

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

***Кафедра: КЕОА***

***Курс: “Аналогова електроніка - 1”***

**Лабораторна робота № 1**

**Тема:** Дослідження суматора напруг на резисторах, RC ланцюжка та RC фільтрів

***Виконав:***

***Ст. групи ДК-92***

***бригада №7***

***Бодак Єгор***

Київ 2020

## Лабораторна робота №1

**Тема:** “Дослідження суматора напруг на резисторах, RC ланцюжка та RC фільтрів”

### 1.1. Практичне застосування досліджуваних схем

*Суматор напруг на резисторах* не є дуже розповсюдженою схемою, але це гарна схема яка має ефектний результат роботи та дозволяє одержати практику користування макетною платою і згадати методи розрахунку електричних кіл з джерелами напруги і резисторами. Суматор напруг можна використовувати у якості найпростішого мікшера для додавання довільних електричних сигналів у вигляді напруг. А можна на базі суматора напруг створити примітивний калькулятор для додавання і віднімання чисел (якщо поставити у відповідність кожному числу певну напругу). Числа на вході можна задавати за допомогою регульованих джерел напруги, а результат зчитувати за допомогою вольтметра.

*RC ланцюжки* дуже широко використовуються в електроніці, оскільки обумовлюють затримки розповсюдження напруг через схему (напруга змінюється не мomentально, а лише після заряду/розряду ємності, для чого необхідний час, що і обумовлює затримку). Вихід будь якої лінійної схеми можна замінити моделлю у вигляді джерела напруги з послідовно підключеним до нього вихідним опором схеми. Вхід будь якої схеми має вхідну ємність. З'єднувальні провідники на друкованій платі також мають певну ємність. Якщо підключити вихід однієї схеми до входу іншої схеми, одержимо RC ланцюжок і напруга на вході другої схеми буде змінюватись не мomentально, а у міру заряду-розряду вхідної ємності. Зокрема RC ланцюжки визначають затримку розповсюдження сигналу всередині мікросхем і врешті решт максимально допустиму тактову частоту. Також RC ланцюжок можна застосовувати для автоматичного зкидання (ресету) цифрових схем (наприклад, мікроконтролерів).

*RC фільтри* є найпростішим типом фільтрів. А фільтри в електроніці використовуються дуже широко. Наприклад для прибирання з аналогового сигналу шумів та наводок, на вході аналого-цифрового перетворювача

## ХІД РОБОТИ

### 1.2. Завдання на лабораторну роботу

#### 1. Дослідження суматора напруг на резисторах

1.1. Побудувати суматор напруг на 2 входи з резисторів однакових номіналів (рис.1.1). Для гарного узгодження за напругою та з метою зниження струму, що протікатиме у колі, номінали резисторів необхідно обирати порядку кількох десятків КОм (50-100 КОм);

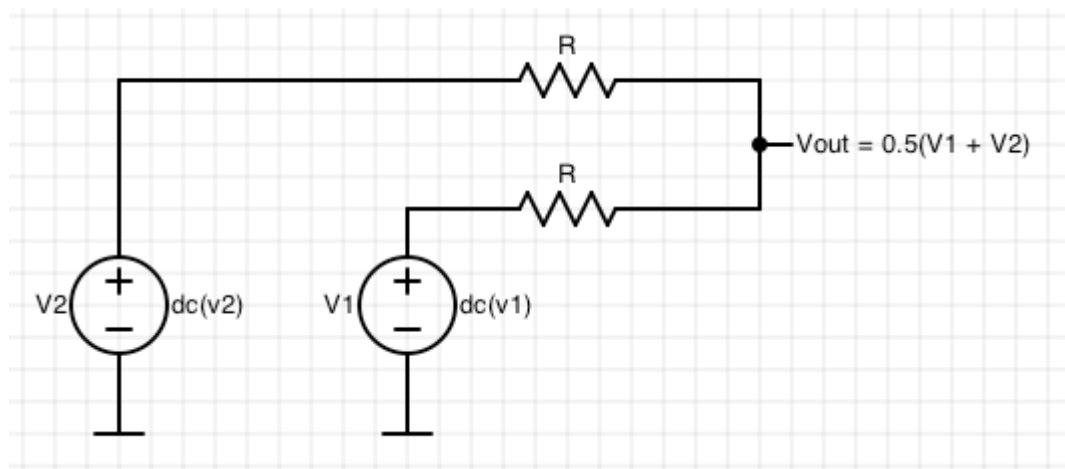


Рис.1.1. Схема суматора напруг на резисторах

#### Резистори по 10кОм

1.2. Подати на вхід дві довільні напруги з джерел постійної напруги та за допомогою вольтметра виміряти напругу на виході суматора. Порівняти одержане значення з теоретичним результатом  $U_{вих} = (U_1 + U_2)/2$ . Результати вимірювань занести до протоколу.

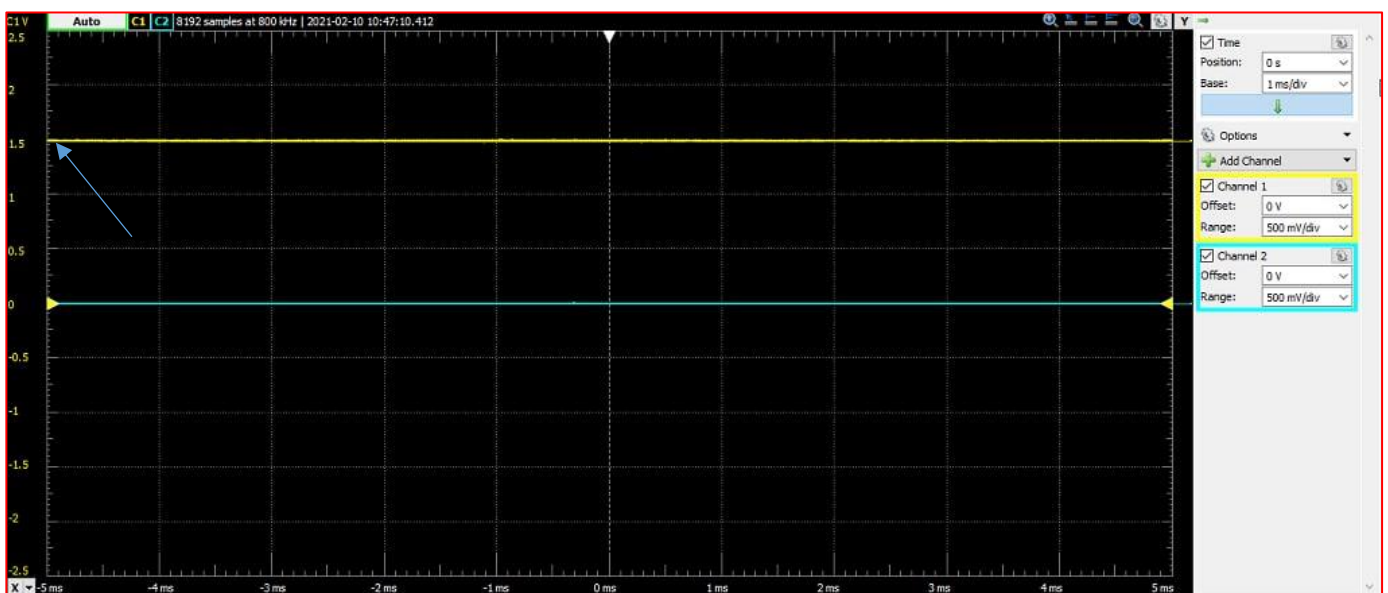
На вхід подаємо напруги 1В та 2В, на виході маємо отримати:

$$(1В + 2В) / 2 = 1.5 В$$

Перевіряємо схему:



(Напруги на вході)

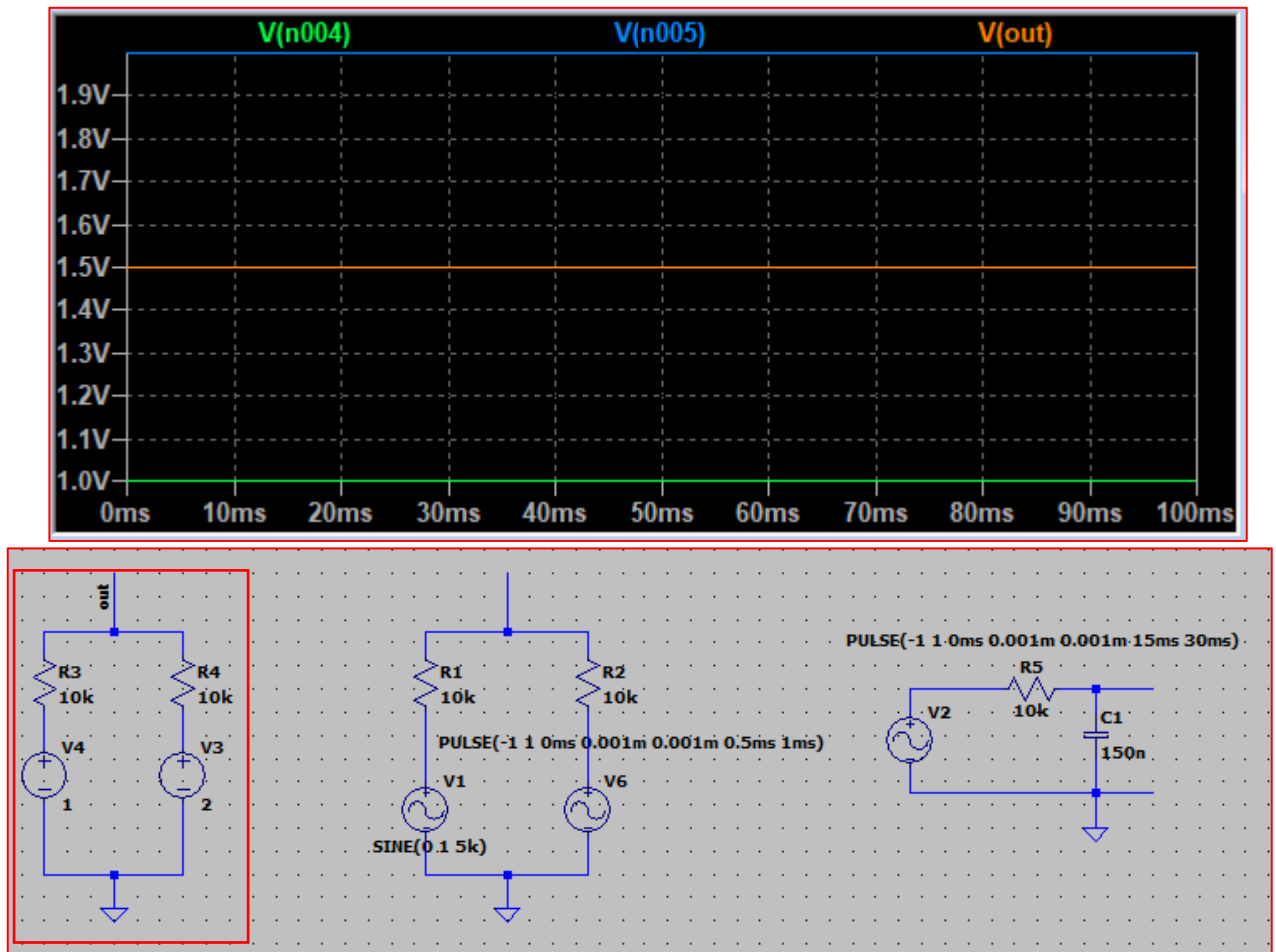


(Вхід осцилографа)

На виході схеми маємо : 1.5 В

1.3. Промодельювати роботу суматора в LTSpice для тих же вхідних напруг, що були використані при проведенні вимірювань на реальних приладах. Порівняти одержані результати з результатами реальних вимірювань. Результати симуляції (схема, графіки) занести до протоколу.

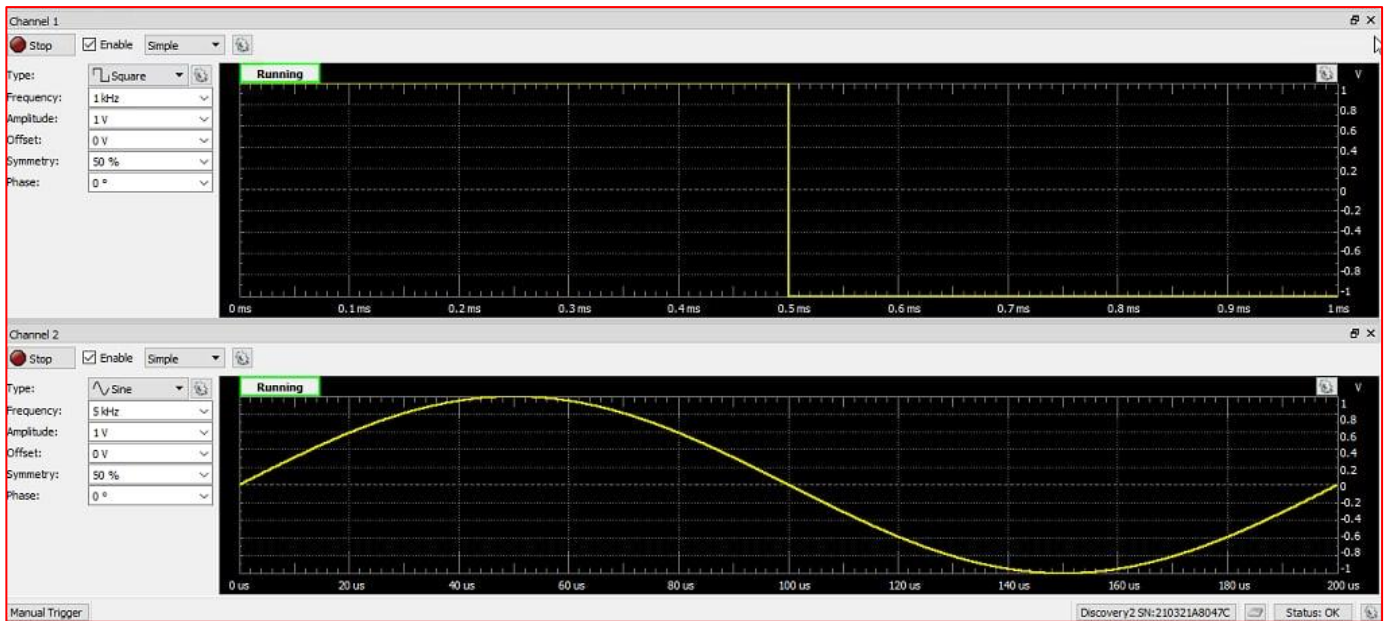
LTSpice:



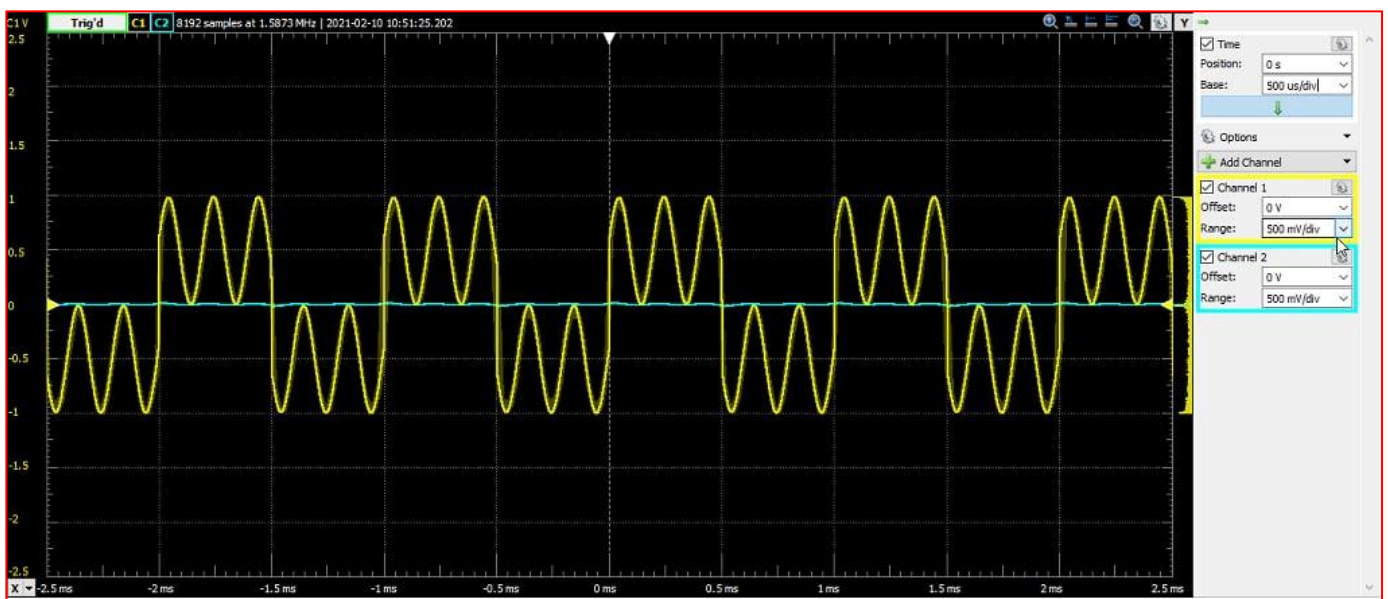
1.4. Подати на входи суматора два сигнали з генераторів ГЗ-112. Перший сигнал імпульсний (меандр) з частотою 1 КГц, амплітудою 1В. Другий сигнал синусоїдальний з частотою 5 КГц, амплітудою 1В. За допомогою двохпроменевого осцилографа необхідно зафіксувати сигнали на входах суматора (сфотографувати картинку) та сигнал на виході суматора (сфотографувати картинку). При цьому необхідно записати налаштування осцилографа на яких ви проводили вимірювання (В/поділку, час/поділку) та параметри

сигналів, що подаються на входи суматора (частота, амплітуда). Результати занести до протоколу.

### Напруги на вході:

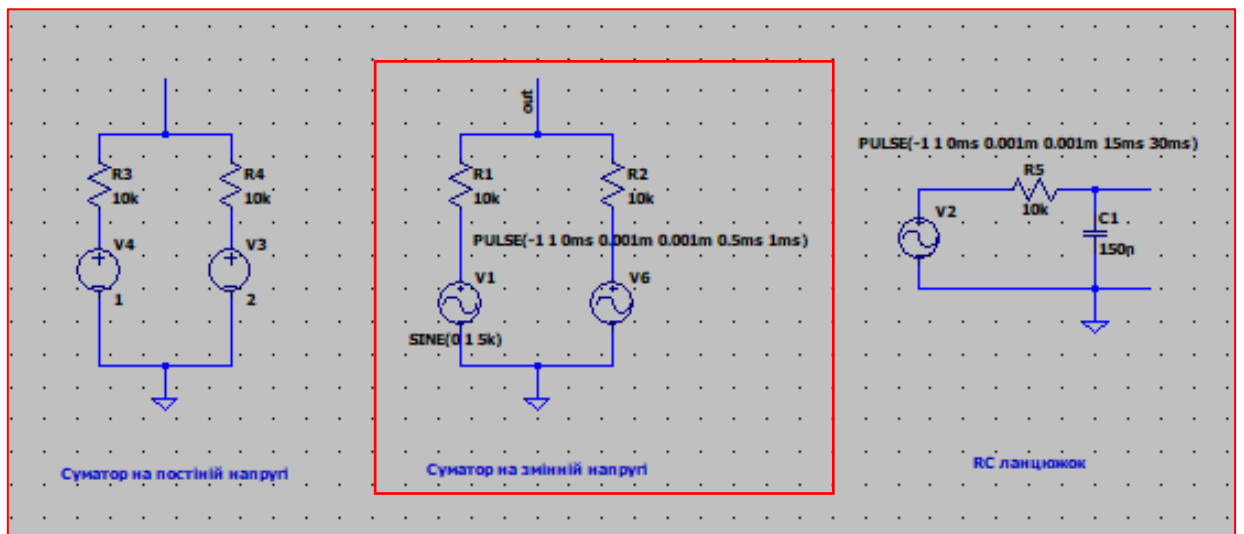
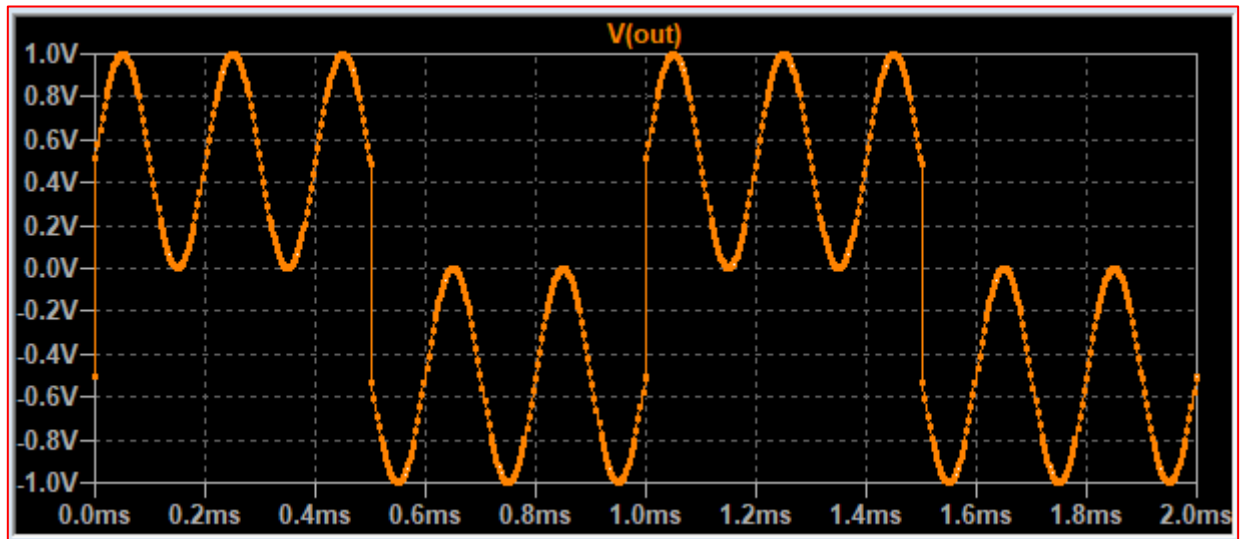


### Вхід осцилографа:



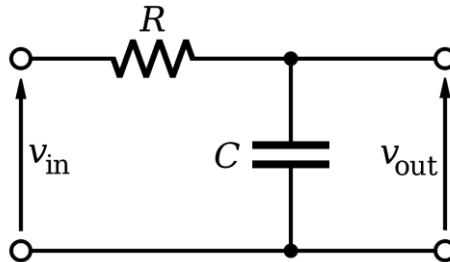
1.5. Про моделювати роботу суматора в LTSpice для тих же змінних вхідних сигналів, що були використані при проведенні вимірювань на реальних приладах у попередньому завданні. Результати симуляції занести до протоколу. Порівняти сигнал, одержаний шляхом моделювання, з результатами реальних вимірювань.

LTSpice:



## 2. Дослідження RC ланцюжка

2.1. Скласти схему RC ланцюжка для довільних значень ємності і опору (опір резистора можна брати порядку кілоома, ємність конденсатора порядку десятків нанофарад).



$$R = 10 \text{ кОм}$$

$$C = 150 \text{ нФ}$$

2.2. Розрахувати тривалість заряду та розряду ємності для цього ланцюжка. Результати занести до протоколу.

$$T = R * C = 10 * 10^3 * 150 * 10^{-9} = 1,5 \text{ мс}$$

$$5T = 5 * 1,5 = 7,5 \text{ мс}$$

2.3 Подати на вхід RC ланцюжка імпульсну напругу з генератора ГЗ-112 з амплітудою 1 В та такою частотою, щоб період був в 4-6 разів більший за розраховану тривалість заряду-розряду. На двохпроменевому осцилографі подивитися на вхідний та вихідний сигнали RC ланцюжка (сфотографувати картинку). Записати налаштування осцилографа на яких ви проводили вимірювання (В/поділку, час/поділку) та параметри імпульсного сигналу. Перевірити, що тривалість заряду-розряду дорівнює розрахованому значенню. Результати вимірювань занести до протоколу.

$$\text{Знайдемо період більший у 4 рази: } 4 * T = 4 * 7,5 = 30 \text{ мс}$$

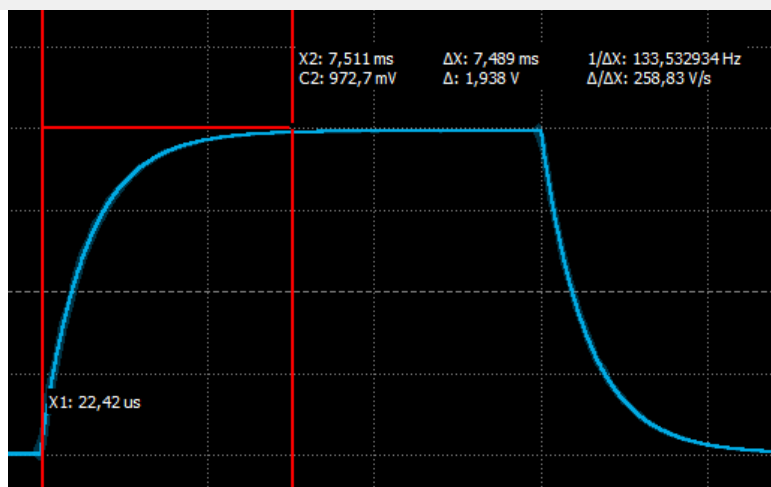
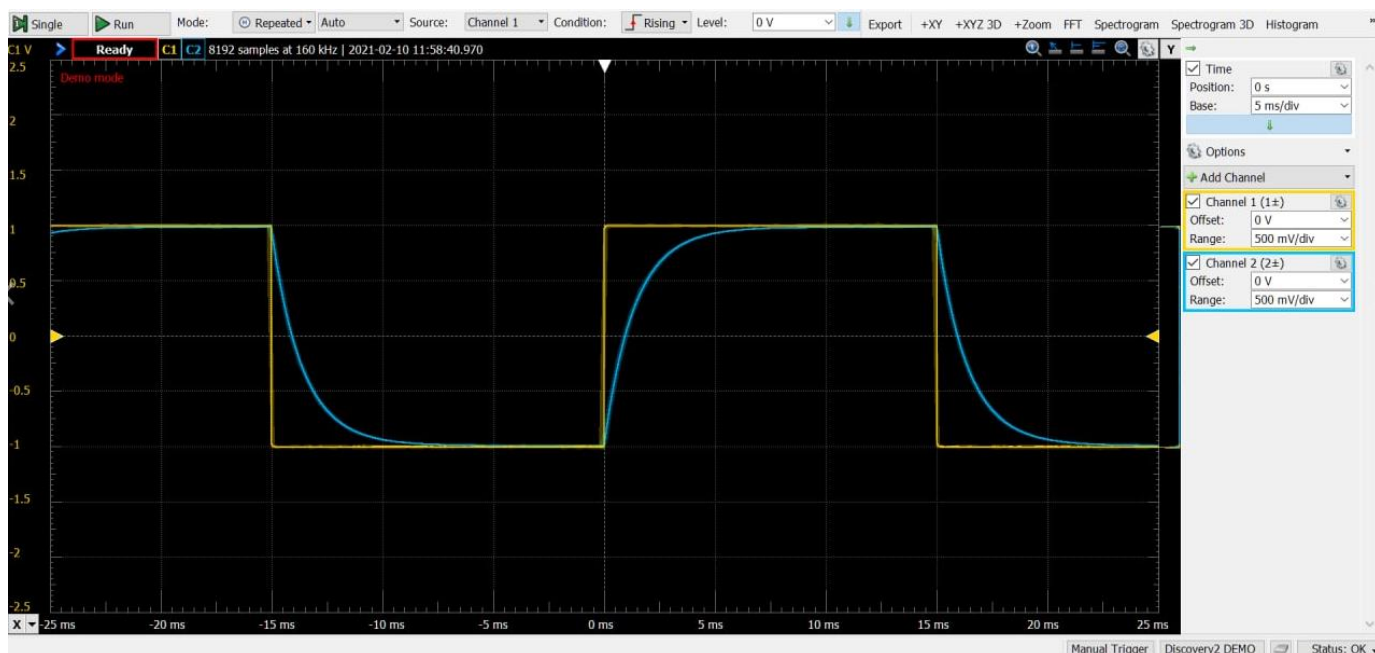
$$\text{Розрахуємо частоту: } f = 1/T = 1/30 * 10^{-3} = 33,3 \text{ Н}$$



Вхідний сигнал:

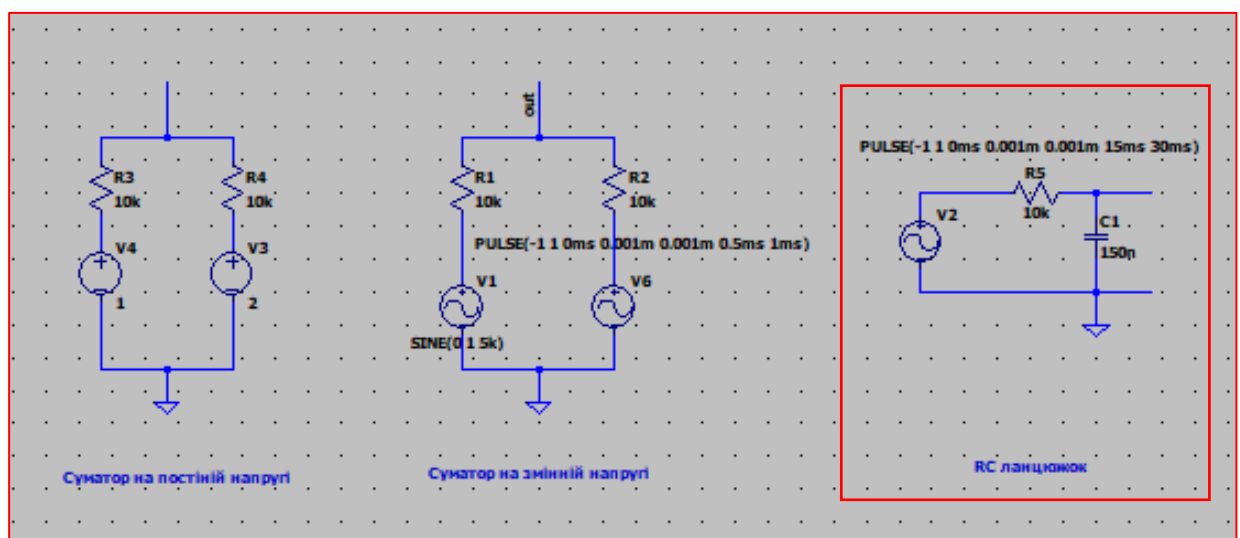
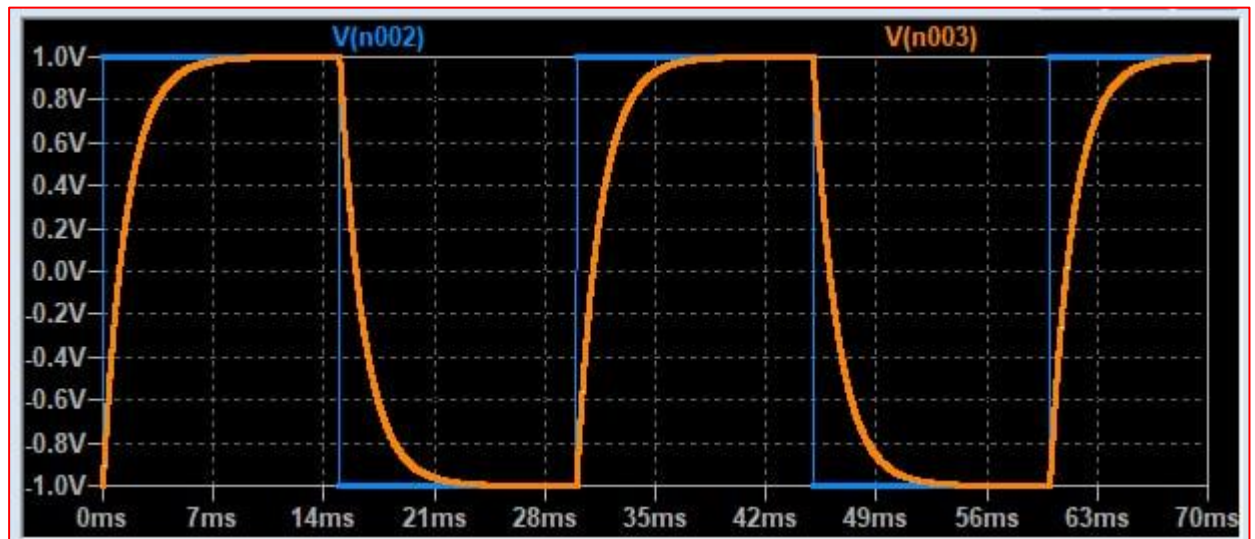


Вхідний та вихідний сигнал:



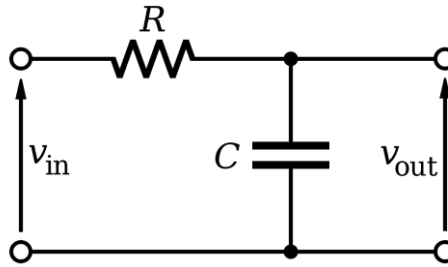
2.4 Промодельовати роботу схеми в LTSpice. Пересвідчитись, що затримка заряду-розряду ємності при симуляції дорівнює затримці заряду при реальних вимірюваннях. Результати симуляції занести до протоколу.

LTSpice:



### 3. Дослідження RC фільтру низької частоти.

3.1. Скласти схему RC фільтру низької частоти для довільних значень опору і ємності.

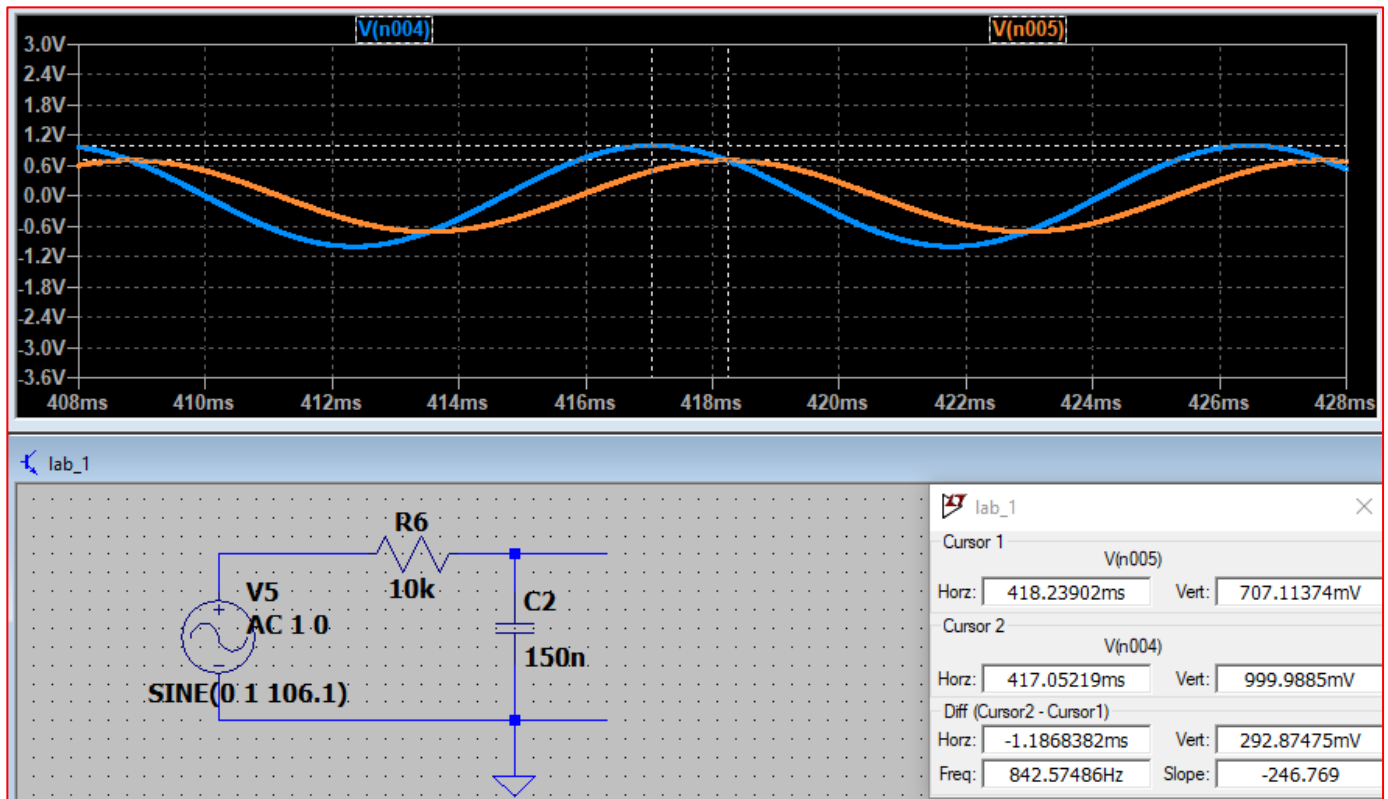


3.2. Розрахувати значення частоти зрізу. Результат занести до протоколу.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi * 10 * 10^3 * 150 * 10^{-9}} = 106,1 \text{ Гц}$$

3.3. Виміряти амплітудно-частотну характеристику фільтра. Для цього необхідно подати на вхід фільтру синусоїдальний сигнал з генератора ГЗ-112 з амплітудою 1В та частотою зрізу. Визначити амплітуду синусоїдального сигналу на виході фільтру. Розрахувати коеф. передачі за напругою ( $K_u$ ) для даної частоти (відношення амплітуди вихідного сигналу до амплітуди вхідного сигналу). Розбити інтервал частот від 0 до частоти зрізу на 3-4 відрізки і для частот на кінцях цих відрізків визначити значення  $K_u$ . При цьому необхідно слідкувати, щоб амплітуда вхідного сигналу завжди дорівнювала 1 В. Розрахувати  $K_u$  для нульової частоти. Взяти 4-5 значень частоти вище частоти зрізу та визначити для них  $K_u$ . Перевірити, що  $K_u$  на частоті близькій до нуля в корінь з двох раз більший ніж  $K_u$  на частоті зрізу. Результат вимірів занести до протоколу у вигляді таблиці частота- $\rightarrow K_u$ . Побудувати графік амплітудно-частотної характеристики.

3.4. Побудувати графік амплітудно-частотної характеристики в LTSpice. Додати цей графік до протоколу. Порівняти з графіком одержаним для реальних вимірювань.



Амплітуда вхідного і вихідного сигналу схеми в LTSpice на частоті зрізу відповідно дорівнює:

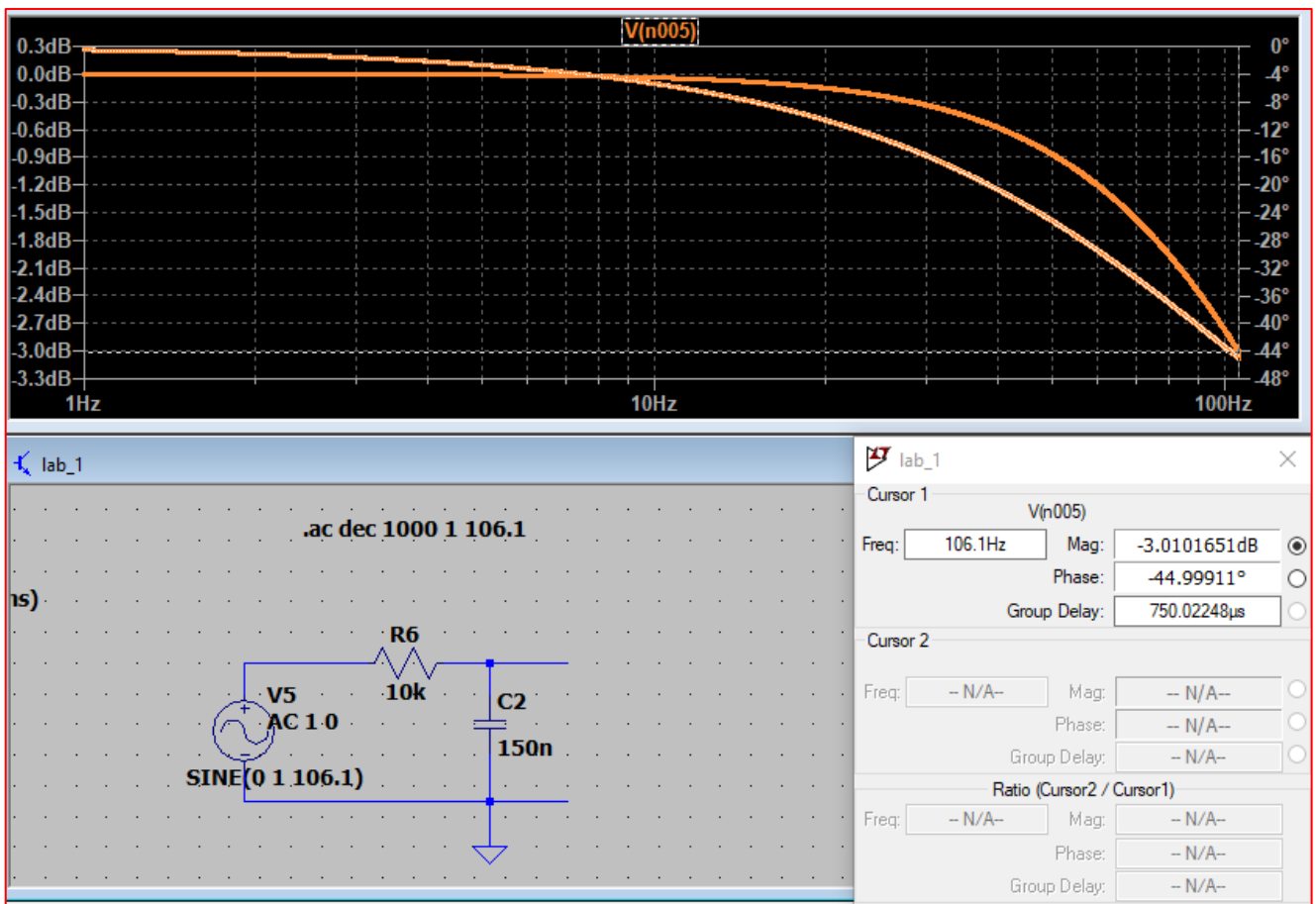
$$U_{\text{вх}} = 0.9 \approx 1 \text{ В}$$

$$U_{\text{вих}} = 0.7 \text{ В}$$

З підвищенням частоти ємнісний опір конденсатора падає і схема працює як подільник напруги, частотою зрізу вважається така частота де падіння напруги дорівнює  $1/\sqrt{2} \approx 0.707$ , тим самим ми підтвердили вірність обрахованої попередньо частоти.

$$K = U_{\text{вих}}/U_{\text{вх}}$$

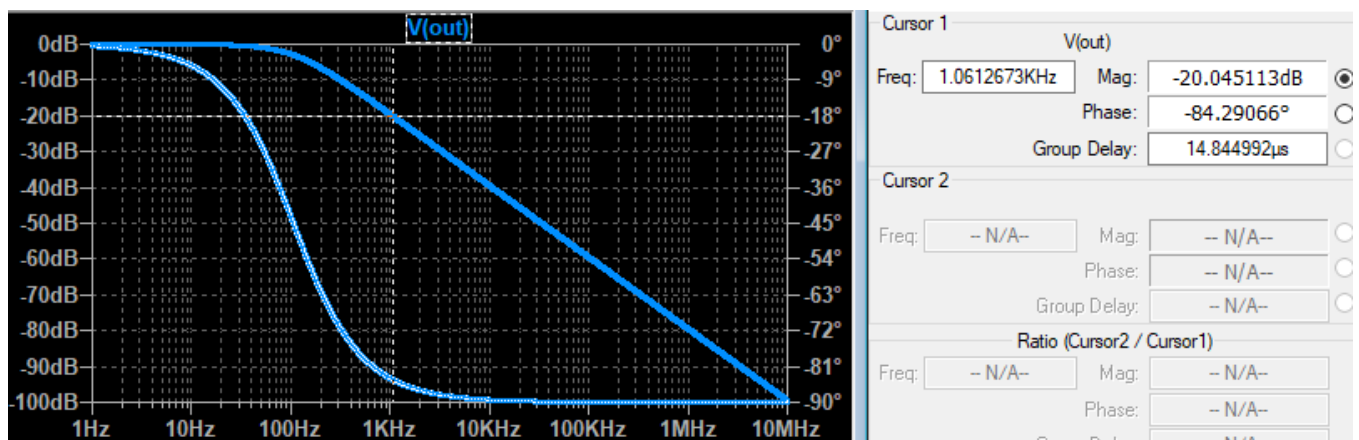
Коефіцієнт передачі на частоті зрізу має дорівнювати  $1/\sqrt{2} \approx 0.7$ , можемо ще раз впевнитись вірності даних:  $K_{\text{чз}} = 0,7 / 1 = 0,7 \text{ В}$ .



$$V(\text{dB}) = 20 \log (V_{\text{out}} / V_{\text{in}})$$

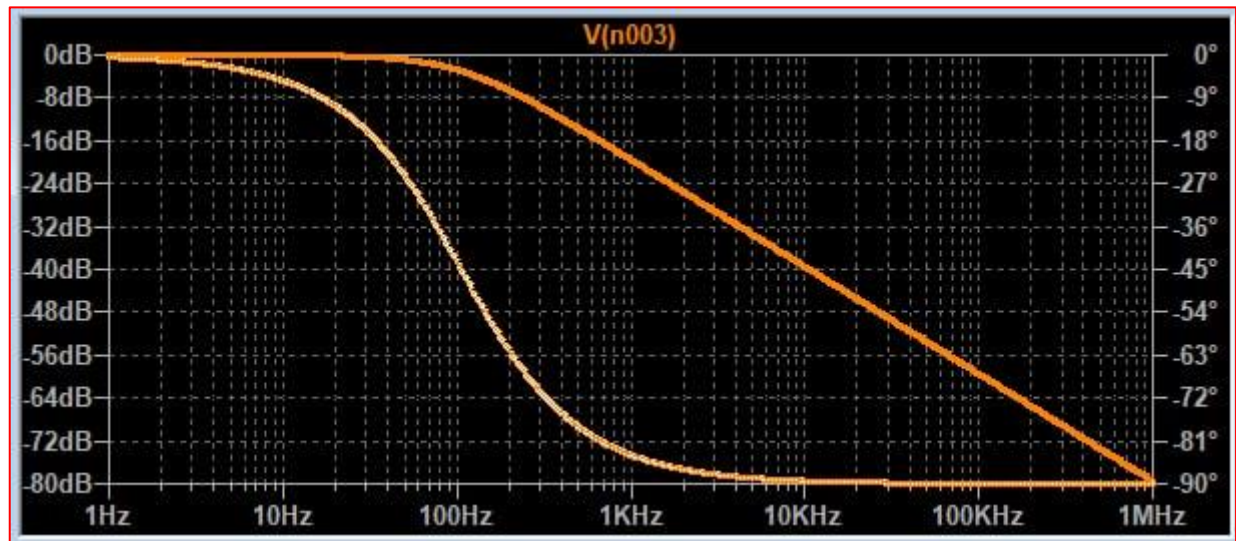
Затухання для частоти зрізу:  $20 \lg (0.7 / 1) \approx -3.09 \text{ dB}$

Швидкість затухання модуля комплексного коефіцієнта передачі за частотою зрізу має дорівнювати -20 dB на декаду, тобто збільшення у 10 разів, таким чином можемо збільшити частоту зрізу у 10 разів і перевірити теорію затухання.

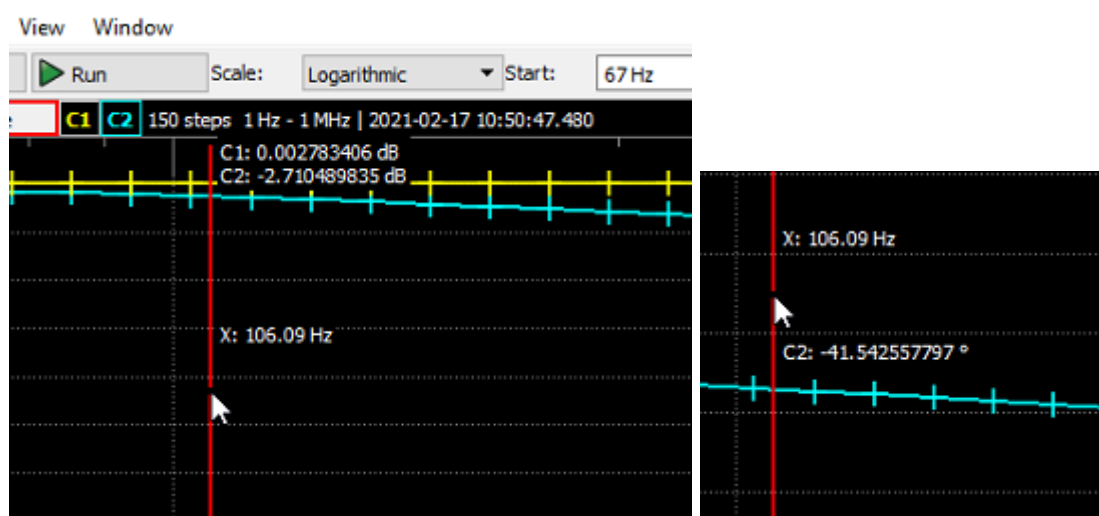
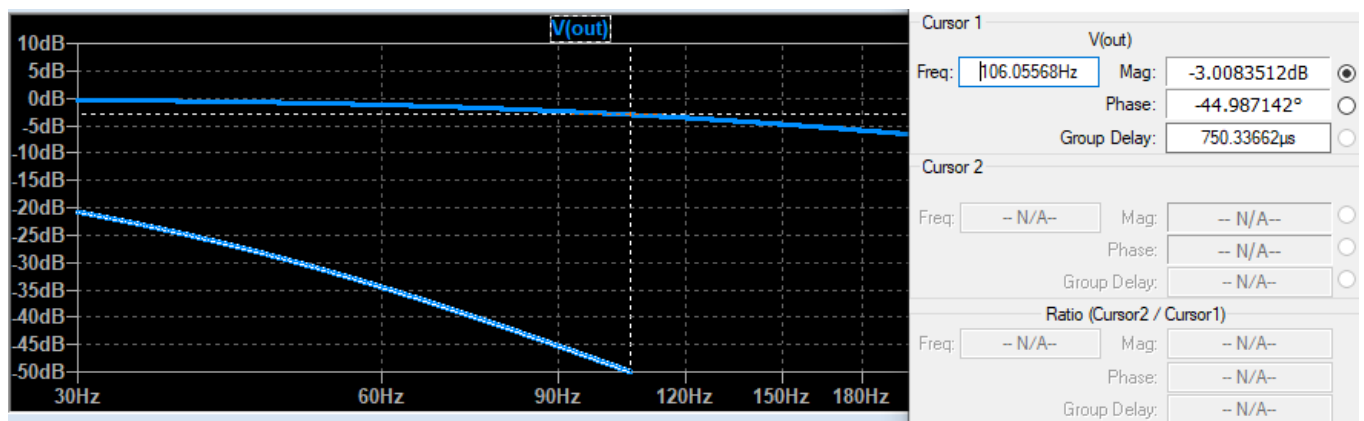


Як бачимо затухання -20.045 dB

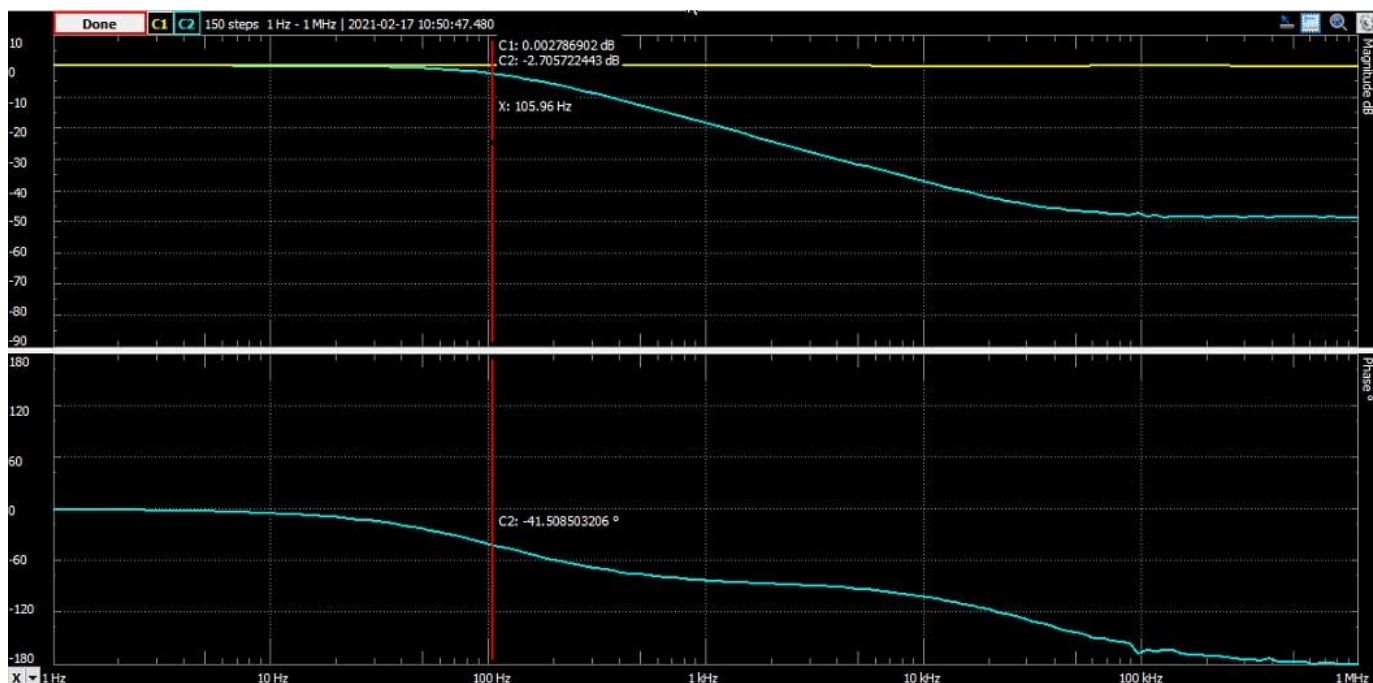
АЧХ & ФЧХ LTSpice:



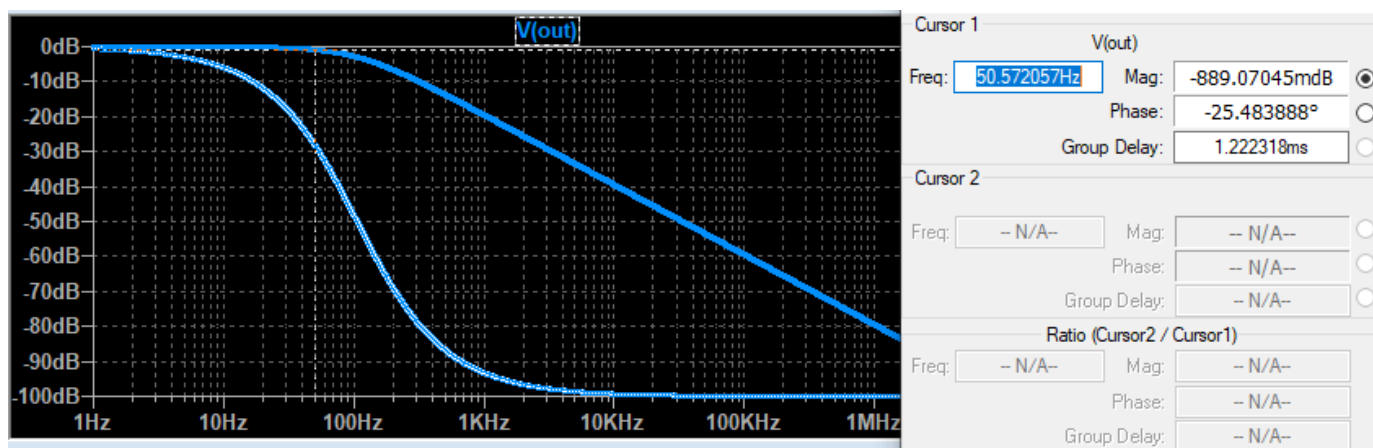
АЧХ на частоті зрізу:

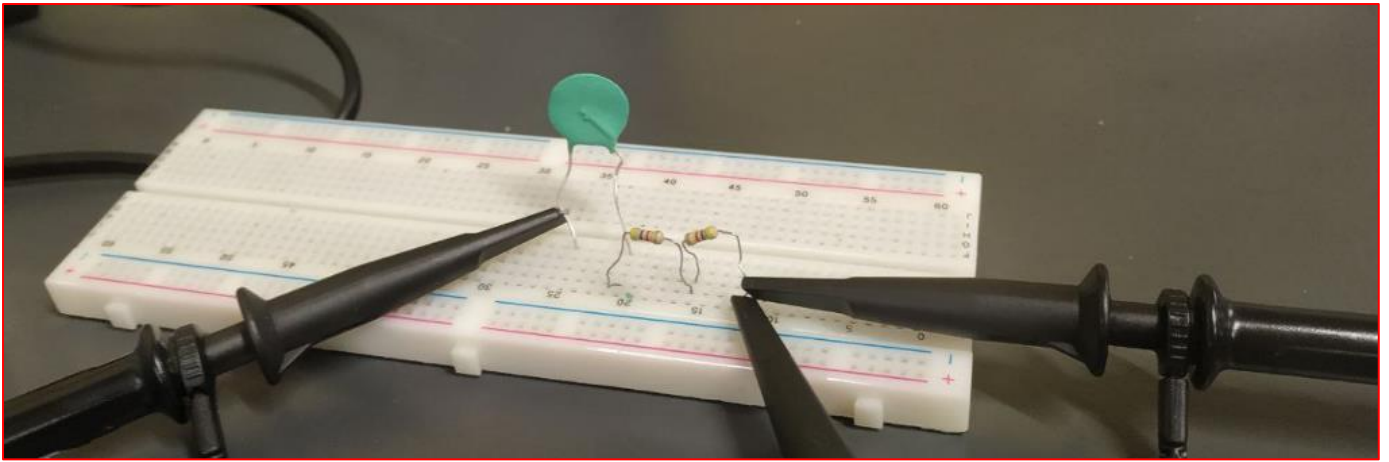




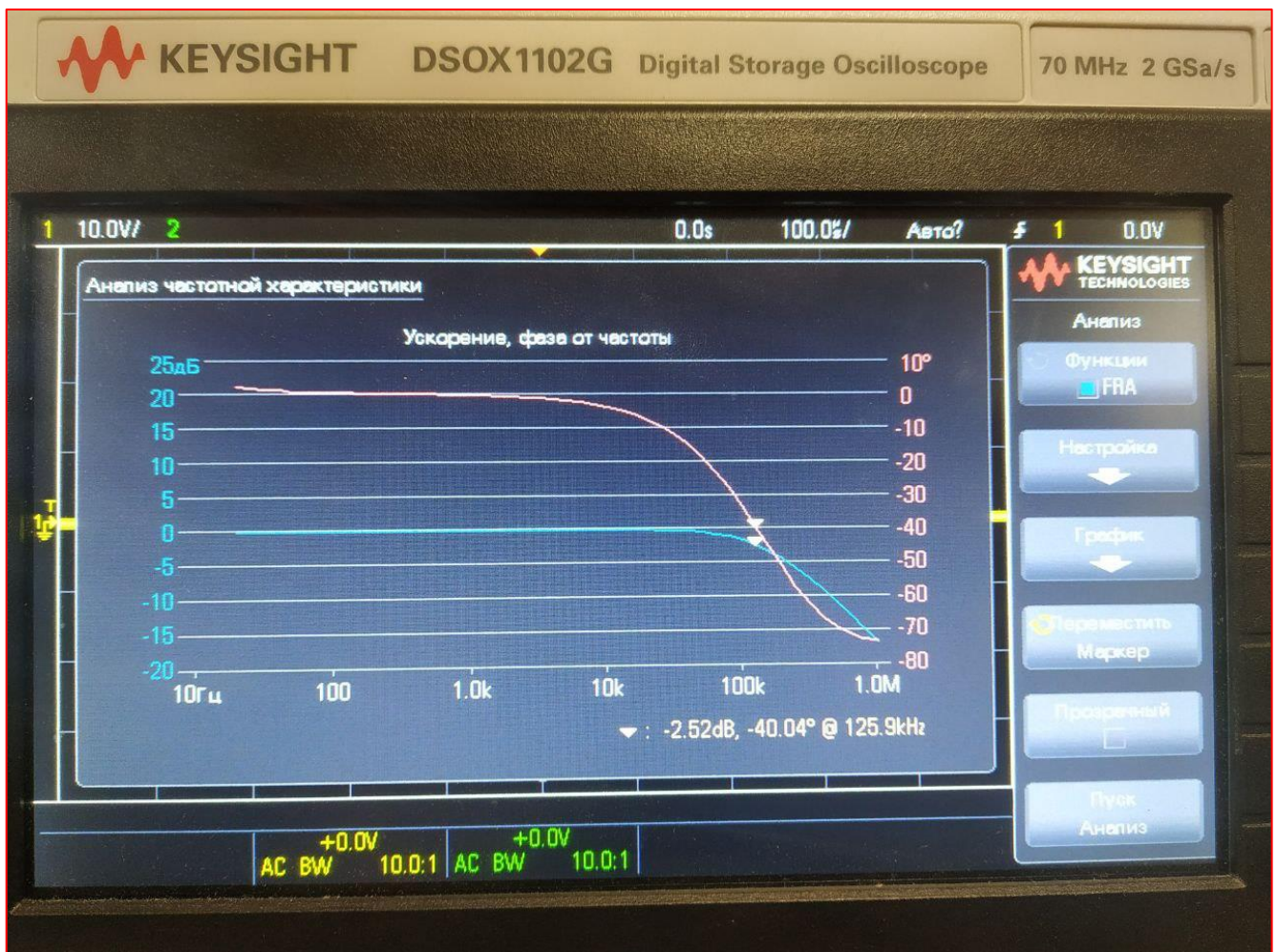


АЧХ на випадковій частоті порівняємо з симуляцією:





Виміри на практиці:





## Висновки

На цій лабораторній роботі я провів виміри та розрахунки суматора на постійні і змінній напругі, що не виявилось складним, але спостерігати сумування сигналів типу синус та меандр було цікаво. Також я провів дослід з RC ланцюгом, розрахував параметр заряду-розряду конденсатора, спостерігав як це явище впливає на вхідний сигнал, схему знаходжу дуже корисною наприклад для формування і згладження сигналів. Крім цього я дослід інтегруючий RC фільтр, моєю задачею було розрахувати параметри та перевірити на практиці те що коефіцієнт передачі за напругою на частоті зрізу має дорівнювати  $1/\sqrt{2}$ , добре що розрахунки зійшлись. Пояснити це явище не складно, з курсу ОТК пам'ятаю, що при подачі змінної напруги на конденсатор з малою частотою це обрив, а так як конденсатор підключений на землю можемо вважати що вся напруга піде через резистор, у випадку подачі напруги на високій частоті конденсатор закоротка і це свідчить про те що весь сигнал з резистора піде на землю і на виході матимемо нуль. Тому такий фільтр називається інтегруючим, всі низькі частоти до частоти зрізу не спотворюються. На частоті зрізу реактивний опір конденсатор зменшується і ми отримуємо подільник напруги.

#### 1.4. Контрольні запитання

1. Виведіть формулу напруги на виході суматора напруг на резисторах з трьома входами;
2. Які недоліки суматора напруг на резисторах?
3. Виведіть формули заряду-розряду ємності RC ланцюжка;
4. Намалюйте графік заряду-розряду ємності RC ланцюжка;
5. Що таке постійна часу RC-ланцюжка? Як вона виражається через  $R$  і  $C$ ?
6. Як розрахувати час заряду/розряду ємності RC ланцюжка?
7. Де застосовується RC ланцюжок?
8. Намалюйте схеми RC фільтрів високої і низької частоти;
9. Що таке амплітудо-частотна характеристика?
10. Намалюйте амплітудно-частотні характеристики RC фільтрів високої і низької частоти;
11. Напишіть формули частот зрізу RC фільтрів високої і низької частоти;
12. На якій полосі частот RC фільтр високої частоти пропускає сигнали? На якій полосі не пропускає?
13. На якій полосі частот RC фільтр низької частоти пропускає сигнали? На якій полосі не пропускає?
15. Яка швидкість затухання сигналу в RC фільтрів високої і низької частоти?
16. Що таке децибели? Як перейти від відношення в разях до відношення в децибелах?
17. Де використовують децибели?
18. Де використовують фільтри?