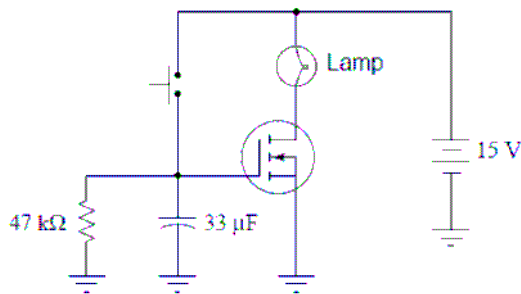


Fig. 8

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  $V_I = 5V$ .

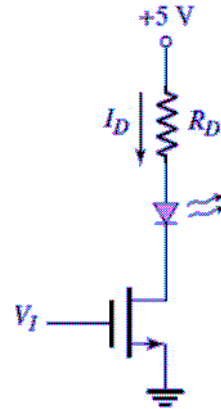


Fig. 9

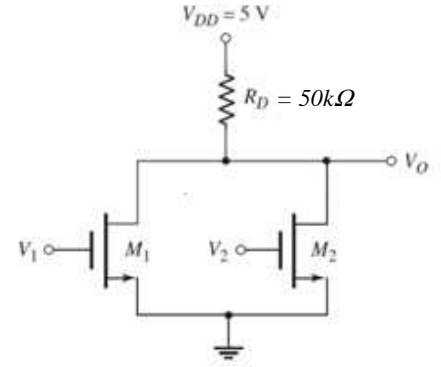


Fig. 10

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.

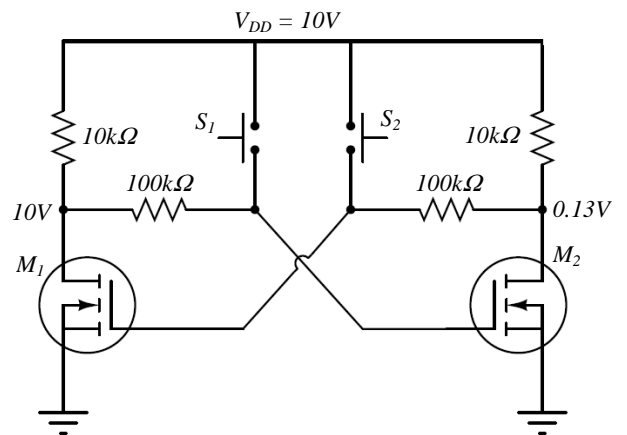


Fig. 11

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  $v_o$ ).

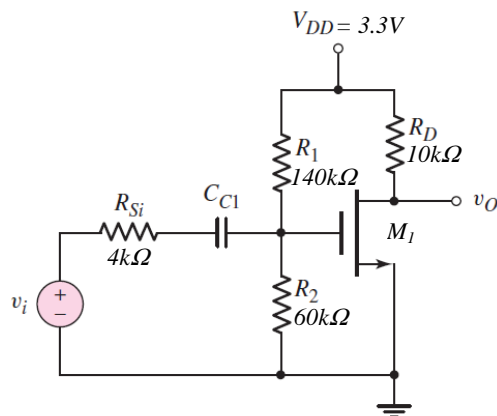


Fig. 12

## 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, 4<sup>th</sup> edition.