

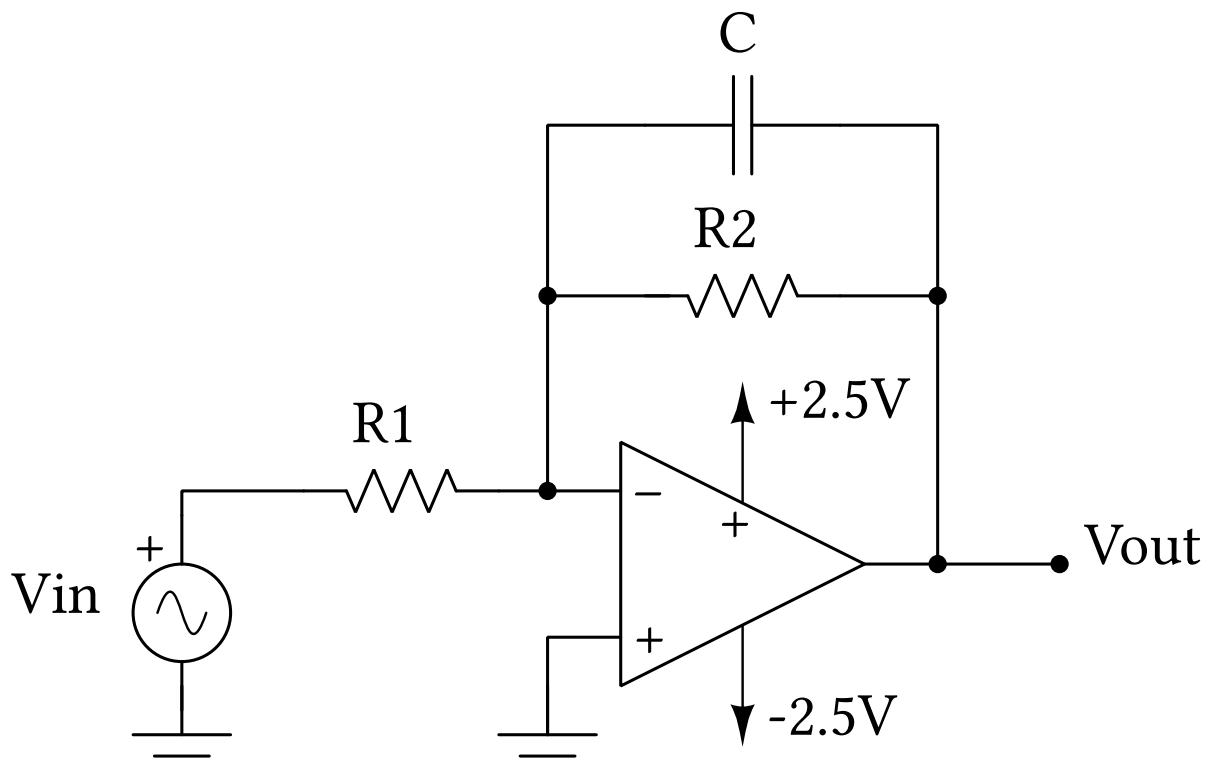
# Садржај

1. Пројекат из Теорије Електричних Кола .....	1
1.1. Задатак .....	1
1.2. Прорачун .....	1
1.3. Симулација .....	5
1.4. Мерење .....	6
Референце .....	7

## 1. Пројекат из Теорије Електричних Кола

### 1.1. Задатак

Задатак је анализирати, саставити и измерити одзив следећег кола.

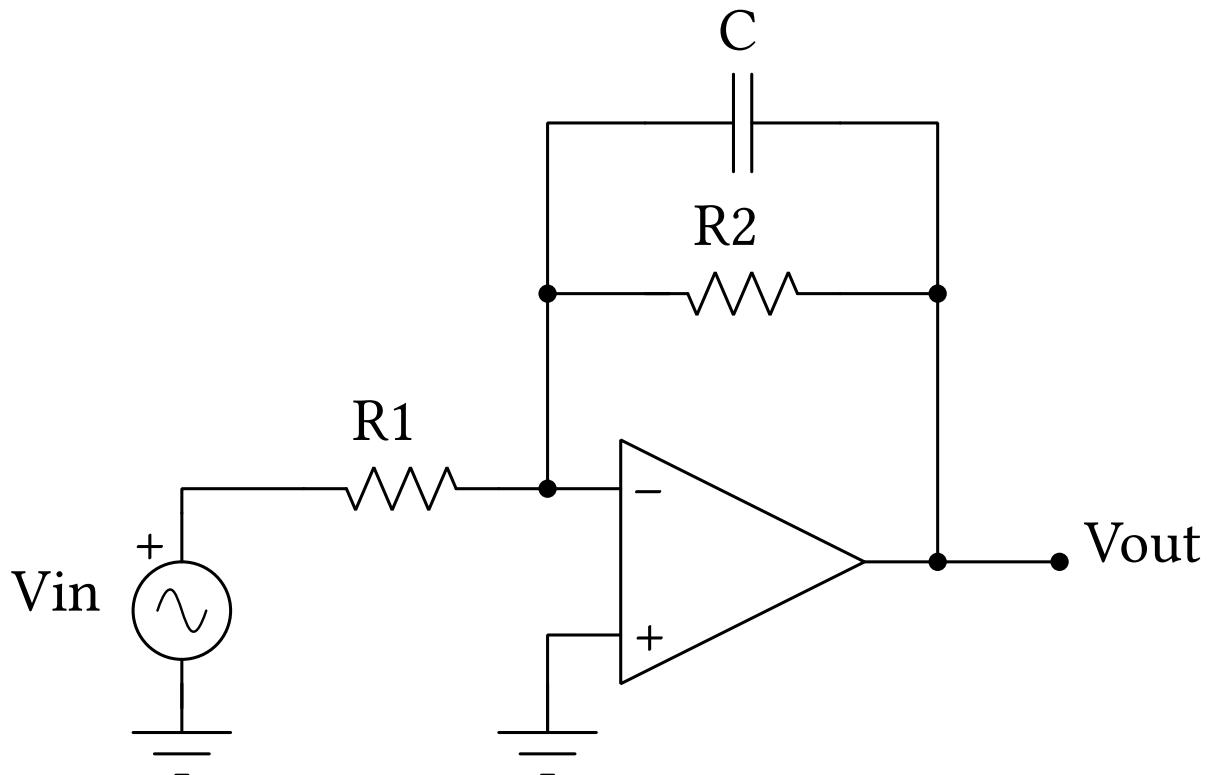


Слика 1: Шема електричног кола

Ово коло представља појачавачки инвертујући филтер ниских фреквенција[1]. У даљем раду ћemo одредити на који начин се подешавањем његових параметара може добити жељени ефекат.

### 1.2. Прорачун

За потребе прорачуна подразумеваћемо да је операциони појачавач идеалан, као на слици Слика 2.



Слика 2: Шема идеалног електричног кола

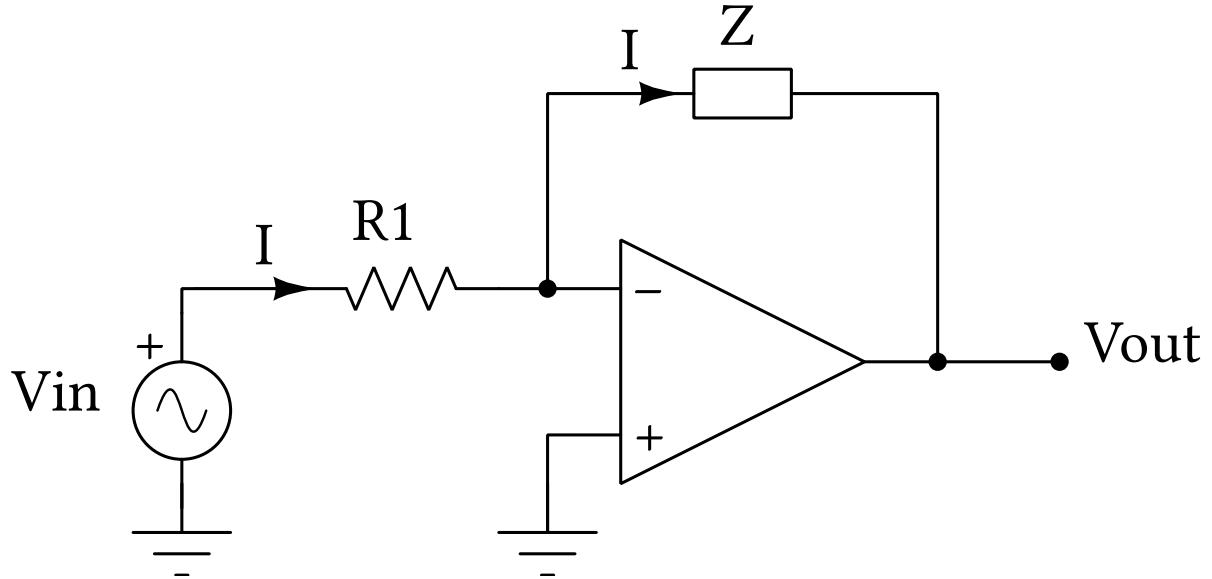
Дато коло ћемо анализирати за простопериодични улазни напонски сигнал  $V_{in} = A \sin(\omega t + \varphi)$ . Како је коло релативно ниске комплексности решићемо га ручно, у комплексном домену.

Желимо да изразимо излазни напон  $V_{out}$  преко улазног напона  $V_{in}$  и параметара кола  $R_1$ ,  $R_2$  и  $C$ .

Заменићемо паралелну везу отпорника  $R_2$  и кондензатора  $C$  еквивалентном импедансом  $Z$

$$Z = \frac{R_2 \cdot \frac{1}{j\omega C}}{R_2 + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{R_2}{1 + j\omega R_2 C} \quad (1)$$

као на слици Слика 3.



Слика 3: Трансформисано електрично коло

Сада је струја кроз  $R_1$  и  $Z$  једнака. Означимо је са  $I$ . Приметимо ли још да је чвор кола који одговара инвертујућем терминалу идеалног операционог појачавача једнак нули, можемо израчунати струју  $I$  примењујући КЗН као

$$I = \frac{V_{in}}{R_1} \quad (2)$$

Сада лако проналазимо излазни напон  $V_{out}$  као

$$\underline{V_{out}} = -\underline{ZI} = -\frac{R_2}{1 + j\omega R_2 C} \cdot \frac{\underline{V_{in}}}{R_1} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 + j\omega R_2 C} \cdot \underline{V_{in}} \quad (3)$$

Овај резултат можемо представити и у облику преносне функције  $H(\omega)$

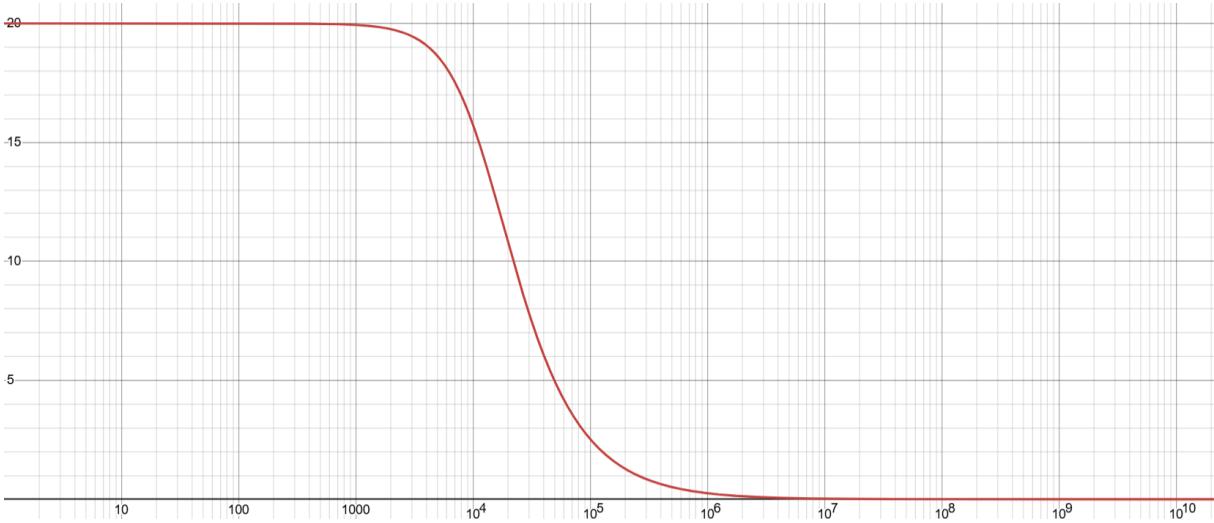
$$\underline{H}(\omega) = \frac{\underline{V_{out}}}{\underline{V_{in}}} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 + j\omega R_2 C} \quad (4)$$

Односно за ефективне вредности добијамо

$$H(\omega) = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega R_2 C)^2}} \quad (5)$$

График ове функције дат је на слици Слика 4, за вредности параметара  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 20 \text{ k}\Omega$  и  $C = 3.9 \text{ nF}$  (овиј избор параметара биће јаснији у даљем тексту). На графику се види нагли пад између  $10^3$  и  $10^4 \text{ Hz}$ .

**TODO:** овде прокоментарисати још инвертујућу карактеристику кола



Слика 4: График зависности напона од фреквенције у логаритамској скали за  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 20 \text{ k}\Omega$  и  $C = 3.9 \text{ nF}$

Приметимо да у изразу за  $H(\omega)$  фигурише однос  $\frac{R_2}{R_1}$ , односно што је већи овај однос то је и појачање веће. Други члан у овом изразу

$$\frac{1}{\sqrt{1 + (\omega R_2 C)^2}} \quad (6)$$

можемо учинити врло слабо зависним од  $\omega$  за мале вредности  $\omega$  узимајући кондензатор  $C$  вредности реда nF и отпорник  $R_2$  реда kΩ, јер је онда њихов производ реда  $\sim 10^{-6}$ .

Овиме смо показали да се погодним избором параметара у колу може диктирати појачање и истовремено постићи жељени ефекат филтрирања ниских фреквенција.

Дефинишемо граничну фреквенцију филтера  $f_{\text{cutoff}}$  као ону фреквенцију при којој је појачање снаге сигнала једнако половини максималног појачања, а како је снага пропорционална квадрату напона, то је:

$$H(2\pi f_{\text{cutoff}}) = \frac{1}{\sqrt{2}} H(0) \quad (7)$$

$$\frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi f_{\text{cutoff}} R_2 C)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (8)$$

$$\Rightarrow f_{\text{cutoff}} = \frac{1}{2\pi R_2 C} \quad (9)$$

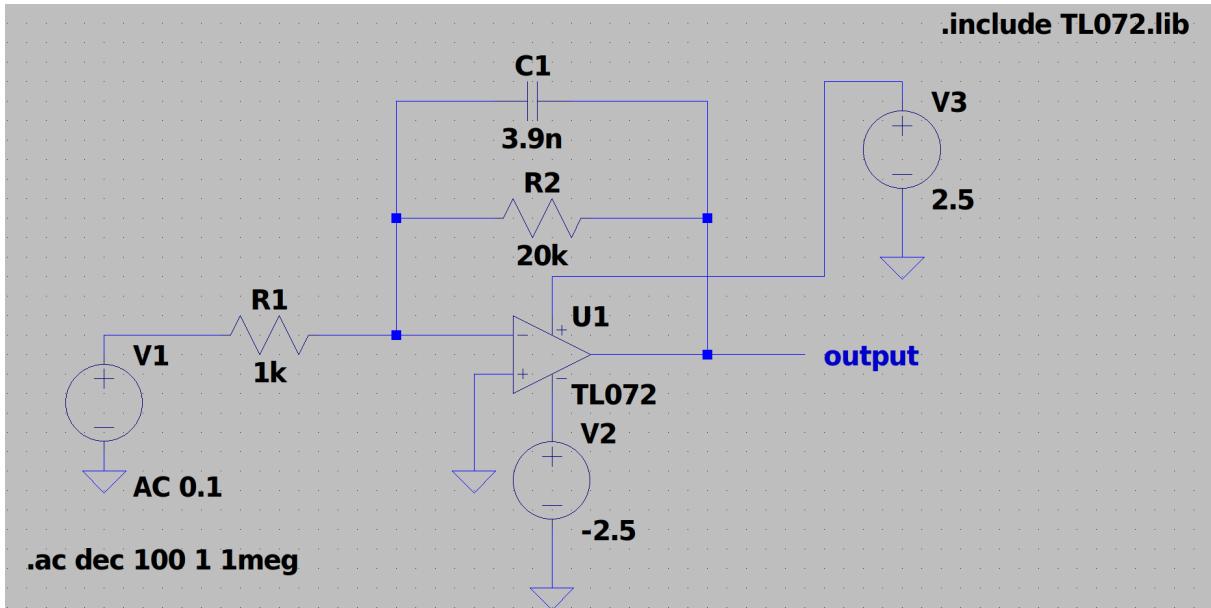
За претходно поменуте вредности  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 20 \text{ k}\Omega$  и  $C = 3.9 \text{ nF}$  добија се гранична фреквенција

$$f_{\text{cutoff}} = \frac{1}{2\pi \cdot 20 \text{ k}\Omega \cdot 3.9 \text{ nF}} \approx 2 \text{ kHz} \quad (10)$$

што одговара очитавању са графика Слика 4.

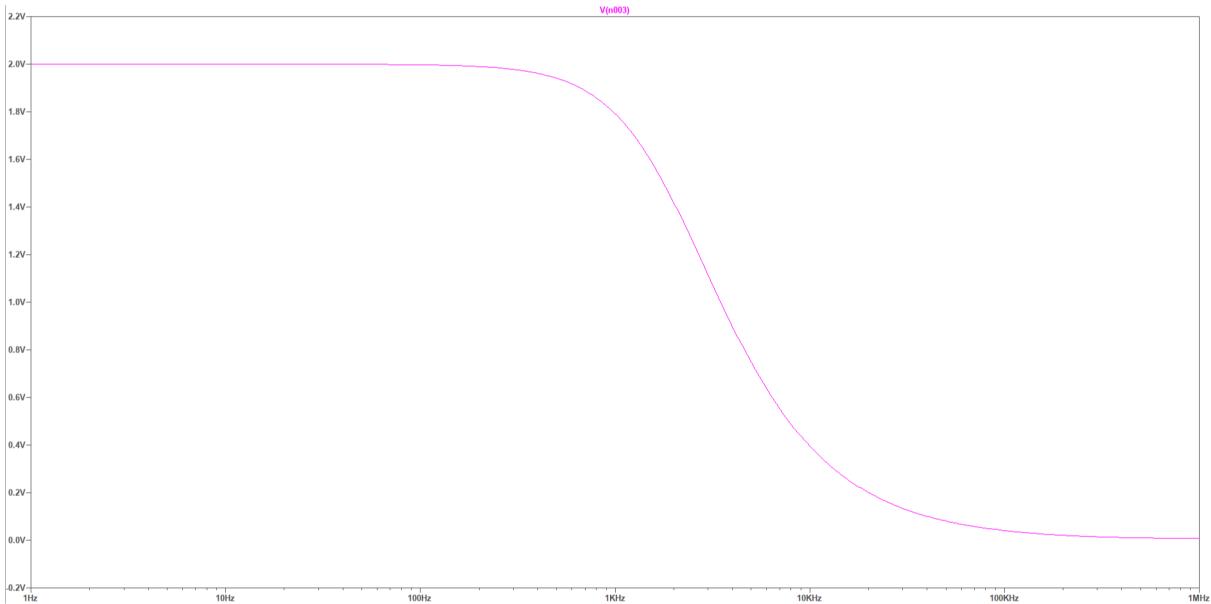
### 1.3. Симулација

За симулацију кола коришћен је програм LTSpice[2]. Увезен је модел TL072 са странице производача[3].



Слика 5: Шема електричног кола

**TODO:** прокоментарисати резултате



Слика 6: Појачање добијено симулацијом



Слика 7: TODO

#### 1.4. Мерење

**TODO:** у договору са професором направити одговарајуће табеле за резултате, приложити слике мерења и прокоментарисати резултате

Табела 1: Пример табеле

Volume	Parameters
$\pi h \frac{D^2 - d^2}{4}$ (11)	$h$ : height $D$ : outer radius $d$ : inner radius
$\frac{\sqrt{2}}{12} a^3$ (12)	$a$ : edge length

## Референце

- [1] „Analog Engineer’s Circuit Amplifiers Low-Pass, Filtered, Inverting Amplifier Circuit“. [На Интернету]. Available at: [https://www.ti.com/lit/an/sboa293a/sboa293a.pdf?ts=1766099574662&ref\\_url=https%253A%252F%252Fduckduckgo.com%252F](https://www.ti.com/lit/an/sboa293a/sboa293a.pdf?ts=1766099574662&ref_url=https%253A%252F%252Fduckduckgo.com%252F)
- [2] „LTSpice“. [На Интернету]. Available at: <https://www.analog.com/en/resources/design-tools-and-calculators/ltpice-simulator.html>
- [3] „TL072 Operational Amplifier Spec“. [На Интернету]. Available at: <https://www.ti.com/product/TL072#design-development>