



Nome: _____

Matrícula: _____

Instruções:

- Tempo máximo de duração: 2 horas.
- Explique o desenvolvimento das questões. Resultados sem justificativa não serão aceitos;
- Não use aproximações, exceto quando explicitamente indicado;
- É permitido o uso de máquina calculadora;
- Quando forem solicitados resultados analíticos (*i.e.*, fórmulas literais), estes devem ser desenvolvidos envolvendo as variáveis de interesse e os parâmetros do modelo. Outras variáveis dependentes não devem estar presentes nas fórmulas.

Principais fórmulas:

- Transistor MOSFET (NMOS):

$$i_D = \begin{cases} 0 & \text{operando na região de corte } (v_{GS} < V_t) \\ K [2(v_{GS} - V_t)v_{DS} - v_{DS}^2] & \text{operando na região de triodo } (v_{GS} \geq V_t \text{ e } v_{DS} < v_{GS} - V_t) \\ K(v_{GS} - V_t)^2 & \text{operando na região de saturação } (v_{GS} \geq V_t \text{ e } v_{DS} \geq v_{GS} - V_t) \end{cases}$$
$$K = \frac{1}{2} \mu_N C_{OX} \frac{W}{L}$$

- Transistor bipolar:

- Modelo físico:

$$i_C = \begin{cases} I_S \exp(v_{BE}/V_T) & \text{para transistor NPN em modo ativo} \\ I_S \exp(v_{EB}/V_T) & \text{para transistor PNP em modo ativo} \end{cases}$$

- Relação entre as correntes: $i_C = \beta i_B$ $i_C = \alpha i_E$ $i_E = i_C + i_B$
- Supondo queda de tensão constante na junção base-emissor (JBE), esta conduz quando $v_{BE} = 0,7V$ (NPN) ou $v_{EB} = 0,7V$ (PNP)
- Parâmetro que delimita a saturação: $0 < v_{CE} \leq V_{CESAT}$ (NPN) ou $0 < v_{EC} \leq V_{ECSAT}$ (PNP)

Questões:

1. Na tentativa de montar um alarme, um estudante propôs o circuito da Figura 1 para a detecção de abertura de janelas e portas. Neste circuito, um opto-acoplador composto de um LED e de um foto-transistor foi usado para isolar os circuitos de sensoreamento (resistor R_1 e interruptor S ideal) e o circuito de decodificação, cuja saída é V_s . O opto-acoplador é completamente opaco, de forma que nenhuma luz externa incide na junção base-coletor do foto-transistor. O manual deste dispositivo indica que as correntes i_1 e i_2 se relacionam por $i_2 = 10 \cdot i_1$ com o foto-transistor em modo ativo, e que o LED, quando ativado por uma corrente de $10mA$, apresenta uma diferença de potencial direta de $2,0V$ entre seus terminais. Com o LED desativado, assume-se i_2 nulo. Pede-se:
 - (a) Quanto deveria ser a tensão V_s se o interruptor S estiver em aberto? Por quê? (pontos: 1,0)
 - (b) Determine as resistências R_1 e R_2 de forma que a corrente pelo LED seja $10mA$, com o interruptor S fechado, tenhamos $V_s = 0,5V$ (acima do V_{CESAT} do foto-transistor, estando este em modo ativo). (pontos: 2,0)

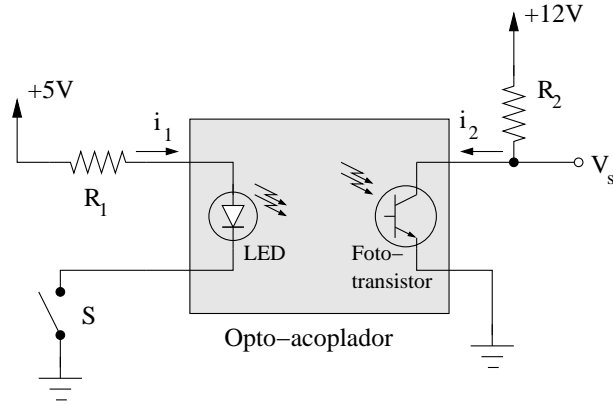


Figura 1: Circuito da questão 1.

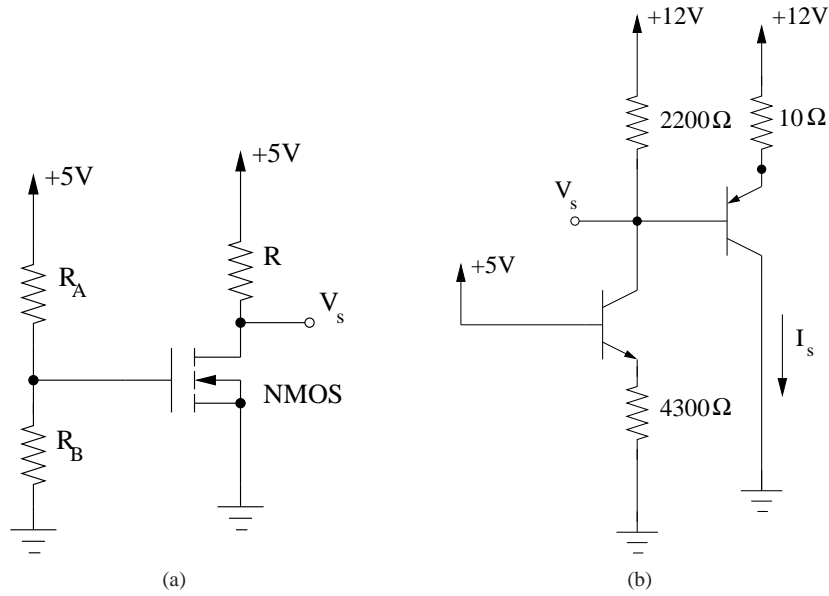


Figura 2: (a) Circuito da questão 2. (b) Circuito da questão 3.

2. No circuito da Figura 2(a), considere a resistência R de valor nominal $10k\Omega$ e o transistor NMOS de crescimento com parâmetros $\mu_N C_{OX} = 50\mu_A/V^2$, $W = 600\mu m$ e $L = 60\mu m$. Responda os itens abaixo:

- (a) Sendo $V_t = 1,5V$ e $R_A = R_B = 1M\Omega$, determine o valor em volts da tensão V_s (**pontos: 1,0**).
- (b) Mostre que, para uma tensão de limiar $V_t = 2,0V$, quaisquer valores de resistências R_A e R_B físicas satisfazendo simultaneamente as relações

$$\frac{R_A}{R_B} > 1,5 \quad (1)$$

$$100\Omega < R_A + R_B < 1M\Omega \quad (2)$$

levam a $V_s = 5V$ (**pontos: 2,0**)

3. No circuito da Figura 2(b), considere os transistores com queda de tensão constante na JBE quando em condução (ver a primeira página de fórmulas). Considere também $V_{CESAT} = V_{ECSAT} = 0,4V$. Determine a tensão V_s e a corrente I_s quando

- (a) O ganho β dos transistores é infinito (**pontos: 2,0**);
- (b) O ganho β dos transistores é 100 (**pontos: 2,0**).

BOA PROVA!