



Nome: _____

Matrícula: _____

Instruções:

- Tempo máximo de duração: 2 horas.
- Usar as palavras para explicar o desenvolvimento das questões. Resultados sem explicações não serão aceitos;
- Não use aproximações, exceto quando explicitamente indicado;
- Não 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.

Principais fórmulas:

- Transistor bipolar:

$$i_C = \begin{cases} I_S \exp(v_{BE}/V_T)(1 + v_{CE}/V_A) & \text{para transistor NPN em modo ativo} \\ I_S \exp(v_{EB}/V_T)(1 + v_{EC}/V_A) & \text{para transistor PNP em modo ativo} \end{cases}$$
$$i_C = \beta i_B \quad i_C = \alpha i_E \quad i_E = i_C + i_B \quad r_o = \frac{V_A}{I_C} \quad r_\pi = \frac{V_T}{I_B} \quad r_e = \frac{V_T}{I_E} \quad g_m = \frac{I_C}{V_T}$$

- Transistor MOSFET (NMOS):

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

Questionamento:

1. Considerando que o circuito da Figura 1(a) usa um transistor NMOS com parâmetros $V_t = 2 \text{ V}$, $\mu_N C_{OX} = 20 \mu\text{A}/\text{V}^2$, $\lambda = 0$, $W = 200 \mu\text{m}$ e $L = 20 \mu\text{m}$ responda:
 - (a) Com o interruptor S fechado, determine a tensão v e a corrente i . **(pontos: 0,6)**
 - (b) Com o interruptor S aberto, determine a tensão v e a corrente i . **(pontos: 1,4)**
2. Para que o circuito da Figura 1(b) possa ser usado na detecção de eventos associados aos interruptores S_1 e S_2 , o transistor deve operar então como chave (*i.e.*, corte ou saturação). O transistor Q_1 satura quando a tensão coletor-emissor é menor ou igual a $V_{CESAT} > 0$, e seu ganho β pertence ao intervalo $[\beta_{\min}, \beta_{\max}]$. Para análise, os diodos podem ser aproximados pelo modelo queda de tensão constante, com parâmetro V_{DO} , bem como a junção base-emissor de Q_1 possui queda de tensão $V_{BE} > 0$ quando em condução. Responda:
 - (a) Que condição se aplica a R_2/R_1 para que o transistor opere como chave? **(pontos: 1,5)**
 - (b) Projete um circuito para inverter a lógica da saída do circuito da Figura 1(b) usando um transistor Q_2 com os mesmos parâmetros de Q_1 . Proponha relações que permitam o funcionamento do transistor Q_2 no corte ou na saturação. **(pontos: 1,5)**

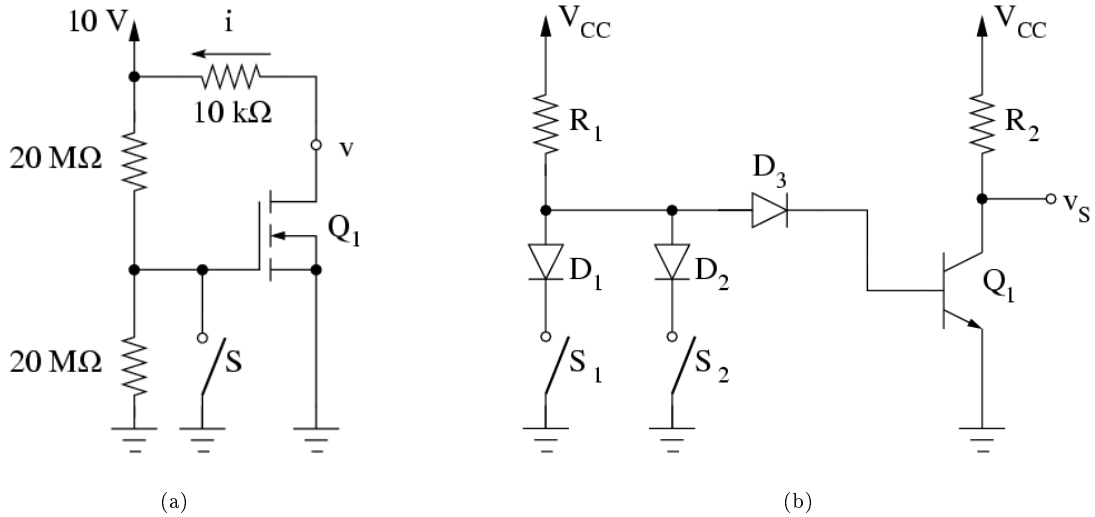


Figura 1: (a) Circuito da questão 1. (b) Circuito da questão 2.

3. No circuito da Figura 2(a), temos um amplificador transistorizado que se caracteriza por apresentar um ganho com pouca dependência sobre β . Como entrada, temos uma tensão $v_E(t) = v_e(t)$, como $v_e(t)$ sendo um pequeno sinal. Na saída, devido ao capacitor C e à resistência R_L , $v_S(t)$ é um sinal com componente AC dada por $v_s(t)$. Os valores dos capacitores C são suficientemente altos de forma a considerá-los como curto-circuito para pequenos sinais. A corrente de polarização I_Q é gerada por uma fonte de corrente. Tomando em conta estes dados, responda:
 - (a) Determine o circuito equivalente DC (**pontos: 0,5**) e a fórmula de R_C de forma a se ter a componente DC da tensão no coletor igual a $V_{CC}/2$ (**pontos: 1,0**). Desconsidere a resistência de saída r_o .
 - (b) Determine o circuito equivalente AC, considerando a resistência de saída r_o (**pontos: 0,5**). Determine a fórmula do ganho de amplificação $v_s(t)/v_e(t)$ (**pontos: 1,0**).
4. No circuito da Figura 2(b), foram usados três transistores PNP idênticos com um mesmo ganho β finito. Supondo que o transistor Q_1 esteja no modo ativo, de forma que na sua junção base-emissor a diferença de potencial é $V_{EB} > 0$, determine:
 - (a) A fórmula para a corrente I_F (**pontos: 0,5**).
 - (b) A relação entre a corrente I_L e a corrente I_F (**pontos: 1,0**).
 - (c) Expandindo este mesmo circuito para k transistores Q_2, \dots, Q_{k+1} como mostrado na Figura 2(c), determine a relação entre a corrente I_L e a corrente I_F (**pontos: 0,5**).

BOA PROVA!

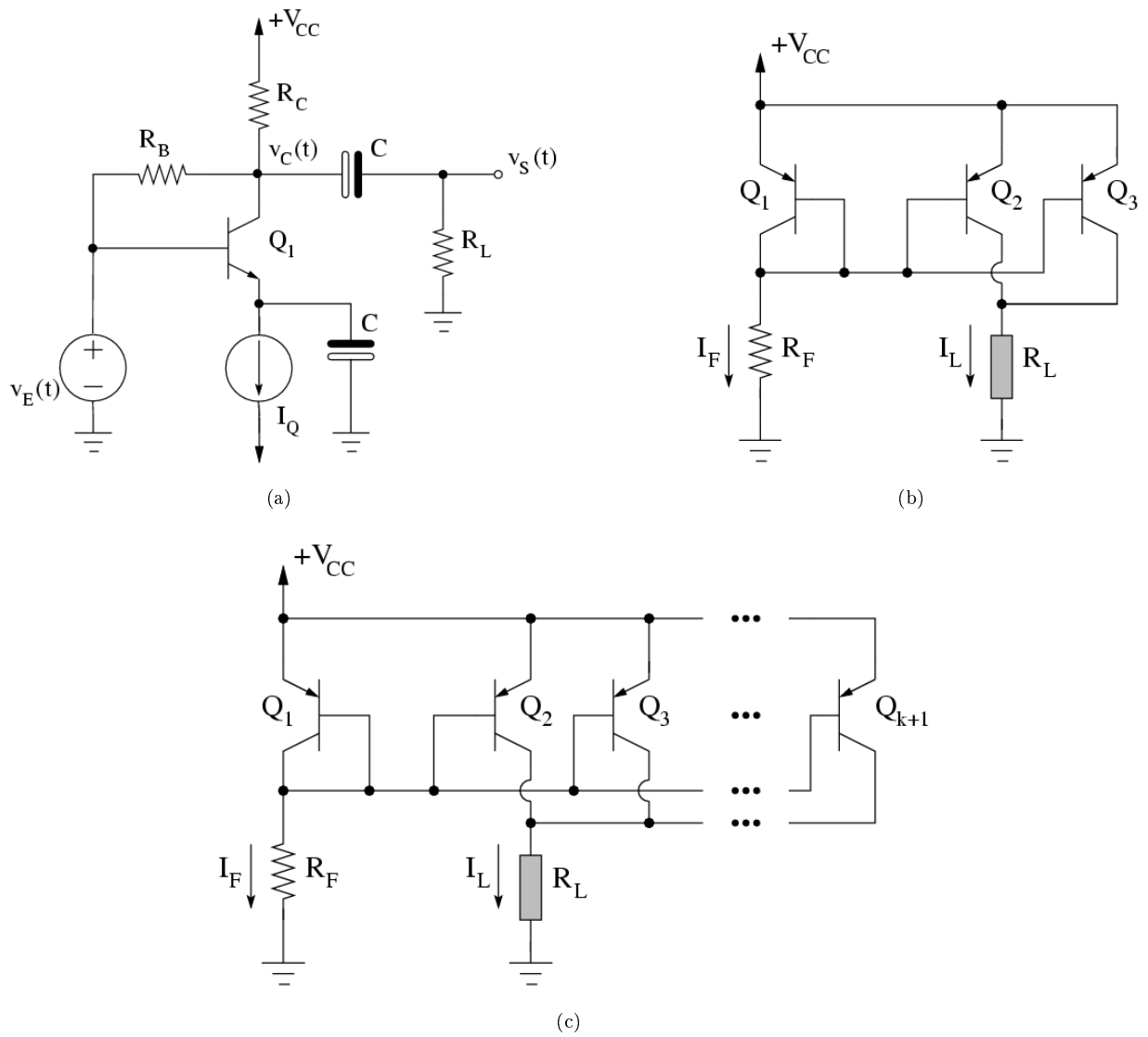


Figura 2: (a) Circuito da questão 3. (b) e (c) Circuitos da questão 4.