Електронски факултет у Нишу
Катедра за Електронику

Датум: 1. Октобар 2026.

Шифра: OEE3O01, OEM3O01, OEU3O02

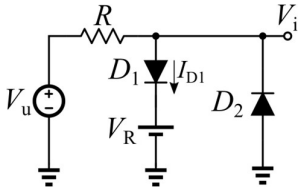
ОСНОВИ ЕЛЕКТРОНИКЕ

Задаци

1. За диодно коло са Сл. 1 одредити и нацртати зависност излазног напона V_i и струје диоде I_{D1} у функцији улазног напона V_u.

Познато је: R=2kΩ, V_R=3V и V_{D0}=0.6V.

Графике нацртати за опсег улазних напона од -10V до 10V.

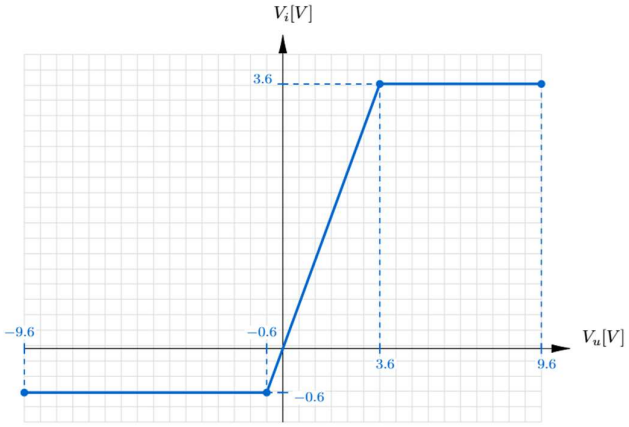


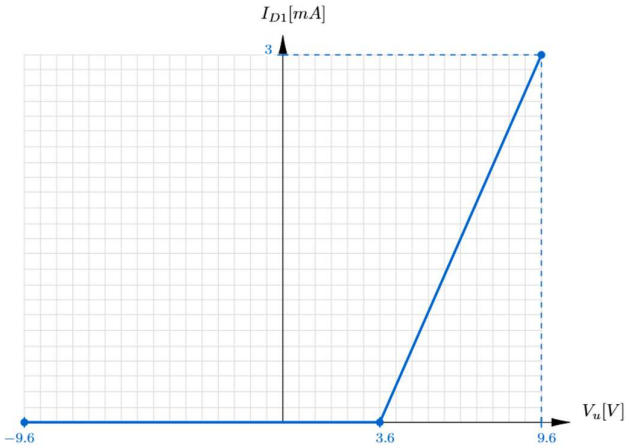
Сл. 1

Решење:

Могућа су три случаја:

1. За $V_u < -0.6\text{V}$ води само D_2 (10%). Тада је $V_i = -V_{D0} = -0.6\text{V}$ (5%) и $I_{D1} = 0$ (5%).
2. За $-0.6\text{V} \leq V_u < 3.6\text{V}$ обе диоде не воде (10%). Тада је $V_i = V_u$ (5%) и $I_{D1} = 0$ (5%).
3. За $V_u \geq 3.6\text{V}$ води само D_1 (10%). Тада је $V_i = V_{D0} + V_R = 3.6\text{V}$ (5%).
   Пошто D_2 не води, струја која протиче кроз диоду D_1 једнака је струји кроз отпорник R, па је $I_{D1} = \frac{V_u - (V_{D0}+V_R)}{R} = \frac{V_u}{2\text{k}\Omega} - 1.8\text{mA}$ (5%).





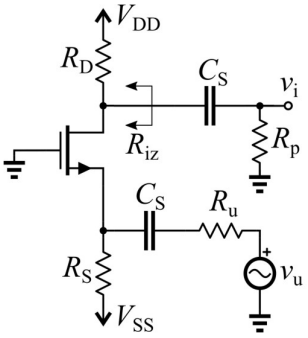
(20% по графику)

2. За појачавач са Сл. 2 одредити:
а) Параметре модела за транзистора мале сигнале – g_m и r_o
в) Напонско појачање – $A_n = v_i/v_u$
г) Излазну отпорност – R_{iz}

Познато је: R_D=4kΩ, R_S=2kΩ, R_p=10kΩ, R_u=50Ω, V_{DD}=9V и V_{SS}=-9V.

Параметри MOS транзистора су: V_{TH}=3V, A=0.5mA/V^2 и V_A=100V.

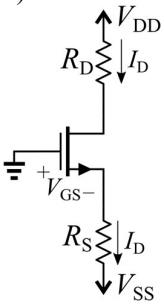
Сматрати да су капацитивности спрежних конднезатора (C_S) изузетно велике.



Сл. 2

Решење:

а)



Параметре за мале сигнале добијамо налажењем једносмерне струје дрејна I_D и овердрајв напона V_{OV} са шеме за DC анализу (10%). Уочимо једначину по II Кирхофовом закону за спој гејт-сорс и грану са R_S:

$$0 - V_{SS} = V_{GS} + R_S I_D = V_{GS} + R_S A(V_{GS} - V_{TH})^2 \quad (5\%)$$

Ова једначина се може упростити употребом смене $V_{OV} = V_{GS} - V_{TH}$:

$$R_S A V_{OV}^2 + V_{OV} + V_{TH} + V_{SS} = 0, \text{ тј. } V_{OV}^2[\text{V}] + V_{OV}[\text{V}] - 6 = 0$$

Добијају се следећа два решења:

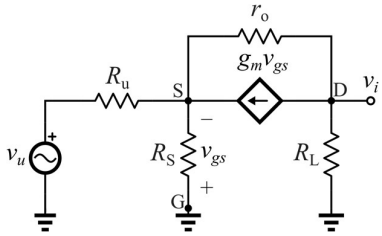
$$V_{OV} = \frac{-1 \pm \sqrt{1 - 4 \cdot 1 \cdot (-6)}}{2 \cdot 1}\text{V} = \frac{-1 \pm 5}{2}\text{V}$$

Пошто у режиму засићења мора да важи $V_{GS} > V_{TH}$, тј. $V_{OV} > 0$, решење са предзнаком „+“ је једино валидно и добија се $V_{OV} = 2\text{V}$ (5%) и $I_D = AV_{OV}^2 = 2\text{mA}$ (5%). Вредности параметара за мале сигнале добијамо применом познатих формула:

$$g_m = 2AV_{ov} = 2\text{mS} \ (5\%)$$
$$r_o = \frac{V_A}{I_D} = 50\text{k}\Omega \ (5\%)$$

Опционо можемо употребити и параметар $\mu = g_m r_o = 100$.

б) Напонско појачање се проналази са шеме за мале сигнале (10%). На излазу имамо паралелну везу R_p и R_D која се може заменити са $R_L = R_p \parallel R_D \approx 2.86\ \text{k}\Omega$.



Методом потенцијала чворова, добија се следећи систем једначина:

(5%) S: $\frac{v_s - v_u}{R_u} + \frac{v_s}{R_S} - g_m v_{gs} + \frac{v_s - v_i}{r_o} = 0$
(5%) D: $\frac{v_i - v_s}{r_o} + g_m v_{gs} + \frac{v_i}{R_L} = 0$
(5%) D. J.: $v_{gs} = 0 - v_s = -v_s$

Заменом $v_{gs} = -v_s$ у једначину за чвор D, а потом и сређивањем, систем једначина постаје:

$$\text{S: } \left(\frac{1}{R_u} + \frac{1}{R_S} + g_m + \frac{1}{r_o}\right) v_s - \frac{v_i}{r_o} = \frac{v_u}{R_u}$$
$$\text{D: } -\left(g_m + \frac{1}{r_o}\right) v_s + \left(\frac{1}{R_L} + \frac{1}{r_o}\right) v_i = 0$$

Из једначине за чвор D се добија:

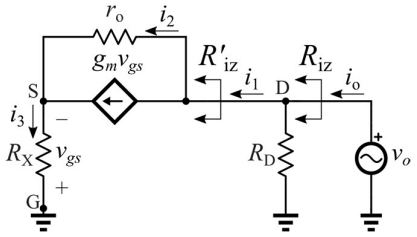
$$v_s = \frac{\frac{1}{R_L} + \frac{1}{r_o}}{g_m + \frac{1}{r_o}} v_i \approx 0.183 v_i \quad (5\%)$$

Убацивањем овог резултата у једначину за чвор S се добија:

$$\left(\frac{1}{R_u} + \frac{1}{R_S} + g_m + \frac{1}{r_o}\right) \cdot 0.183 v_i - \frac{v_i}{r_o} = \frac{v_u}{R_u}$$

$$A_n = \frac{v_i}{v_u} = \frac{\frac{1}{R_u}}{\left(\frac{1}{R_u} + \frac{1}{R_S} + g_m + \frac{1}{r_o}\right) \cdot 0.183 - \frac{1}{r_o}} \approx 4.88 \quad (5\%)$$

в) Шему за одређивање излазне отпорности добијамо тако што са шеме за мале сигнале анулирамо генератор улазног сигнала (заменимо га кратким спојем) и уместо потрошача R_p поставимо тест генератор v_o. Тада ће R_u и R_S бити везани паралелно и могу се заменити са $R_X = R_u \parallel R_S \approx 48.78\ \Omega$. Добија се следећа шема (10%) са које се може уочити да укупну излазну отпорност чине паралелна веза R_D и дела кола лево од прикључка дрејна чију ћемо еквивалентну отпорност означити са R'_iz. Њена вредност биће једнака односу v_o/i_1. Коло решавамо методом потенцијала чворова:



(5%) $\text{S: } \frac{v_s}{R_X} - g_m v_{gs} + \frac{v_s - v_o}{r_o} = \frac{v_s}{R_X} + g_m v_s + \frac{v_s - v_o}{r_o} = 0 \quad (v_{gs} = -v_s)$

Из дате једначине се добија:

$$v_o = r_o \left(\frac{1}{R_X} + g_m + \frac{1}{r_o}\right) v_s = \left(\frac{r_o}{R_X} + \mu + 1\right) v_s$$

Струју i_1 добијамо на следећи начин:

$$i_1 = i_2 + g_m v_{gs} = i_3 = \frac{v_s}{R_X} \quad (5\%)$$

Даље, налазимо R'_iz:

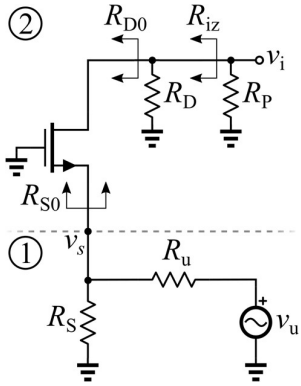
$$R'_{iz} = \frac{v_o}{i_1} = \frac{v_o}{v_s} \cdot \frac{v_s}{i_1} = \left(\frac{r_o}{R_X} + \mu + 1\right) \cdot R_X = r_o + (\mu + 1) R_X \approx 54.93\ \text{k}\Omega \ (5\%)$$

Коначно:

$$R_{iz} = R_D \parallel R'_{iz} \approx 3.73\ \text{k}\Omega \ (5\%)$$

Напомена: тачке б) и в) се могу решити и на следећи начин:

б) Појачавач се може поделити на следећа два степена (10% шема):



1) Разделник напона:

(10%) $R_{S0} = \frac{r_o + R_D \| R_p}{\mu + 1} \approx 523.36\ \Omega$

(10%) $\frac{v_s}{v_u} = \frac{R_S \| R_{S0}}{R_S \| R_{S0} + R_u} \approx 0.892$

2) Основни појачавач са заједничким гејтом:

(10%) $\frac{v_i}{v_s} = (\mu + 1)\frac{R_D \| R_p}{r_o + R_D \| R_p} = \frac{R_D \| R_p}{R_{S0}} \approx 5.465$

Укупно појачање: $A_n = \frac{v_i}{v_u} = \frac{v_i}{v_s} \cdot \frac{v_s}{v_u} = 5.465 \cdot 0.892 \approx 4.88$ (5%)

в)

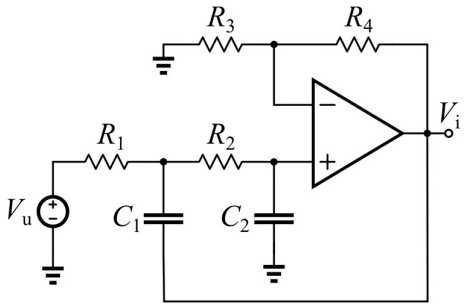
(10%) $R_{D0} = r_o + (\mu + 1)(R_S \parallel R_u) \approx 54.93\ \text{k}\Omega$

(10%) $R_{iz} = R_D \parallel R_{D0} \approx 3.73\ \text{k}\Omega$

3. За коло филтра са Сл. 3:
а) Одредити преносну функцију - $H(s)= V_i(s)/V_u(s)$
б) Одредити тип филтра (пропусник ниских, високих или опсега учестаности, итд). Образложити одговор.
в) Скицирати апроксимацију амплитудске и фазне карактеристике.

Познато је: R_1=2.5kΩ, R_2=40kΩ, R_3=20kΩ, R_4=180kΩ, и C_1=C_2=100nF.

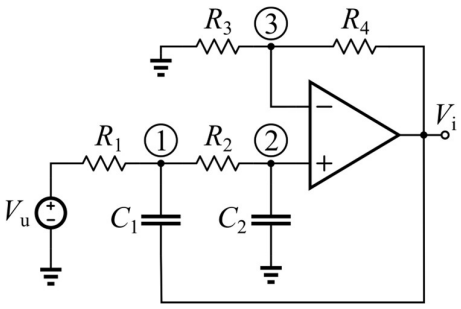
Операциони појачавачи су идеални.



Сл. 3

Решење:

а) За дате вредности елемената можемо усвојити: $R_1 = R$, $R_2 = 16R$, $C_1 = C_2 = C$, и $\tau = RC = 250$ μs, где је $R = 2.5$ kΩ и $C = 100$ nF.



Једначине по методу потенцијала чворова за ово коло су:

(10%) Чвор 1: $\frac{V_1-V_u}{R_1} + sC_1(V_1 - V_i) + \frac{V_1-V_2}{R_2} = 0$

(10%) Чвор 2: $\frac{V_2-V_1}{R_2} + sC_2V_2 = 0$

(10%) Чвор 3: $\frac{V_3}{R_3} + \frac{V_3-V_i}{R_4} = 0$

Због негативне повратне спреге важи:

(5%) $V_2 = V_3$

Након сређивања, систем једначина постаје:

Чвор 1: $\left(\frac{1}{R_1} + sC_1 + \frac{1}{R_2}\right)V_1 - \frac{1}{R_2}V_2 - sC_1V_i = \frac{1}{R_1}V_u$

Чвор 2: $-\frac{1}{R_2}V_1 + \left(\frac{1}{R_2} + sC_2\right)V_2 = 0$

Чвор 3: $\left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}\right)V_2 - \frac{1}{R_4}V_i = 0$

Из једначине за чвор 3 добија се веза између V_2 и V_i која гласи:

$$V_2 = \frac{R_3}{R_3 + R_4}V_i = \frac{1}{10}V_i \quad (5\%)$$

Убацивањем ове везе у једначину за чвор 2 и сређивањем добија се и веза између V_1 и V_i:

$$V_1 = R_2\left(\frac{1}{R_2} + sC_2\right)V_2 = (1 + sR_2C_2)\frac{V_i}{10} \quad (5\%)$$

На крају, сређивањем и убацивањем претходно добијених резултата у једначину за чвор 1, добија се преносна функција:

$$\left(\frac{1}{R_1} + sC_1 + \frac{1}{R_2}\right)(1 + sR_2C_2)\frac{V_i}{10} - \frac{V_i}{10R_2} - sC_1V_i = \frac{1}{R_1}V_u$$

$$H(s) = \frac{V_i}{V_u} = \frac{\frac{1}{R_1}}{\left(\frac{1}{R_1} + sC_1 + \frac{1}{R_2}\right)(1 + sR_2C_2)\frac{1}{10} - \frac{1}{10R_2} - sC_1} \cdot \frac{R_1}{R_1} \quad (5\%)$$

$$= \frac{1}{\left(1 + sR_1C_1 + \frac{R_1}{R_2}\right)(1 + sR_2C_2)\frac{1}{10} - \frac{R_1}{10R_2} - sR_1C_1}$$

$$= \frac{10}{1 + sR_1C_1 + \frac{R_1}{R_2} + sR_2C_2 + s^2R_1R_2C_1C_2 + sR_1C_2 - \frac{R_1}{R_2} - 10sR_1C_1}$$

$$= \frac{10}{s^2R_1R_2C_1C_2 + s\left((R_1 + R_2)C_2 - 9R_1C_1\right) + 1} \quad (5\%)$$

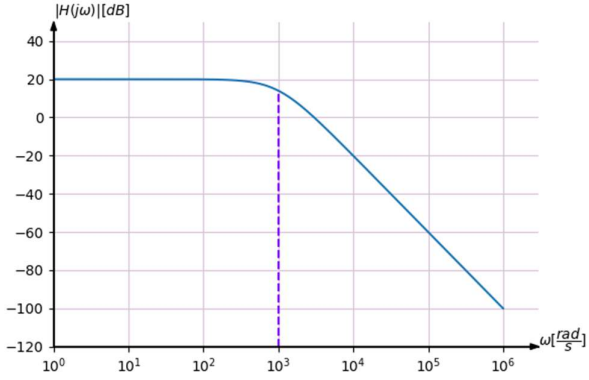
$$= \frac{10}{\frac{s^2}{10^6} + \frac{2s}{10^3} + 1}$$

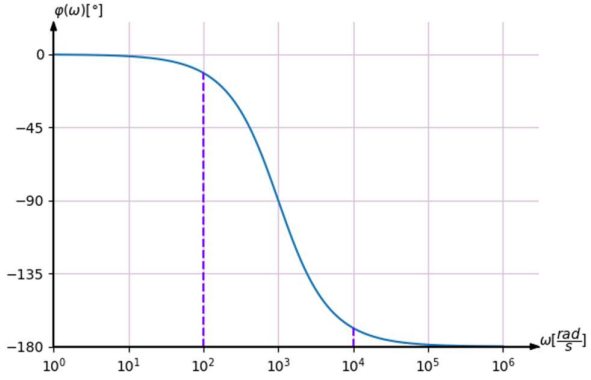
$$= \frac{10}{\left(\frac{s}{10^3} + 1\right)^2} \quad (5\%)$$

б) Облик преносне функције одговара **пропуснику ниских учестаности** другог реда – бројилац је константа, а именилац полином другог степена. (10%)

в) Преносна функција има само двоструки пол на фреквенцији 10^3 rad/s. и нема нула. Амплитудска карактеристика је константна до фреквенције пола и вредност појачања је 10 V/V, тј. 20 dB а након тога опада са нагибом од -40 dB по декади.

Фазна карактеристика почиње у 0° због позитивног предзнака и константна је до фреквенције која је за декаду нижа од фреквенције пола (10^2 rad/s). Даље, фазна карактеристика опада за 90° по декади до фреквенције за декаду веће од фреквенције пола (10^4 rad/s) и након те фреквенције биће ≈-180°.
(15% по графику)





Напомена: Приказани су графици који прецизно представљају фреквенцијске карактеристике, од студената се очекује да нацртају само асимптотске апроксимације.

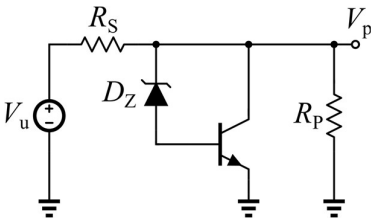
4. За стабилизатор напона са Сл. 4 одредити:
а) Једносмерну компоненту стабилисаног излазног напона – V_P
б) Параметре модела транзистора за мале сигнале - g_m и r_π,
в) Осетљивост на мале варијације улазног напона - $S=v_p/v_u$.

Познато је: V_U=12V, R_S=200Ω и R_P=1kΩ.

Параметри транзистора су: V_{BE}=0.8V, β=100 и $V_A \to \infty$V.

Параметри Зенер диоде су V_{Z0}=5.2V и r_z=20 Ω.

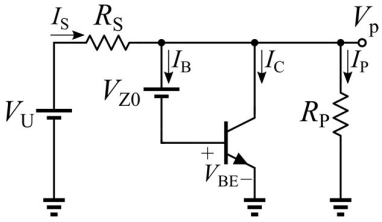
У DC анализи занемарити r_z.



Сл. 4

Решење:

Са шеме за DC анализу (10%) добија се:



а)

(5%) $V_P = V_{Z0} + V_{BE} = 6\text{V}$

б)

(5%) $I_S = \frac{V_U - V_P}{R_S} = 30\text{ mA}$

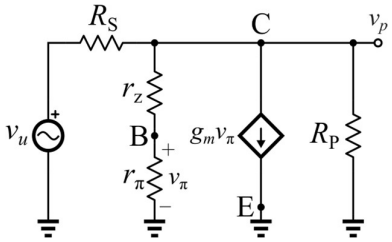
(5%) $I_P = \frac{V_P}{R_P} = 6\text{ mA}$

(10%) $\left.\begin{matrix} I_S = I_B + I_C + I_P \\ I_C = \beta I_B \end{matrix}\right\} \Longrightarrow I_S = (\beta+1)I_B + I_P \Longrightarrow I_B = \frac{I_S - I_P}{\beta+1} \approx 237.62\ \mu\text{A}$

(5%) $r_\pi = \frac{V_T}{I_B} \approx 105.21\ \Omega$

(5%) $g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{\beta I_B}{V_T} \approx 950.48\text{ mS}$

в) Једначине по методу потенцијала чворова за шему за АС анализу (10%) су следеће:



(15%) C: $\frac{v_p - v_u}{R_S} + \frac{v_p}{r_z + r_\pi} + g_m v_\pi + \frac{v_p}{R_P} = 0$

(15%) D.J.: $v_\pi = \frac{r_\pi}{r_z + r_\pi} v_p \approx 0.84 v_p$

Убацивањем резултата додатне једначине у једначину за чвор колектора, добија се (15%):

$$\frac{v_p}{R_S} + \frac{v_p}{r_z + r_\pi} + 0.84 g_m v_p + \frac{v_p}{R_P} = \frac{v_u}{R_S} \Longrightarrow S = \frac{v_p}{v_u} = \frac{\frac{1}{R_S}}{\frac{1}{R_S} + \frac{1}{r_z + r_\pi} + 0.84 g_m + \frac{1}{R_p}} \approx 6.155 \cdot 10^{-3}$$