



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:

- 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:
  - Com o interruptor S fechado, determine a tensão  $v$  e a corrente  $i$ . **(pontos: 0,6)**
  - Com o interruptor S aberto, determine a tensão  $v$  e a corrente  $i$ . **(pontos: 1,4)**
- 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  $\beta$  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:
  - Que condição se aplica a  $R_2/R_1$  para que o transistor opere como chave? **(pontos: 1,5)**
  - 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)**

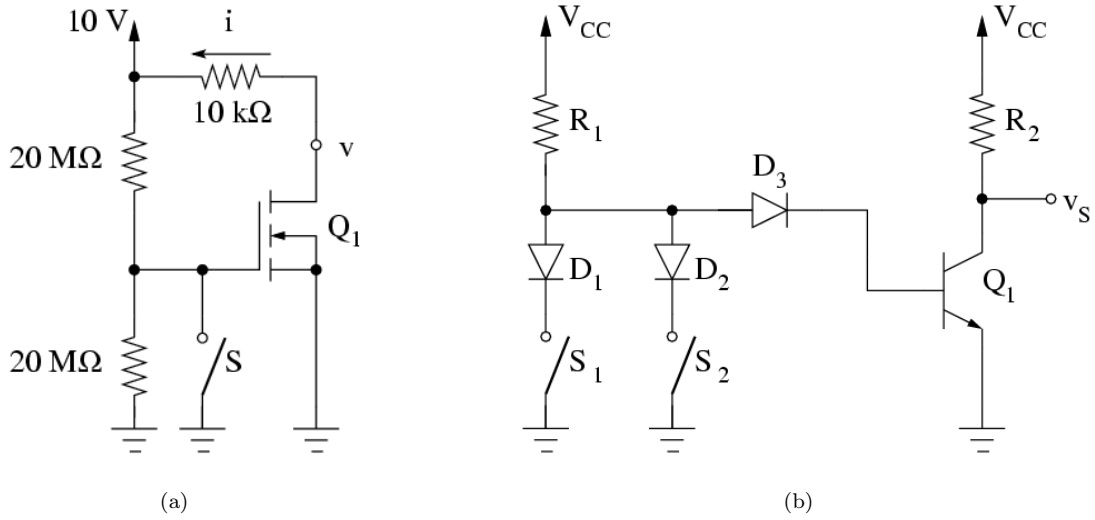


Figura 1: (a) Circuito da questão 1. (b) Circuito da questão 2.

3. No circuito da Figura 2(a), temos um amplificador transistorizado que se caracteriza por apresentar um ganho com pouca dependência sobre  $\beta$ . 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. 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  $r_o$ .
4. No circuito da Figura 2(b), foram usados três transistores PNP idênticos com um mesmo ganho  $\beta$  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: 2,0**).

BOA PROVA!

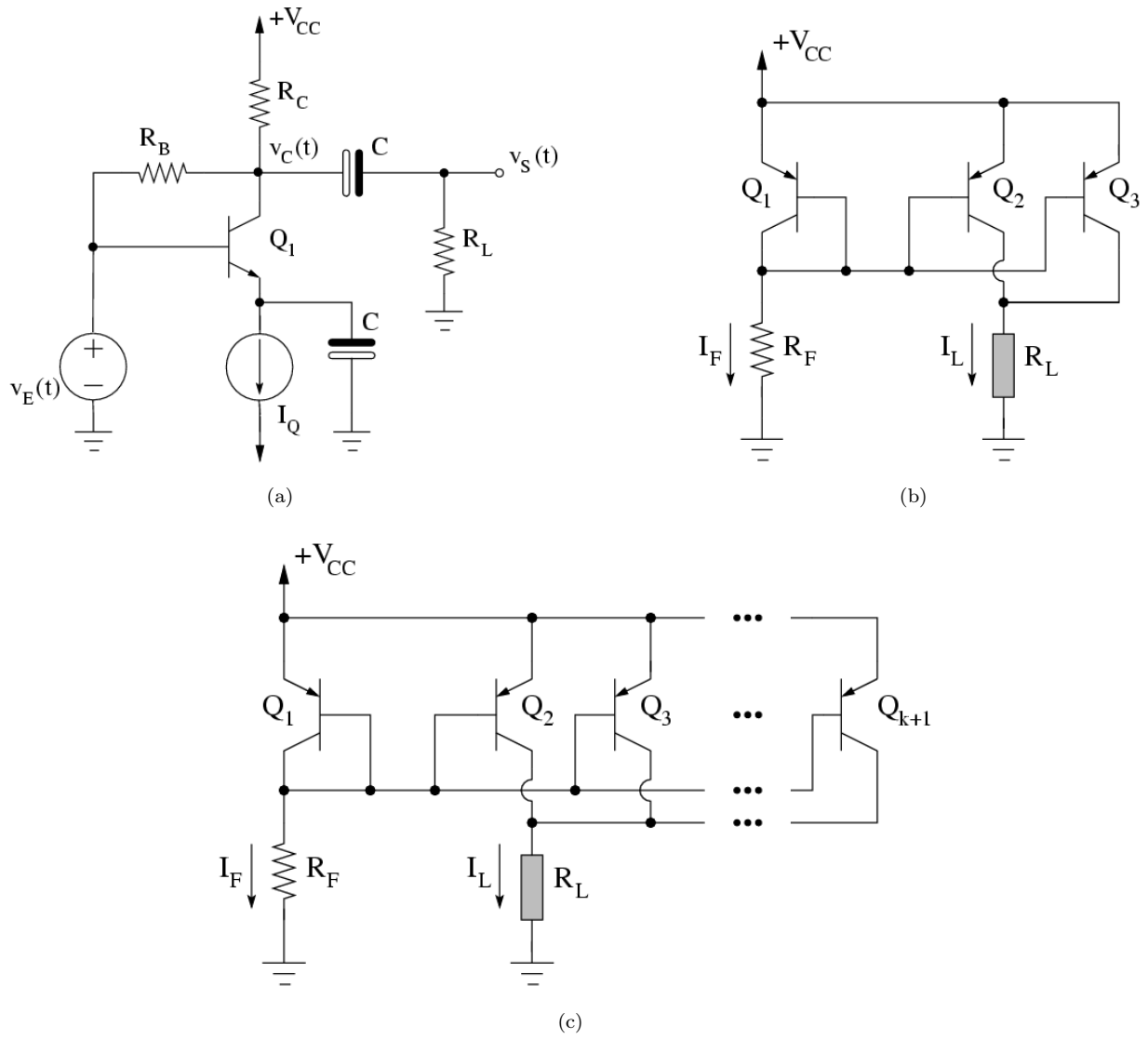


Figura 2: (a) Circuito da questão 3. (b) e (c) Circuitos da questão 4.