

Основи електронике

Колоквијум: 19. 11. 2011.

Трајање колоквијума: 120 минута

Одговорни наставник и асистент: Р. Ђурић и Г. Савић

1	2	3	4	5	Total

Презиме, име и број индекса: _____

1.

а) [1] Написати израз за струју полупроводничке диоде $i_D = f(v_D)$.

б) [1] Написати израз за струју дрејна NMOS транзистора са дугим каналом у засићењу $i_D = f(v_{GS}, v_{DS})$.

в) [1] Написати израз за струју дрејна NMOS транзистора са кратким каналом у засићењу $i_D = f(v_{GS}, v_{DS})$.

г) [1] Написати услове под којима NMOS транзистор са кратким каналом ради у засићењу.

д) [3] За директно поларисани асиметрично допирани p^+n спој нацртати дијаграме концентрација мањинских носилаца у функцији растојања од споја.

ђ) [3] За инверзно поларисани асиметрично допирани p^+n спој нацртати зависност капацитивности области просторног товара у функцији напона инверзне поларизације.

Решење:

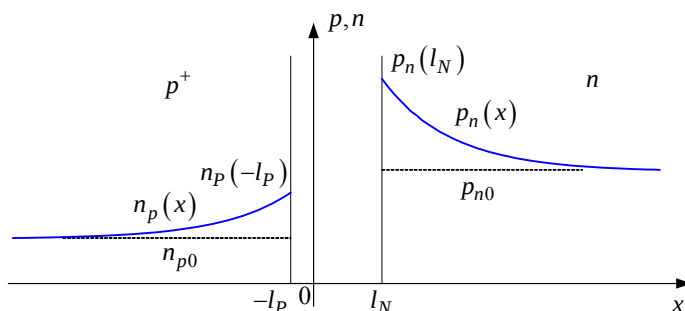
а) $i_D = I_s (e^{v_D/V_t} - 1)$

б) $i_D = \frac{\mu_n C_{ox} W}{2L} (v_{GS} - V_T)^2 (1 + \lambda v_{DS})$

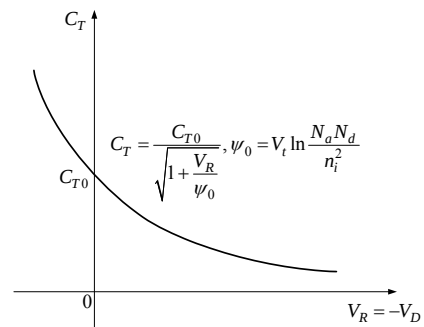
в) $i_D = \frac{\mu_n C_{ox} W}{2L} (v_{GS} - V_T)^2 (1 + \lambda v_{DS}) \frac{1}{1 + \frac{v_{GS} - V_T}{E_c L}}$

г) $v_{GS} \geq V_T, v_{DS} \geq V_{DSAT} = (v_{GS} - V_T) \parallel E_c L$

д)



ђ)



2.

а) [2] Укратко објаснити у чему је разлика између слабе инверзије, јаке инверзије и умерене инверзије у MOS транзистору.

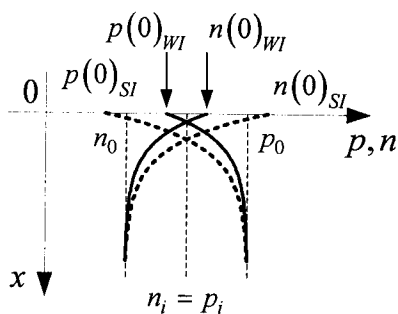
б) [3] Нацртати преносне карактеристике засићеног NMOS транзистора са дугим индукованим каналом $I_D = f(V_{GS})|_{V_{DS}=const}$.

в) [2] На истом дијаграму, при истом напону гејт-сорс, нацртати излазне карактеристике $I_D = f(V_{DS})|_{V_{GS}=const}$ транзистора са дугим и са кратким каналом.

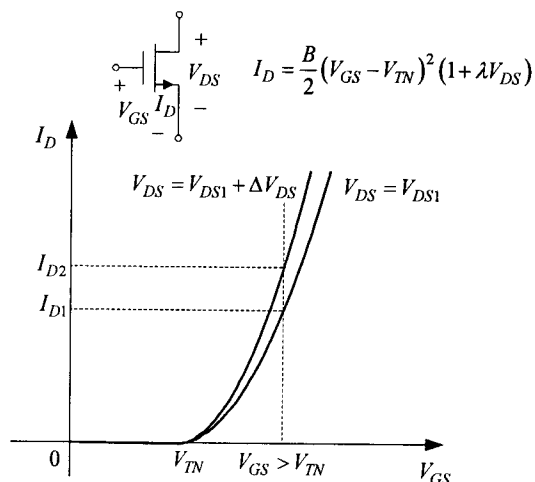
г) [3] Укратко објаснити DIBL ефекат. Написати израз за напон прага NMOS транзистора са кратким каналом у функцији напона сорс-основа и дрејн-сорс $V_T = f(V_{SB}, V_{DS})$.

Решење:

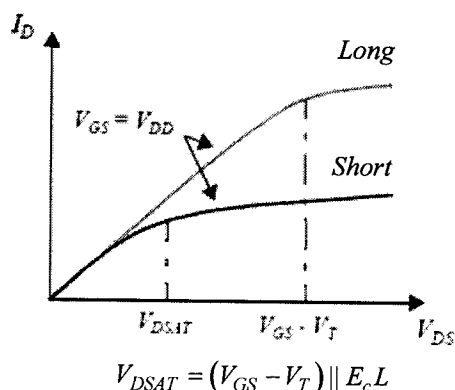
а) У области слабе инверзије концентрација електрона у основи NMOS транзистора је $n_i \leq n(0) \leq p_0$, док је у области јаке инверзије $n(0) > p_0$. Слободни носиоци се у области слабе инверзије, од сорса ка дрејну, доминантно крећу дифузијом, а у области јаке инверзије под дејством електричног поља. Умерена инверзија је у околини $n(0) = p_0$ и тада су дифузиона компонента струје и компонента струје услед електричног поља истог реда величине.



б)



в)



г) Промена потенцијалне баријере у основи под дејством напона дрејн-сорс (Drain Induced Barrier Lowering-DIBL), а дефинише се као

$$DIBL = \frac{\Delta V_{GS}}{\Delta V_{DS}} \Big|_{I_D = \text{const}}$$

Услед DIBL ефекта долази до промене напона прага, $V_T = V_{T0} - \gamma_d V_{DS}$, а због ефекта основе је

$$V_T = V_{T0} + \gamma \left(\sqrt{2\phi_F + V_{SB}} - \sqrt{2\phi_F} \right) - \gamma_d V_{DS}$$

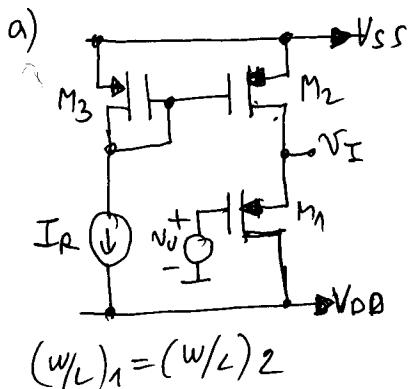
3.

а) [5] Нацртати појачавач са заједничким дрејном, директно спрегнутим побудним генератором и активним оптерећењем са простим струјним огледалом са PMOS транзисторима, поларисаним са две батерије за напајање. На излаз појачавача није прикључен потрошач.

б) [3] Ако је напон побудног генератора $v_u = V_m \sin(2\pi ft)$, нацртати временски облик напона на излазу појачавача.

в) [2] Поновити претходну тачку ако се референтна струја струјног огледала повећа два пута. Сматрати да су сви транзистори у засићењу.

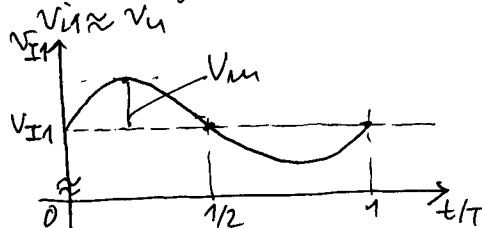
Решење:



$$\delta) v_{I1} = V_{I1} + v_{i1}$$

$$V_{I1} = V_{SG1} = |V_{TP}| + \sqrt{\frac{2I_R}{\mu_p C_{ox}(w/L)_1}}$$

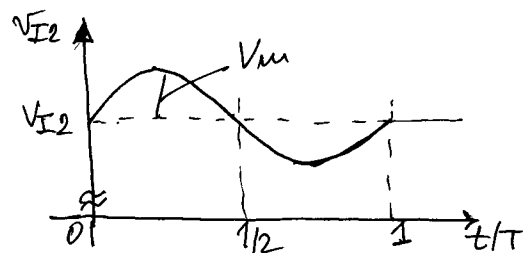
$$v_{i1} = \frac{g_{m1}(r_{ds1} || r_{ds2})}{1 + g_{m1}(r_{ds1} || r_{ds2})} v_u$$

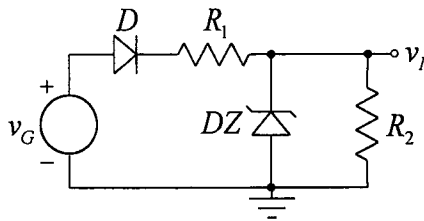


$$b) v_{I2} = V_{I2} + v_{i2}$$

$$V_{I2} = |V_{TP}| + \sqrt{\frac{4I_R}{\mu_p C_{ox}(w/L)_1}}$$

$$v_{i2} \approx v_u$$





4. У колу са слике диода D има пад напона при провођењу $V_D = 0,6V$, док су јој све остале карактеристике идеалне. Зенер диода је идеална са $V_Z = 3,2V$ и $V_D = 0,6V$, а познато је и $R_1 = R_2 = 1k\Omega$.

а) [7] Одредити и нацртати зависност $v_I = f(v_G)$, ако се улазни напон мења у границама $-10V \leq v_G \leq 10V$.

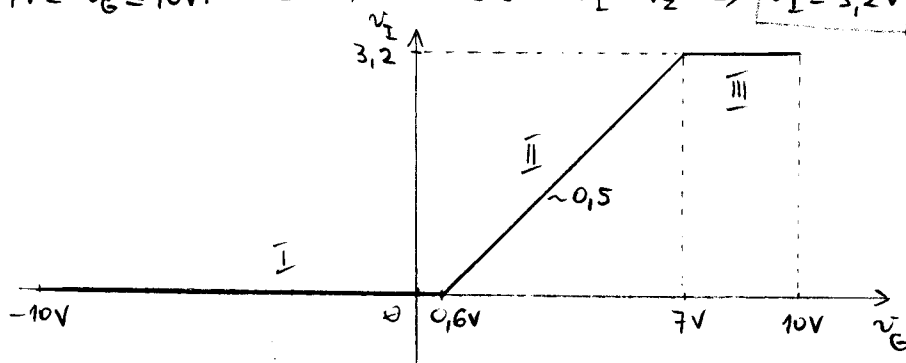
б) [3] Поновити претходну тачку ако $R_2 \rightarrow \infty$.

Решење:

а) 3А $-10V \leq v_G \leq 0,6V$: D-OFF, DZ-OFF $v_I = 0$ I

3А $0,6V \leq v_G \leq 7V$: D-ON, DZ-OFF $v_I = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (v_G - V_D) \Rightarrow v_I = 0,5v_G - 0,3$ II

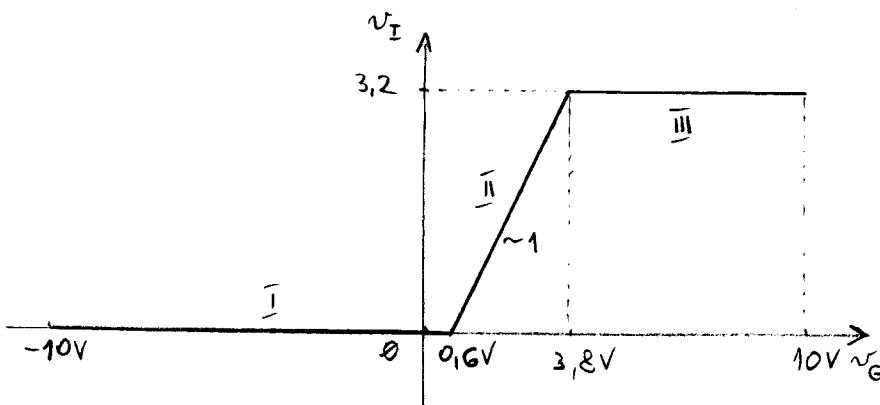
3А $7V \leq v_G \leq 10V$: D-ON, DZ-PROBOJ $v_I = V_Z \Rightarrow v_I = 3,2V$ III

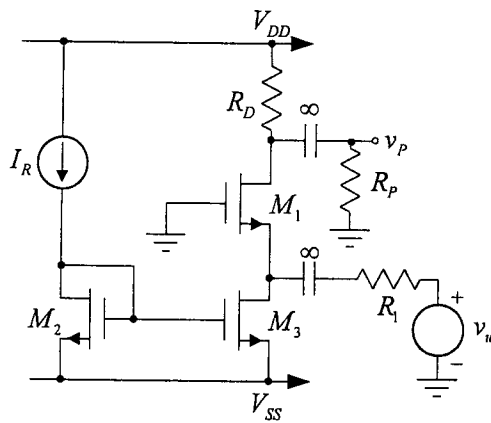


б) 3А $-10V \leq v_G \leq 0,6V$: D-OFF, DZ-OFF $v_I = 0$ I

3А $0,6V \leq v_G \leq 3,8V$: D-ON, DZ-OFF $v_I = v_G - V_D = v_G - 0,6V$ II

3А $3,8V \leq v_G \leq 10V$: D-ON, DZ-PROBOJ $v_I = 3,2V$ III





5. У појачавачу са слике параметри транзистора су:
 $V_T = 1\text{V}$, $B = \mu_n C_{ox} W / L = 1\text{mA/V}^2$ и $\lambda \rightarrow 0$, док је
 $V_{DD} = -V_{SS} = 10\text{V}$, $R_1 = 250\Omega$, $R_D = 10\text{k}\Omega$, $R_P = 30\text{k}\Omega$ и
 $I_R = 500\mu\text{A}$.

а) [2] Одредити једносмерне вредности напона на дрејну и сорсу транзистора M_1 .

б) [3] Одредити напонско појачање појачавача $a = v_p / v_u$.

в) [2] Одредити отпорности које виде побудни генератор и потрошач.

г) [3] Одредити максималну амплитуду симетричног неизобличеног напона на потрошачу.

Решење:

$$\text{а)} \quad V_D = V_{DD} - R_D I_R = 5\text{V} \quad V_{GS1} = V_T + \sqrt{\frac{2I_R}{B}} = 2\text{V} \Rightarrow V_S = -2\text{V}$$

$$\text{б)} \quad a = \frac{v_p}{v_u} = \frac{g_m (R_D \parallel R_P)}{1 + g_m R_1} = 6 \quad g_m = \sqrt{2BI_R} = 1\text{mS}$$

$$\text{в)} \quad R_{ul} = R_1 + \frac{1}{g_m} = 1,25\text{k}\Omega \quad R_{izl} = R_D = 10\text{k}\Omega$$

$$\text{г)} \quad v_{p\max} = I_R \cdot (R_D \parallel R_P) = 3,75\text{V}$$

$$-v_{p\min} = V_D - (-V_T) = V_{DD} - R_D I_R + V_T \Rightarrow v_{p\min} = -6\text{V}$$

$$\left. \begin{array}{l} v_{p\max} = \min \{ v_{p\max} - V_P; V_P - v_{p\min} \} \\ V_P = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow v_{p\max} = 3,75\text{V}$$