

Solução do exercício 2 - Capítulo 3

a) Para determinação do ponto de operação as fontes de sinal (no caso do sinal $v_1(t)$) são desconsideradas. Desta forma verifica-se pela LKT que $v_{GSQ} = 1$ [V], pois a corrente pela porta, i_G , é nula. Supondo que o MOSFET está operando na região saturada obtém-se:

$$i_{DQ} = \frac{1}{2} \beta (v_{GSQ} - V_{th})^2 = \frac{1}{2} 0,64 [1 - (-4)]^2 = 8 \text{ [mA]}$$

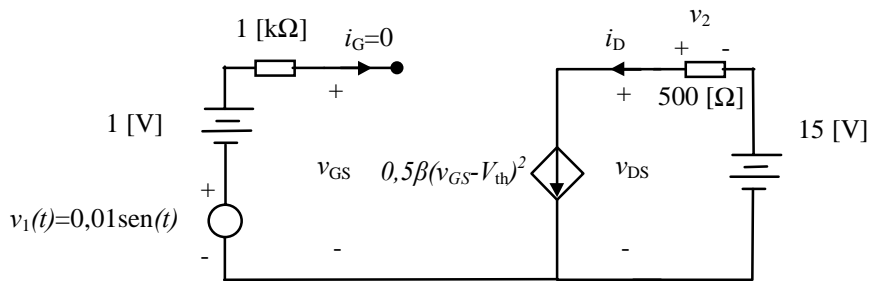
Desta forma obtém-se pela LKT e pela definição do resistor de 500 [Ω] que:

$$v_{DSQ} = 15 - 500 i_{DQ} = 11 \text{ [V]}.$$

Para verificar-se que de fato o MOSFET está operando na região saturada, basta checar

$$v_{DS} \geq v_{GS} - V_{th} \quad 11 \geq 5. \quad \checkmark$$

b) O circuito equivalente *de pequenos sinais* é usado para descrever a relação entre as contribuições de sinal às diferentes tensões e correntes do circuito. Inicialmente traça-se um circuito equivalente geral:



O circuito de pequenos sinais é obtido eliminando-se as fontes constantes e linearizando-se as características não lineares em torno dos valores das variáveis no ponto de operação. A característica a ser linearizada aqui é:

$$i_D = \frac{1}{2} \beta (v_{GS} - V_{th})^2 \approx \frac{1}{2} \beta (v_{GS} - V_{th})^2 \Big|_{v_{GSQ}} + \beta (v_{GS} - V_{th}) \Big|_{v_{GSQ}} \tilde{v}_{GS}.$$

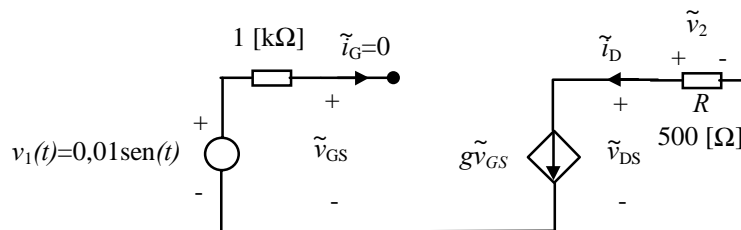
Assim

$$i_D \equiv i_{DQ} + \tilde{i}_D$$

onde

$$i_{DQ} = \frac{1}{2} \beta (v_{GS} - V_{th})^2 \Big|_{v_{GSQ}} = 8 \text{ [mA]} \quad \text{e} \quad \tilde{i}_D = \beta (v_{GS} - V_{th}) \Big|_{v_{GSQ}} \tilde{v}_{GS} = g \tilde{v}_{GS} \quad \text{com} \quad g = 3,2 \text{ [mS]}.$$

Desta forma o circuito equivalente de pequenos sinais é:



c) A partir do diagrama esquemático do circuito equivalente de pequenos sinais conclui-se que:

$$\tilde{v}_2(t) = -R g \tilde{v}_{GS} = -0,016 \text{ sen}(t)$$

Portanto o ganho de tensão de sinal vale -1,6.

Solução do exercício 3 - Capítulo 3

a) Para determinação do ponto de operação as fontes de sinal (no caso do sinal $v_1(t)$) são desconsideradas. Desta forma verifica-se pela LKT que $v_{GSQ} = 7$ [V], pois a corrente pela porta, i_G , é nula. Supondo que o MOSFET está operando na região saturada obtém-se:

$$i_{DQ} = \frac{1}{2} \beta (v_{GSQ} - V_{th})^2 = \frac{1}{2} 0,64 [7 - (-4)]^2 = 38,7 \text{ [mA]}$$

Desta forma obtém-se pela LKT e pela definição do resistor de 500 [Ω] que:

$$v_{DSQ} = 10 - 500 i_{DQ} = -9,4 \text{ [V]}.$$

Assim a hipótese de que o MOSFET está na região saturada não é válida, já que

$$v_{DSQ} \stackrel{?}{\geq} v_{GSQ} - V_{th} \quad -9,4 \stackrel{?}{\geq} 11. \quad \times$$

Refazendo os cálculos para o MOSFET na região linear, tem-se as duas equações:

$$i_{DQ} = \beta [(v_{GSQ} - V_{th}) v_{DSQ} - v_{DSQ}^2] \quad (1)$$

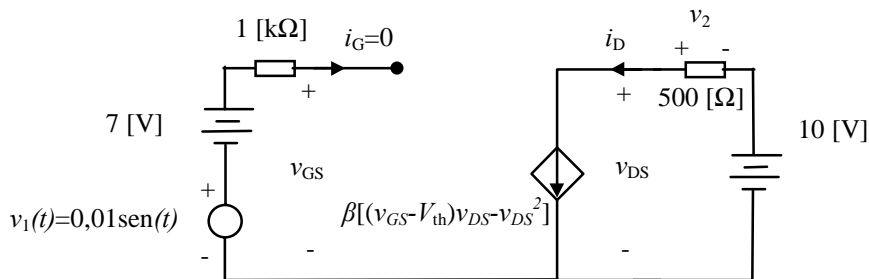
$$v_{DSQ} = 10 - 500 i_{DQ}. \quad (2)$$

Substituindo (1) em (2) e tomando $v_{GSQ} = 7$ [V], obtém-se:

$$v_{DSQ} = 10 - 3,52 v_{DSQ} + 0,32 v_{DSQ}^2 \quad \text{ou} \quad 10 - 4,52 v_{DSQ} + 0,32 v_{DSQ}^2 = 0$$

Para esta equação há duas raízes: 11,4 [V] e 2,7 [V]. A primeira solução não possui significado físico, pois corresponde a um i_{DQ} negativo. Portanto o ponto de operação é dado por: $i_{DQ} = 14,3$ [mA], $v_{GSQ} = 7$ [V], $v_{DSQ} = 2,7$ [V].

b) O circuito equivalente de pequenos sinais é usado para descrever a relação entre as contribuições de sinal às diferentes tensões e correntes do circuito. Inicialmente traça-se um circuito equivalente geral, onde a corrente fornecida pela fonte depende de duas variáveis, v_{GS} e v_{DS} .



O circuito de pequenos sinais é obtido eliminando-se as fontes constantes e linearizando-se as características não lineares em torno dos valores das variáveis no ponto de operação. A característica a ser linearizada aqui é:

$$i_D = \beta [(v_{GS} - V_{th}) v_{DS} - v_{DS}^2] \cong \left. \beta [(v_{GS} - V_{th}) v_{DS} - v_{DS}^2] \right|_{v_{GSQ}, v_{DSQ}} + \left. \beta (v_{GS} - V_{th}) \right|_{v_{GSQ}} \tilde{v}_{DS} + \left. \beta v_{DS} \right|_{v_{DSQ}} \tilde{v}_{GS} - 2 \left. \beta v_{DS} \right|_{v_{DSQ}} \tilde{v}_{DS}.$$

Assim

$$i_D \cong i_{DQ} + \tilde{i}_D$$

onde

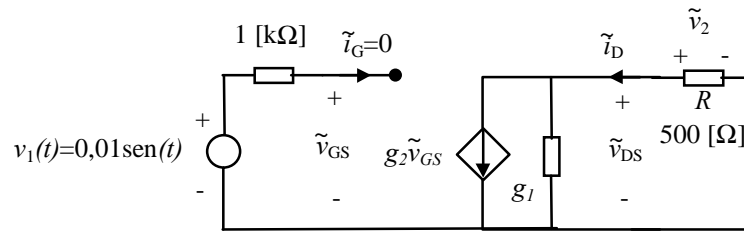
$$i_{DQ} = \left. \beta [(v_{GS} - V_{th}) v_{DS} - v_{DS}^2] \right|_{v_{GSQ}, v_{DSQ}} = 14,3 \text{ [mA]}$$

e

$$\tilde{i}_D = \left. \beta (v_{GS} - V_{th}) \right|_{v_{GSQ}} \tilde{v}_{DS} + \left. \beta v_{DS} \right|_{v_{DSQ}} \tilde{v}_{GS} - 2 \left. \beta v_{DS} \right|_{v_{DSQ}} \tilde{v}_{DS} \quad \tilde{v}_{DS} = g_1 \tilde{v}_{DS} + g_2 \tilde{v}_{GS}$$

com $g_1 = \beta(v_{GS} - V_{th})|_{v_{GSQ}} - 2\beta v_{DS}|_{v_{DSQ}} = 3,58[\text{mS}]$ e $g_2 = \beta v_{DS}|_{v_{DSQ}} = 1,73[\text{mS}]$

Desta forma o circuito equivalente de pequenos sinais é:



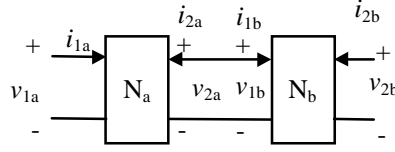
c) A partir do diagrama esquemático do circuito equivalente de pequenos sinais conclui-se que:

$$\tilde{v}_2(t) = -g_2 \tilde{v}_{GS} \left(\frac{1}{g_1 + 1/R} \right) = -0,0031 \text{sen}(t)$$

Portanto o ganho de tensão de sinal vale $-0,31$.

Solução do exercício 4 - Capítulo 3

Para iniciar a solução do problema, é conveniente adotar convenções de nomes para as tensões e correntes.



Para o conjunto de N_a e N_b da figura acima deseja-se um comportamento de fonte de corrente controlada por corrente, ou seja, pretende-se ter:

$$\begin{bmatrix} v_{1a} \\ i_{2b} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{1a} \\ v_{2b} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Procura-se uma representação para N_b para que a expressão (1) seja válida.

Dos dados do problema sabe-se que uma representação para N_a é:

$$\begin{bmatrix} i_{1a} \\ i_{2a} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & G \\ -G & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{1a} \\ v_{2a} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

As propriedades da interconexão de N_a e N_b são descritas pelas duas equações:

$$\begin{aligned} i_{1b} &= -i_{2a} \\ v_{1b} &= v_{2a} \end{aligned} \quad (3)$$

Compondo-se (2) e (3), conclui-se que para N_a conectado a N_b vale:

$$\begin{bmatrix} v_{1a} \\ i_{1a} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{G} & 0 \\ 0 & G \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{1b} \\ v_{1b} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Tentativamente pode-se escolher a seguinte representação genérica controlada por tensão para N_b .

$$\begin{bmatrix} i_{1b} \\ i_{2b} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{1b} \\ v_{2b} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Os parâmetros g_{11} , g_{12} , g_{21} e g_{22} precisam ser calculados.

Para obter o comportamento de fonte de corrente controlada por corrente para o conjunto de N_a e N_b , é necessário que:

- $v_{1a} \equiv 0$. Da expressão (4) sabe-se que isto é equivalente a ter $i_{1b} \equiv 0$. Conferindo (5) conclui-se que isto só é possível se $g_{11} = g_{12} = 0$.
- $i_{2b} = 2i_{1a}$. Da expressão (5) tem-se:

$$i_{2b} = g_{21}v_{1b} + g_{22}v_{2b} \stackrel{(4)}{=} g_{21}\left(\frac{1}{G}i_{1a}\right) + g_{22}v_{2b} \Rightarrow g_{22} = 0 \text{ e } g_{21} = 2G.$$

Assim a representação encontrada para N_b é:

$$\begin{bmatrix} i_{1b} \\ i_{2b} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 2G & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{1b} \\ v_{2b} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 4 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{1b} \\ v_{2b} \end{bmatrix}.$$

Conclui-se que N_b deve ser uma fonte de corrente controlada por tensão.