

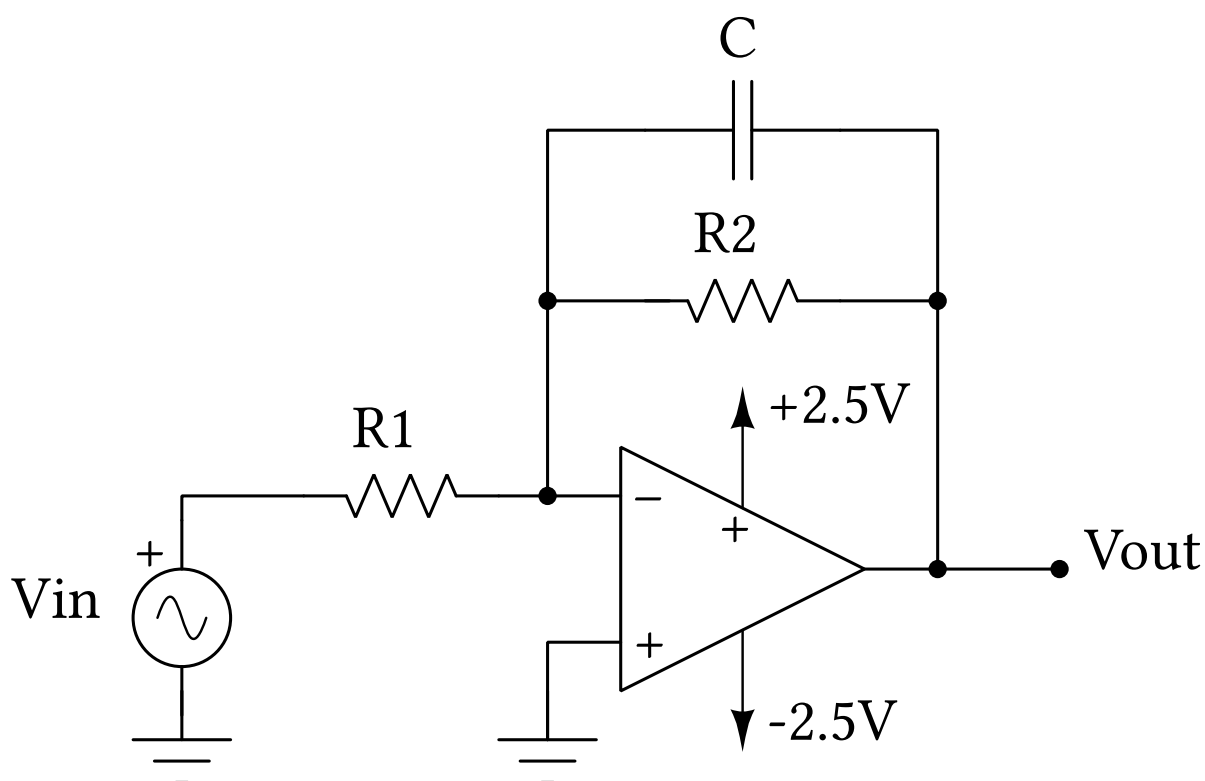
Садржај

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.

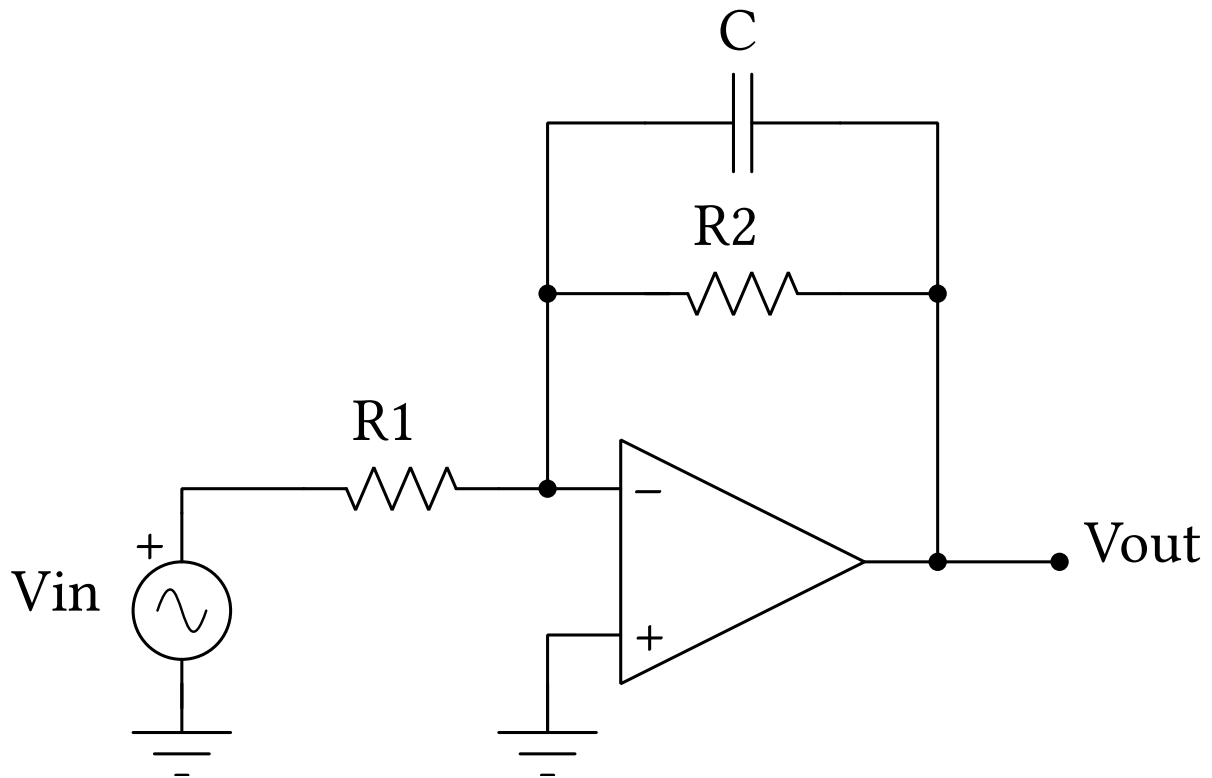


Слика 1: Шема електричног кола

Ово коло представља појачавачки инвертујући филтер ниских фреквенција[1]. У даљем раду ћемо 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

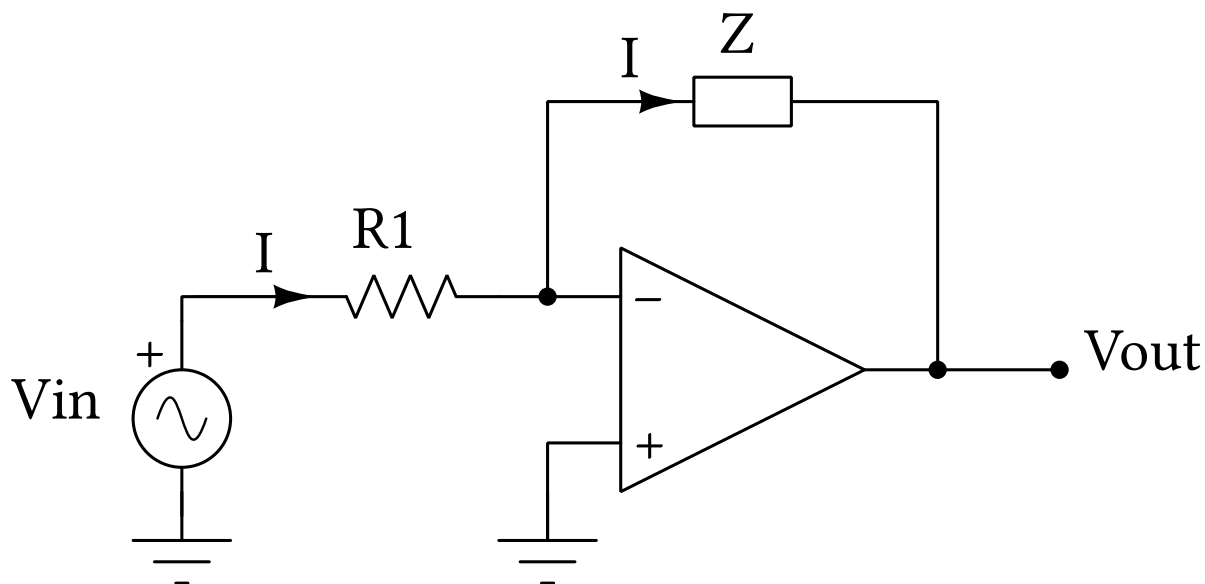
Дато коло ћемо анализирати за простопериодични улазни напонски сигнал $V_{in} = A \sin(\omega t + \varphi)$. Како је коло релативно ниске комплексности решићемо га ручно, у комплексном домену.

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

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

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

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

Сада лако проналазимо излазни напон V_{out} као

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

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

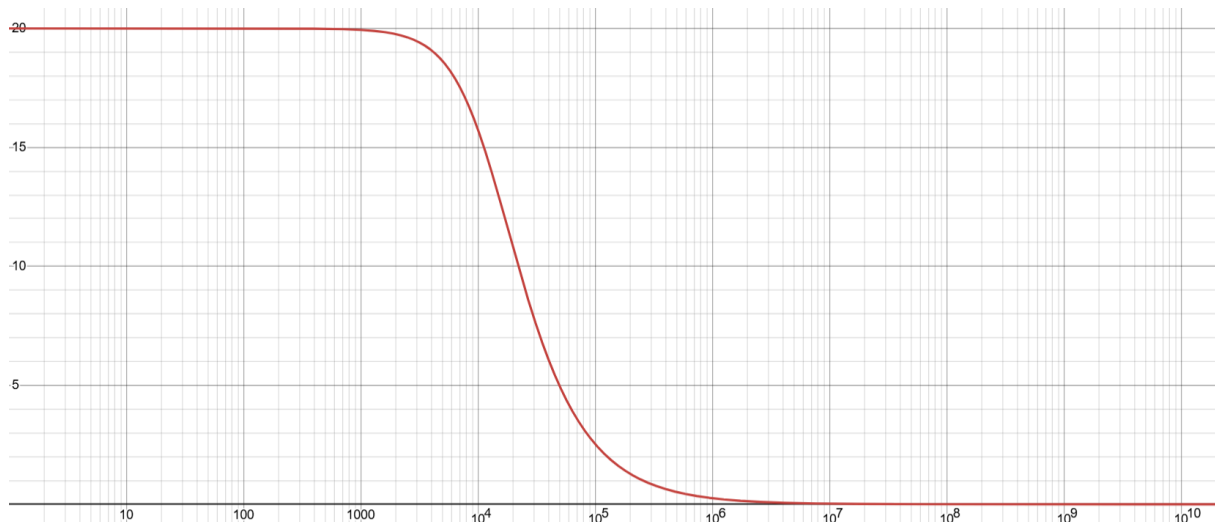
$$\underline{H}(\omega) = \frac{\underline{V_{out}}}{\underline{V_{in}}} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 + j\omega R_2 C} \quad (4)$$

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 $C = 3.9 \text{ nF}$ (овај избор параметара биће јаснији у даљем тексту). На графику се види нагли пад између 10^3 и 10^4 Hz .

TODO: овде прокоментарисати још инвертујућу карактеристику кола



Слика 4: График зависности напона од фреквенције у логаритамској скали за $R_1 = 1$ k Ω , $R_2 = 20$ k Ω и $C = 3.9$ 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 ω за мале вредности ω узимајући кондензатор C вредности реда nF и отпорник R_2 реда k Ω , 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_{cutoff} као ону фреквенцију при којој је појачање снаге сигнала једнако половини максималног појачања, а како је снага пропорционална квадрату напона, то је:

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

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

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

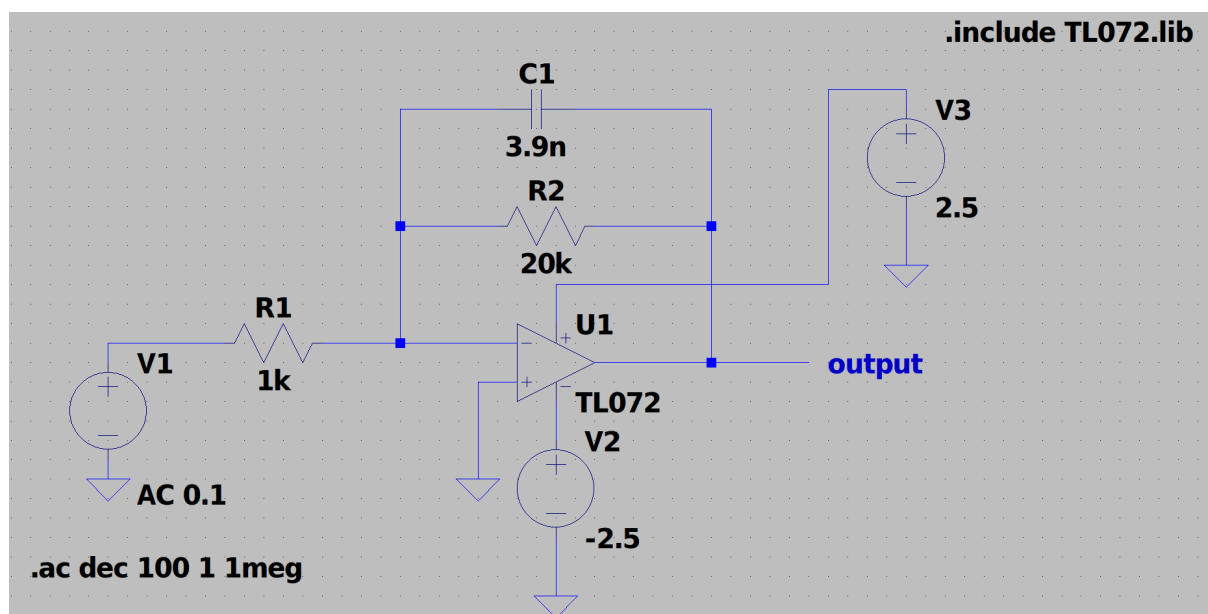
За претходно поменуте вредности $R_1 = 1$ k Ω , $R_2 = 20$ k Ω и $C = 3.9$ nF добија се гранична фреквенција

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

што одговара читавању са графика Слика 4.

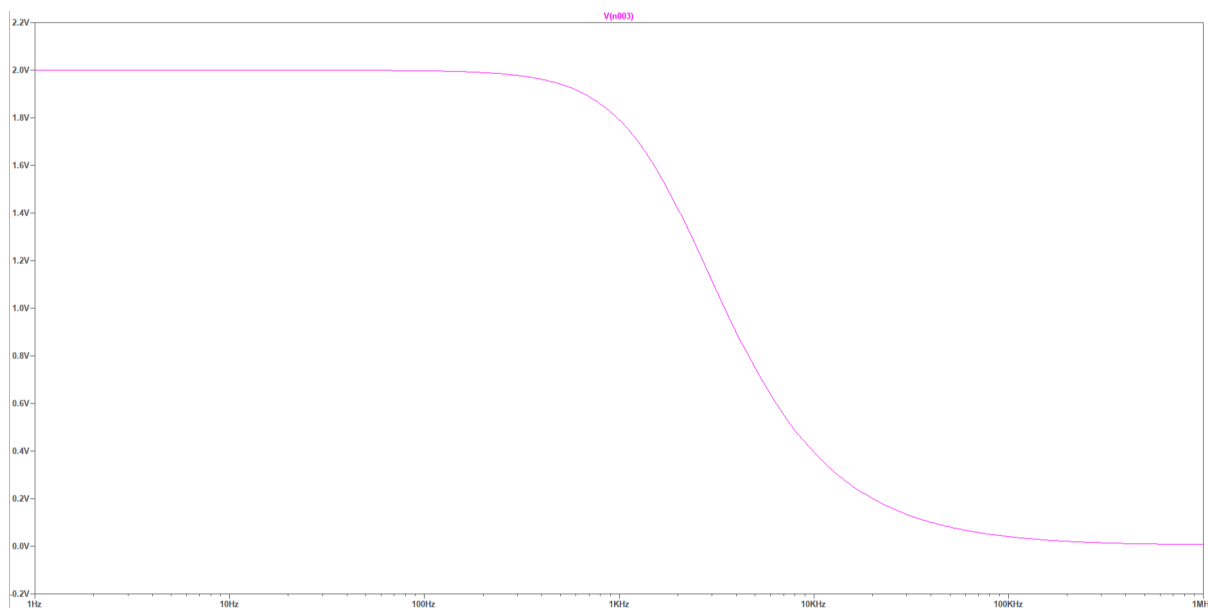
1.3. Симулација

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

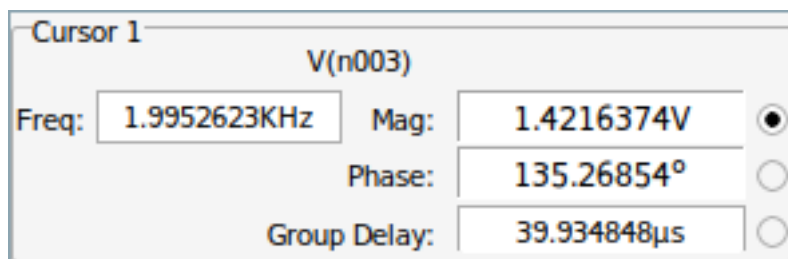


Слика 5: Шема електричног кола

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
$\pi h \frac{D^2 - d^2}{4} \quad (11)$	h : height D : outer radius d : inner radius
$\frac{\sqrt{2}}{12} a^3 \quad (12)$	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
- [2] „LTSpice“. [На Интернету]. Available at: <https://www.analog.com/en/resources/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html>
- [3] „TL072 Operational Amplifier Spec“. [На Интернету]. Available at: <https://www.ti.com/product/TL072#design-development>