



Nome: _____

Matrícula: _____

Instruções:

- Tempo máximo de duração: 2 horas.
- Explique o desenvolvimento das questões. Resultados sem explicações e sem desenvolvimentos 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. Outras variáveis dependentes não devem estar presentes nas fórmulas.

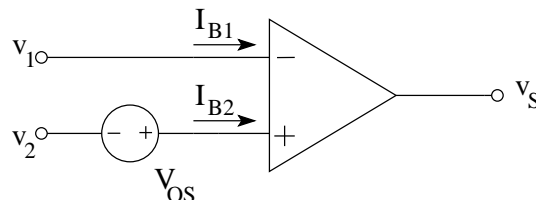
Principais fórmulas:

- Transistor MOSFET (NMOS):

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

$$K = \frac{1}{2} \mu_N C_{OX} \frac{W}{L}$$

- Amplificador operacional:



Modelo de primeira ordem (domínio s):

$$V_S(s) = \frac{A_0}{1 + \frac{s}{\omega_b}} \cdot (V_2(s) - V_1(s)),$$

no qual ω_b é a frequência de corte de malha aberta e $\omega_t = \omega_b \cdot A_0$ é a frequência de transição. As imperfeições CC são desprezadas.

Modelos de ordem zero (domínio de tempo):

$$v_S = A \cdot (v_2 - v_1), \text{ considerando ganho finito de malha aberta, e desconsiderando } V_{OS}.$$

$$v_S = A \cdot (v_2 - v_1 + V_{OS}), \text{ considerando ganho finito de malha aberta e imperfeições CC.}$$

Sobre as imperfeições CC:

$$I_B = \frac{I_{B1} + I_{B2}}{2}. \quad I_{OS} = |I_{B1} - I_{B2}|.$$

Questionamento:

1. Na Figura 1(a) tem-se um circuito com MOSFET e um chave S . Os parâmetros do MOSFET são $K = 200 \mu A/V^2$, $V_t = 2V$ e $\lambda = 0$. Responda às questões abaixo:

- (a) Determine a tensão v_D em Volts considerando que a chave S esteja fechada (curto-circuito) (**pontos: 1,0**). Em que modo de operação o MOSFET se encontra (**pontos: 0,5**)? Justifique sua resposta.
- (b) Estando a chave S em aberto e sendo R_G uma resistência que pode variar no intervalo $[R_{\min}, R_{\max}]$, determine o intervalo de variação de v_D em Volts (**pontos: 1,0**). Justifique sua resposta.

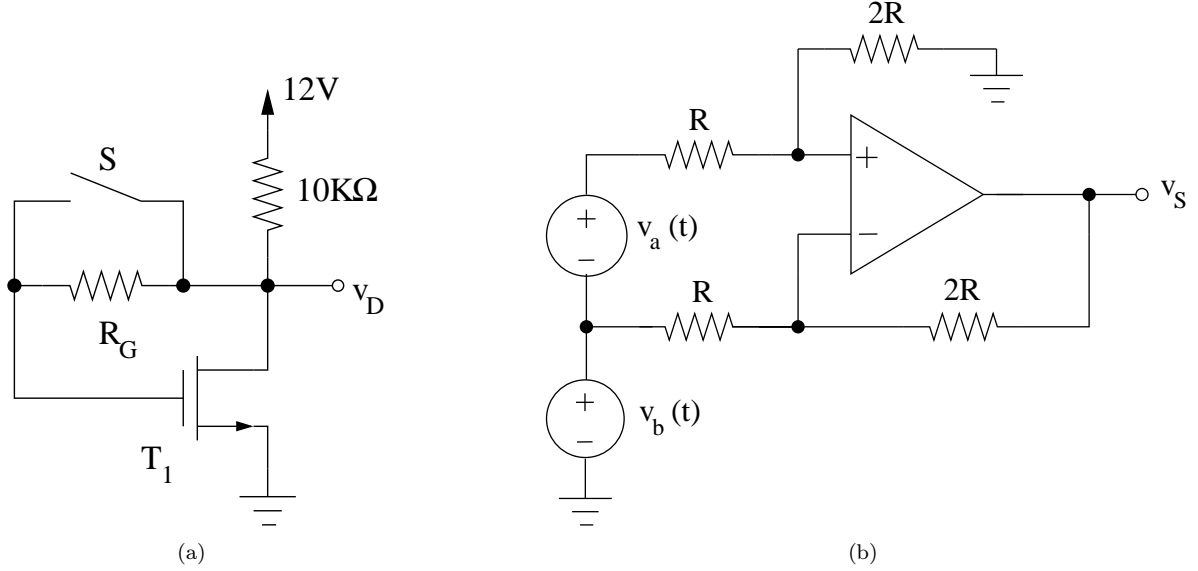


Figura 1: (a) Circuito da questão 1. (b) Circuito da questão 2.

2. No circuito da Figura 1(b), um amplificador operacional é usado para processar tensões provenientes de duas fontes independentes: $v_a(t)$ e $v_b(t)$. Responda às questões abaixo:
- (a) Considerando que o amplificador operacional possa ser bem aproximado pelo modelo de ordem zero com ganho A infinito, determine a fórmula da tensão de saída v_S (**pontos: 0,5**).
- (b) Para a análise em frequência, deve-se considerar que o amplificador operacional é melhor aproximado pelo modelo de primeira ordem com ganho A_0 finito, mas com $1/A_0 \approx 0$. Determine, sob forma de função de transferência no domínio de Laplace, a relação entre v_S e as fontes v_a e v_b : $V_S(s)/V_A(s)$ e $V_S(s)/V_B(s)$ (**pontos: 1,0**).
- (c) Continuando o item anterior, para a função de transferência entre v_S e v_a , indique o ganho CC (**pontos: 0,3**), a frequência de corte (**pontos: 0,3**) e o ganho de realimentação β (**pontos: 0,4**).
3. O circuito da Figura 2 usa um amplificador operacional com *slew-rate* s_r representado em $V/\mu s$. Para análise das imperfeições CC, considera-se que o amplificador operacional pode ser bem aproximado pelo modelo de ordem zero com ganho A infinito. Responda às questões abaixo:
- (a) Analise o circuito e indique como o parâmetro V_{OS} influencia v_S (**pontos: 0,5**).
- (b) Considerando $I_{OS} = 0$, determine por meio de análise uma fórmula para R_c de forma a compensar a corrente de polarização I_B (**pontos: 1,0**).
- (c) Sendo $i(t) = I \cdot \sin(\omega t)$ com I em Ampere, qual condição se aplica à frequência ω em rad/s de forma que v_S não seja deformado por conta de s_r (**pontos: 1,0**).

4. No circuito da Figura 3, um amplificador operacional é usado na compensação de uma não-linearidade inerente a diodos retificadores semicondutores: queda de tensão V_{DO} quando em condução direta ($i_D > 0$). Neste caso, assume-se que o diodo D_1 apresenta modelo queda-de-tensão-constante com parâmetro V_{D0} . Desconsiderando as imperfeições CC do amplificador operacional, mas levando em conta um ganho finito A no modelo de ordem zero, responda:
- Analise o circuito e obtenha os diagramas de blocos correspondentes aos modos de condução ($v_D \geq V_{DO}$) e de não condução do diodo ($v_D < V_{DO}$). **(pontos: 1,0)**
 - Para cada modo de condução do diodo, obter os valores v_E que levam o diodo a operar nestes modos. **(pontos: 0,5)**
 - Esboçar com detalhes a curva característica $v_S \times v_E$. **(pontos: 1,0)**

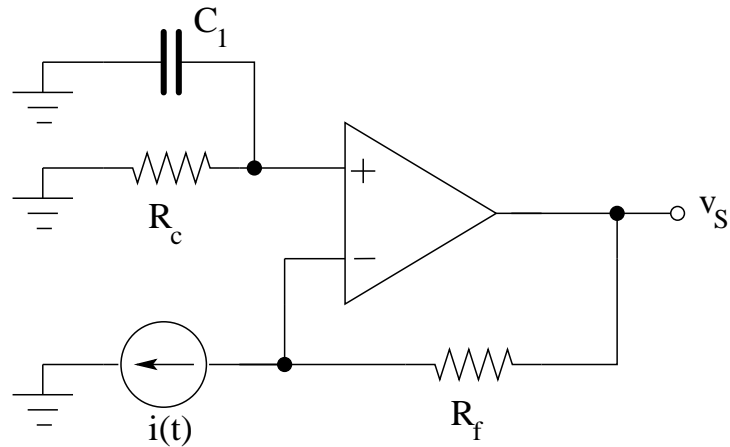


Figura 2: Circuito da questão 3.

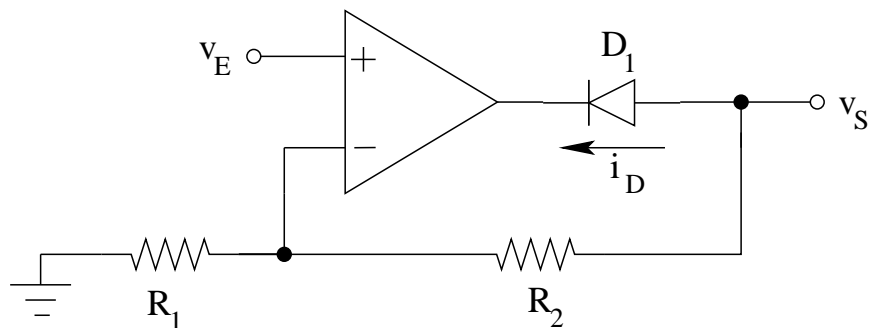


Figura 3: Circuito da questão 4.

BOA PROVA!