

Основи електронике
ДОМАЋИ ЗАДАТАК 3

Алекса Марковић 2019/0248
Верзија за СИ ВИКИ

СИ ВЛКН

Поставка

1. На слици 1, приказан је појачавач са заједничким емитором са струјним извором за подешавање мирне радне тачке.

- a) [30] Одредити вредности свих отпорника тако да једносмерни напон колектора транзистора Q_2 буде $8V$, једносмерни напон емитора транзистора Q_2 буде $4V$, а једносмерна струја I_{C_2} буде $1mA$. Резултат верификовати симулацијом, а једносмерне потенцијале чворова и струје транзистора приказати сликом добијеном након симулационог одређивања мирне радне тачке.
- b) [10] Одредити параметре за мали сигнал g_m и r_π . Верификовати резултат увидом у излазни фајл симулатора чији релевантни део треба убацити у извештај.
- c) [10] Одредити вредности свих кондензатора у колу тако да модуо њихове импедансе на учестаности од значаја буде бар 100 пута мањи од отпорности у колу.
- d) [20+20+10] Одредити појачање за мали сигнал, улазну и излазну отпорност. Резултат верификовати симулацијом, а релевантне графике који доказују резултате убацити у извештај.

Пре свега, узимамо параметре транзистора:

$$V_{BE} = 0.7V \quad \beta = 100 \quad V_T = 25mV$$

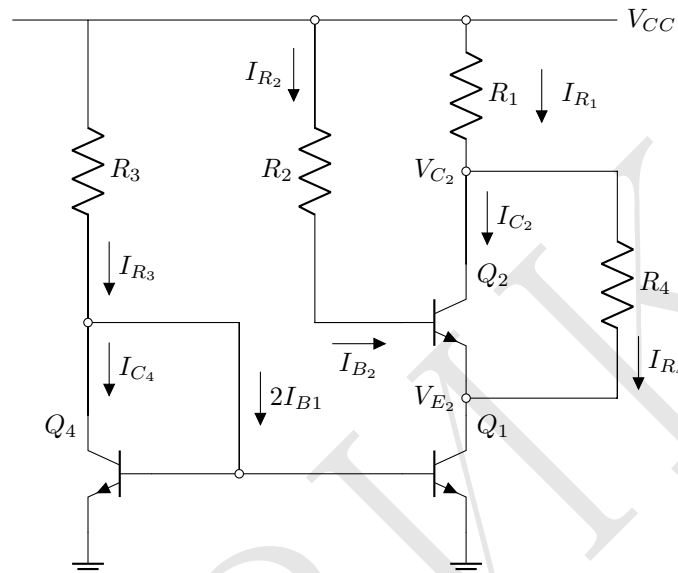
Сва три транзистора имају исте параметре. Подразумева се да су сви транзистори у ДАР-у.

Тачка а)

Познате су вредности:

$$V_{CC} = 12V \quad R_4 = 4k\Omega \quad V_{C_2} = 8V \quad V_{E_2} = 4V \quad I_{C_2} = 1mA$$

ДС шема



Налажење R_1

Дефинишемо струје I_{R_1} и I_{R_4} .

$$I_{R_1} = \frac{V_{CC} - V_{C_2}}{R_1}$$

$$I_{R_4} = \frac{V_{C_2} - V_{E_2}}{R_4}$$

Први Кирхофов закон:

$$I_{C_2} + I_{R_4} = I_{R_1}$$

Струја I_{R_4} се може одредити:

$$I_{R_4} = \frac{12V - 8V}{4k\Omega} = 1mA$$

Струја I_{C_2} је већ дата. Одавде:

$$I_{R_1} = I_{C_2} + I_{R_4} = 1mA + 1mA = 2mA$$

Коначно:

$$R_1 = \frac{V_{CC} - V_{C_2}}{I_{R_1}} = \frac{12V - 8V}{2mA} = 2k\Omega$$

Налажење R_2

Знајући V_{E_2} и V_{BE} , можемо наћи V_{B_2} :

$$V_{BE_2} = V_{B_2} - V_{E_2}$$

$$V_{B_2} = V_{BE} + V_{E_2}$$

Струја базе I_{B_2} је:

$$I_{B_2} = \frac{I_{C_2}}{\beta}$$

Одатле:

$$R_2 = \frac{V_{CC} - V_{B_2}}{I_{B_2}} = \frac{12V - 0.7V - 4V}{10\mu A} = 730k\Omega$$

Налажење R_3

Посматрамо струјно огледало. Пошто су транзистори Q_1 и Q_4 истих карактеристика, закључујемо да су им струје база и колектора исте:

$$I_{B_1} = I_{B_4}$$

$$I_{C_1} = I_{C_4}$$

Чвор V_{C_3} :

$$I_{R_3} = 2I_{B_4} + I_{C_4}$$

$$I_{R_3} = 2I_{B_4} + \beta I_{B_4} = (2 + \beta)I_{B_4}$$

Можемо наћи I_{B_4} тако што нађемо I_{C_1} . Чвор V_{E_2} :

$$I_{C_1} = I_{R_4} + I_{E_2} = I_{R_4} + (\beta + 1)I_{B_2} = 1mA + 101 \cdot \frac{1mA}{100} = 2.01mA$$

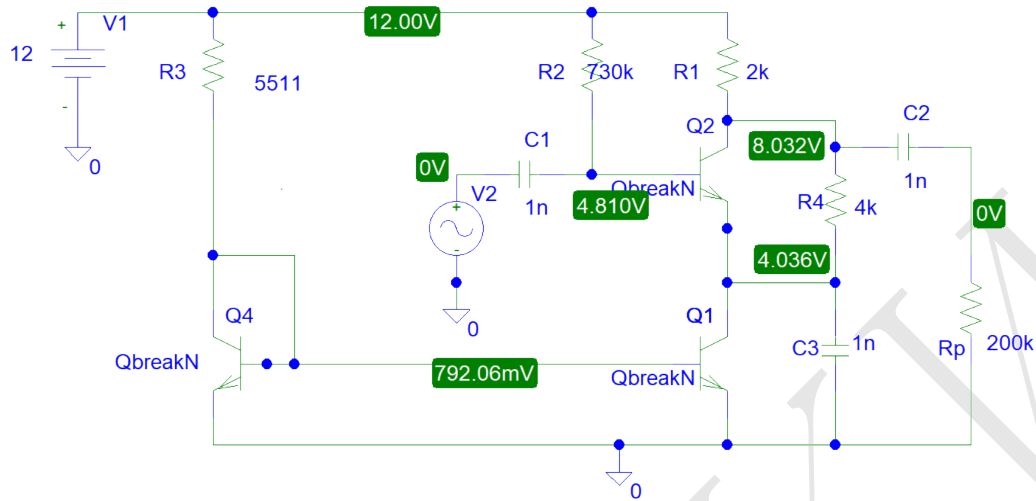
$$I_{B_1} = I_{B_4} = \frac{I_{C_1}}{\beta} = 20.1\mu A$$

На крају:

$$V_{CC} - R_3 I_{R_3} - V_{BE} = 0$$

$$R_3 = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_{R_3}} = \frac{12V - 0.7V}{102 \cdot 20.1\mu A} = 5511.65\Omega$$

Резултат симулације



Слика 1: Слика шеме из симулације.

Тачка b)

Одређивање параметара за мали сигнал

$$g_{m_2} = \frac{I_{C_2}}{V_T} = \frac{1mA}{25mV} = 0.04S$$

$$g_{m_1} = g_{m_4} = \frac{I_{C_1}}{V_T} = \frac{2.01mA}{25mV} = 0.0804S$$

$$r_{\pi_2} = \frac{\beta}{g_{m_2}} = 2500\Omega$$

$$r_{\pi_1} = r_{\pi_4} = \frac{\beta}{g_{m_1}} = 1243.78\Omega$$

Излазни фајл симулације

```

**** BIPOLAR JUNCTION TRANSISTORS

NAME      Q_Q4      Q_Q2      Q_Q1
MODEL     QbreakN  QbreakN  QbreakN
IB        1.99E-05  9.85E-06  1.99E-05
IC        1.99E-03  9.85E-04  1.99E-03
VBE       7.92E-01  7.74E-01  7.92E-01
VBC       0.00E+00 -3.22E+00 -3.24E+00
VCE       7.92E-01  4.00E+00  4.04E+00
  
```

BETADC	1.00E+02	1.00E+02	1.00E+02
GM	7.71E-02	3.81E-02	7.71E-02
RPI	1.30E+03	2.63E+03	1.30E+03
...			

Вредности су довољно приближно одређене.

Тачка с)

Одређивање капацитивности кондензатора

Као референтну отпорност у колу узећемо 2000Ω .

$$|Z_c| = \frac{2000\Omega}{100} = 20\Omega$$

Одатле:

$$|Z_c| = \frac{1}{\omega C}$$

$$C = \frac{1}{\omega |Z_c|}$$

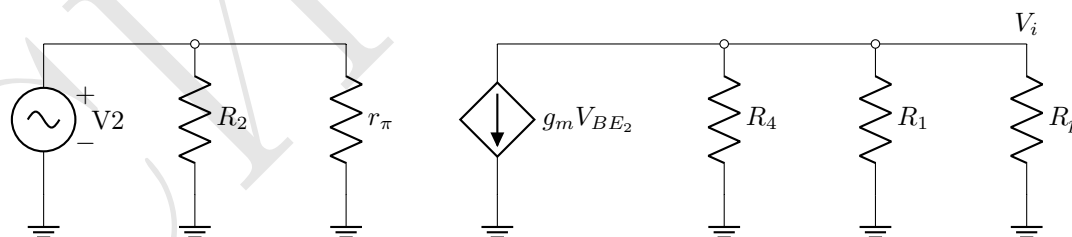
$$\omega = 2\pi f = 2\pi 1000 \text{ Hz} = 2000\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$C = \frac{1}{2000\pi \cdot 20} = 7.95\mu\text{F} \approx 8\mu\text{F}$$

Повећање капацитивности смањује импедансу и повећава карактеристике овог појачавача. АС анализа је рађена у теоретском случају да су капацитивности бесконачне, па ће се резултати симулације разликовати од рачунски добијених вредности.

Тачка d)

АС шема



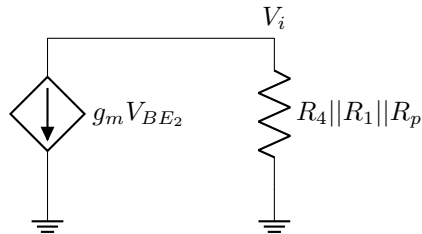
Струјно огледало нема никакву улогу у АС шеми (краткоспојено је кондензатором C_3 на масу), па сам га изоставио.

Напонско појачање

Очигледно је да:

$$V_{BE2} = V_2$$

На излазној страни, три отпорника можемо свести на један:

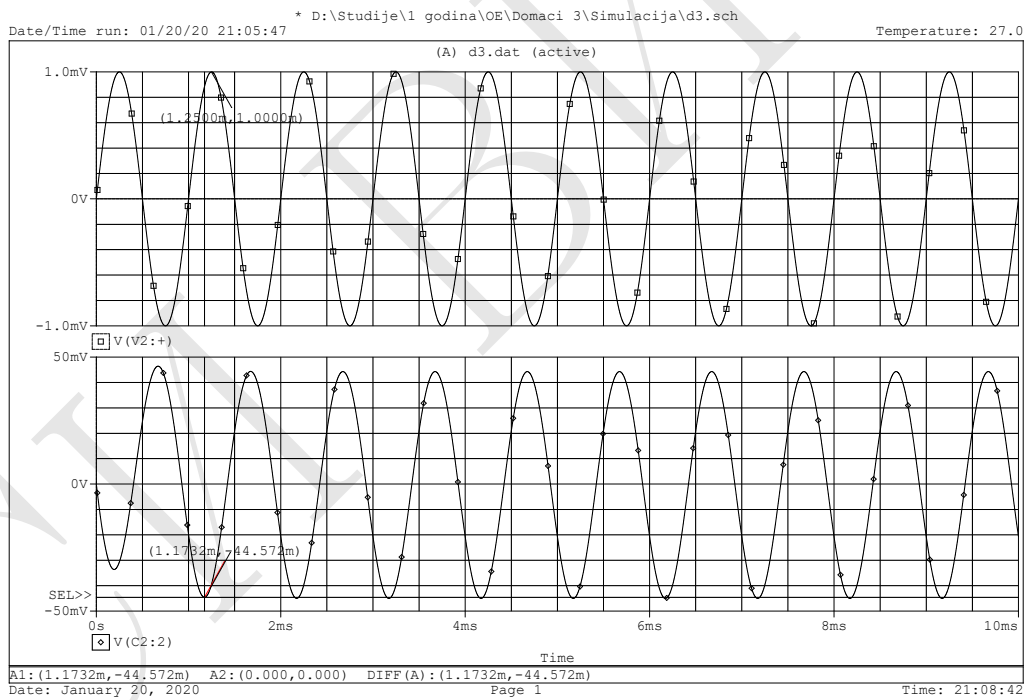


Одавде:

$$V_i = -g_m V_{BE2} (R_4 || R_1 || R_p) = -g_m V_2 (R_4 || R_1 || R_p)$$

Коначно:

$$a_v = -g_m (R_4 || R_1 || R_p) \approx -53$$



Слика 2: График улазног и излазног напона са означеном амплитудом.

Маркери су постављени на + терминалу V_2 и на горњем терминалу R_p . Резултат не одступа знатно од израчунате вредности, бољи резултат би се постигао уз кондензаторе веће капацитивности.

Струно појачање

Улазна струја се може наћи као:

$$I_{ul} = \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_2}{r_\pi} = \frac{V_2}{R_2 || r_\pi}$$

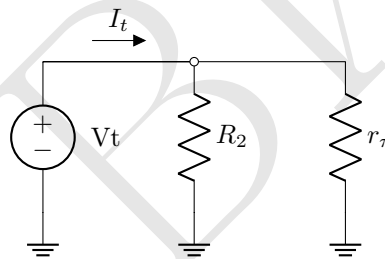
Излазна струја је:

$$\begin{aligned} I_{izl} &= -\frac{V_i}{R_4} - \frac{V_i}{R_1} - g_m V_2 = -g_m V_2 - \frac{V_i}{R_1 || R_4} = -g_m V_2 - \frac{-g_m (R_4 || R_1 || R_p) V_2}{R_1 || R_4} \\ &= g_m V_2 \left(\frac{R_4 || R_1 || R_p}{R_4 || R_1} - 1 \right) \end{aligned}$$

Струјно појачање је:

$$a_i = \frac{I_{izl}}{I_{ul}} = g_m (R_2 || r_\pi) \left(\frac{R_4 || R_1 || R_p}{R_4 || R_1} - 1 \right) \approx -0.66$$

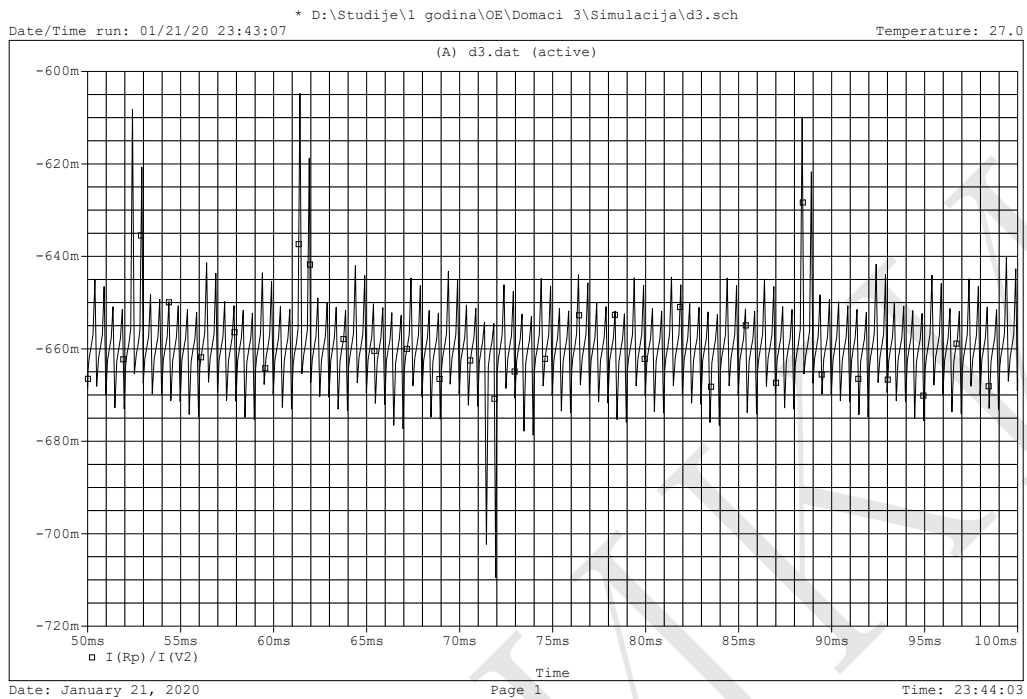
Улазна отпорност



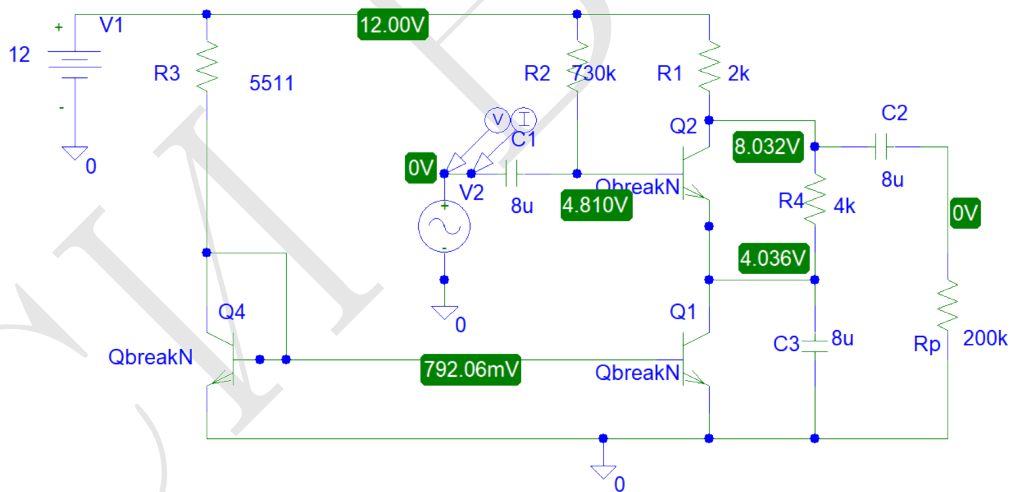
$$I_t = \frac{V_t}{R_2 || r_\pi}$$

$$R_{ul} = \frac{V_t}{I_t} = R_2 || r_\pi \approx 2491 \Omega$$

Било је неопходно оставити генератор V_1 тако да би појачавач исправно функционисао (да би транзистори ушли у ДАР, иначе су у закочењу). Израчуната вредност не одступа знатно од симулације.

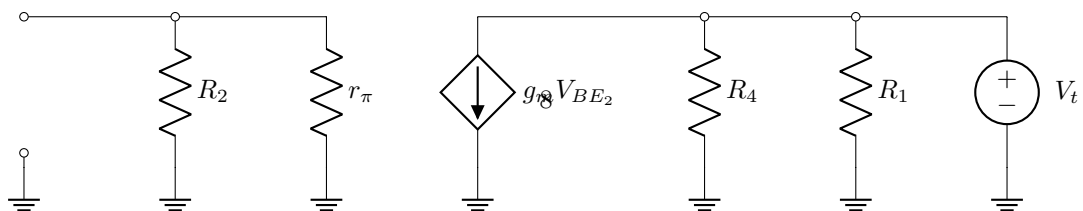


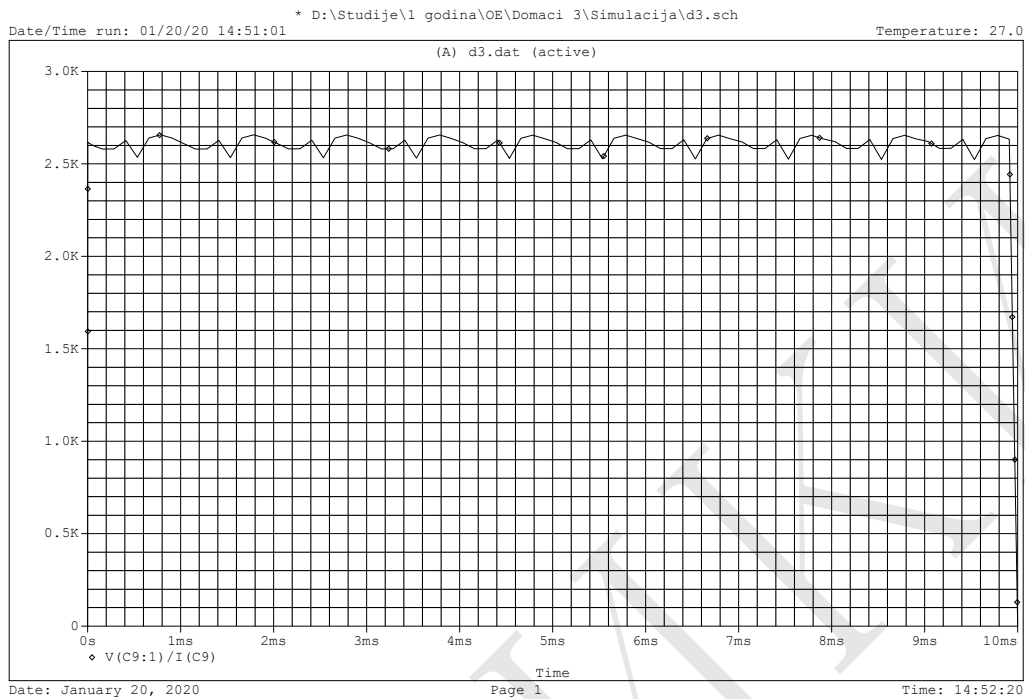
Слика 3: График струјног појачања.



Слика 4: Маркери у колу за улазну отпорност.

Изразна отпорност

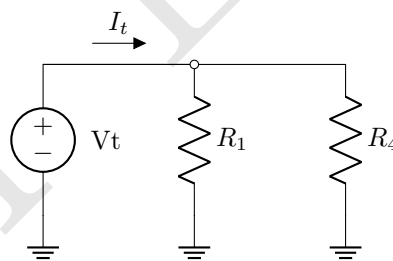




Слика 5: График улазне отпорности.

$$V_2 = 0 \implies V_{BE_2} = 0 \implies g_m V_{BE_2} = 0$$

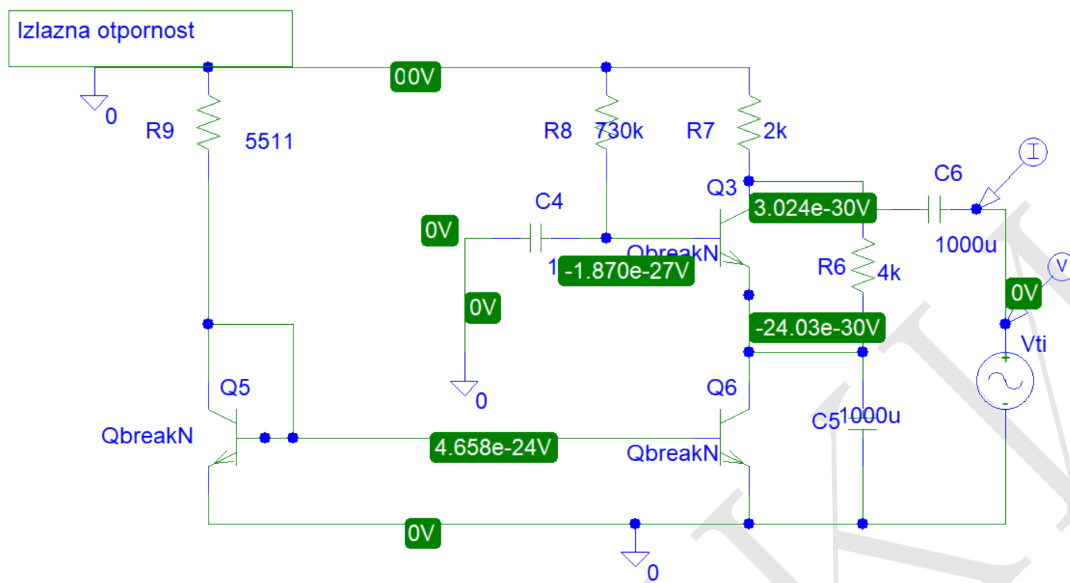
Упростићено:



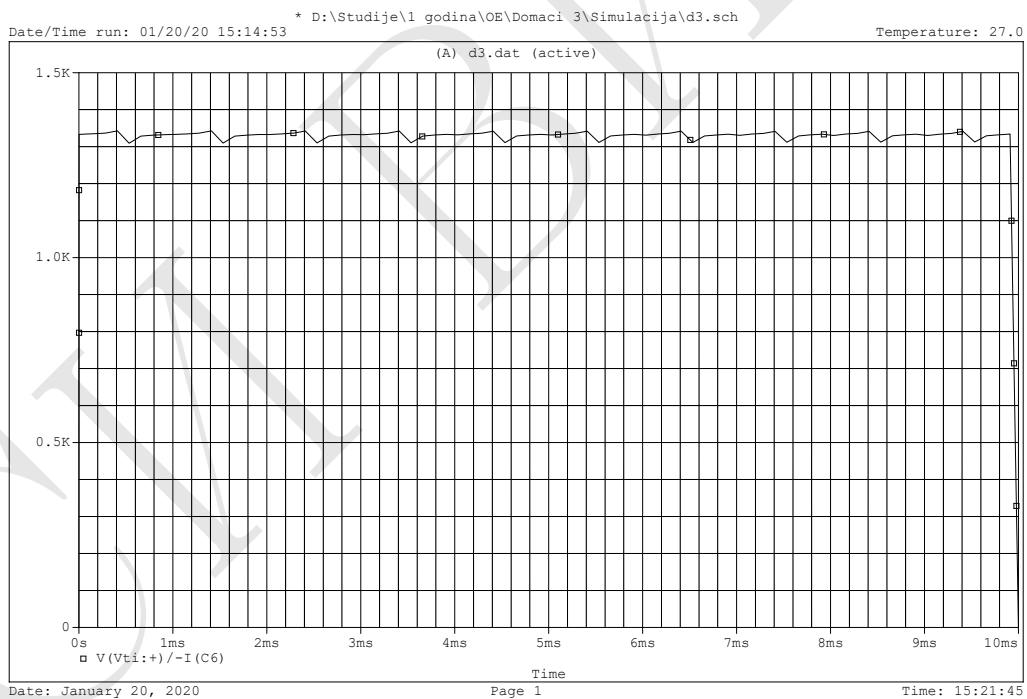
$$I_t = \frac{V_t}{R_1 || R_4}$$

$$R_{izl} = \frac{V_t}{I_t} = R_1 || R_4 \approx 1333.33\Omega$$

Израчуната вредност не одступа знатно од симулације.



Слика 6: Шема за излазну отпорност.



Слика 7: График излазне отпорности.