

УДК 581.55:332.31:001.891.57

КП XXXXXX

№ держреєстрації XXXXXXXXXXXX

Інв. №

## ЗВІТ ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ

Дослідження перехідних характеристик RLC-чотириполюсників та дослідження  
перехідних характеристик RC-фільтрів.

2020

Рукопис закінчено 17 червня 2020 р.

## Список авторів

Студентка 5-Б групи 2 курсу  
фізичного факультету  
КНУ ім. Тараса Шевченка

(Підпис) Павленко Н. О.  
(Дата)

Студент 5-Б групи 2 курсу  
фізичного факультету  
КНУ ім. Тараса Шевченка

(Підпис) Русаков В. В.  
(Дата)

Студент 5-Б групи 2 курсу  
фізичного факультету  
КНУ ім. Тараса Шевченка

(Підпис) Ленівенко М. Г  
(Дата)

# Реферат

Звіт про НДР: 12 с., 13 рис., 3 джерела.

Об'єкт дослідження –  $RLC$  чотирьохполюсник,  $RC - CR$  смуговий фільтр, та Т-подібний  $RC$  міст.

Мета роботи – дослідити АЧХ, ФЧХ, перетворення прямокутного сигналу, знайти  $R, L$  за даними вимірів, виміряти період вільних коливань, зміну амплітуди за період, обчислити резонансну частоту та логарифмічний декремент згасання, дослідити перехідні та частотні характеристики смугового  $RC-CR$  фільтру, та Т-подібного  $RC$  мосту.

Метод дослідження - До  $RLC$  чотирьохполюсника зі сторони  $R$  під'єднується генератор, з іншої – осцилограф, з осцилографа сигнал виводиться на комп'ютер, готовий для аналізу, за допомогою програмного забезпечення для персонального комп'ютера відбувається підключення з подальшим керуванням генератора сигналів Picotest G5100A. Надалі цим генератором здійснюється генерація сигналу з певним потрібним типом. В даній генерувались прямокутні в першій частині роботи, та гармонічні сигнали в другій частині роботи. Сигнал подається на два канали: один через схему на перший канал осцилографа Tektronix TDS 1002B, другий прямо на другий канал осцилографа, що також підключений до ноутбука за допомогою відповідного програмного забезпечення. Унаслідок цього ми отримуємо зображення згенерованого сигналу (вхідний) і сигналу що пройшов схему (вихідний). Порівнюючи сигнали досліджуємо перехідні та частотні характеристики схеми.

# Зміст

<b>1</b>	<b>Вступ</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Хід роботи</b>	<b>5</b>
2.1	RLC-чотириполюсники . . . . .	5
2.2	Полосовий RC-CR фільтр . . . . .	8
2.3	Загороджувальний фільтр . . . . .	10
<b>3</b>	<b>Висновки</b>	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>Література</b>	<b>13</b>

# 1 Вступ

$RLC$  ланцюг - найпростіший аналоговий фільтр нижніх частот. Такі фільтри зазвичай використовують для обробки сигналів в електроніці. Найбільше їх застосовують для вибору певної радіостанції в радіоприймачах, розкладання звукового сигналу перед відтворенням на колонках та інше.

На даний момент в багатьох випадках замість аналогових фільтрів використовують цифрові, однак існують системи, в яких аналогові фільтри замінити не можна.

$RC - CR$  смуговий фільтр є одним із основних фільтрів в аналогових схемах, тому його вивчення є важливим. Вони використовуються для того щоб виділити певний досліджуваний діапазон частот. Дані схеми є предметом дослідження науковців та інженерів, щоб покращити якість смугового фільтра, та змінити певні характеристики фільтра що краще підходили під ту чи іншу установку. Існує багато варіацій смугового фільтра, наприклад, обернені до нього загороджувальні, які не пропускають певного діапазону частоти. Саме таким і є  $T$ -подібний  $RC$ -міст, загороджує окіл певної частоти.

Метою команди було дослідити фільтри за допомогою генератора та осцилографа і програмного забезпечення яке до них прикладається. Знайти частотні та перехідні характеристики.

## 2 Хід роботи

### 2.1 $RLC$ -чотириполюсники

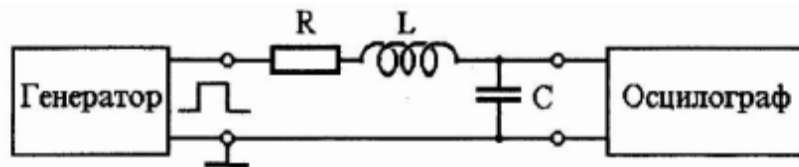


Рис. 1:  $RLC$ -чотириполюсник під'єднаний до осцилографа та генератора

Зображення вихідної напруги навантаженого  $RLC$  чотириполюсника в просторі Лапласа має вигляд:

$$U_2(p) = U_1 \frac{1}{p} \frac{1/pC}{(R + pL + 1/pC)} = U_1 \frac{1}{p} \frac{1/LC}{(p^2 + pR/L + 1/LC)}.$$

Якщо ввести позначення:  $\omega^2 = \frac{1}{LC}$  і  $\lambda = \frac{R}{2L}$ .

Та припустити, що  $\omega^2 \gg \lambda^2$ , то вихідну напругу можна представити у вигляді:

$$U_2(p) = U_1 \frac{1}{p} \frac{\omega^2}{(p + \lambda)^2 + \omega^2}.$$

або, якщо добуток перетворити в суму, можна записати:

$$U_2(p) = U_1 \left( \frac{1}{p} - \frac{p + \lambda}{(p + \lambda)^2 + \omega^2} - \frac{\lambda}{\omega} \frac{\omega}{(p + \lambda)^2 + \omega^2} \right).$$

За таблицями перетворення Лапласа знаходимо залежність вихідної напруг від плину часу:

$$U_2(t) = U_1 \left( 1 - e^{-\lambda t} \cos(\omega t) - \frac{\lambda}{\omega} e^{-\lambda t} \sin(\omega t) \right) \approx U_1 (1 - e^{-\lambda t} \cos(\omega t)).$$

Спочатку команда виміряла **ємність** за допомогою мультиметра:  $= 1 \text{ нФ}$ .  
 З графіку ми визначили час релаксації та період резонансних коливань.  
 Отже, результати:

$\tau = 160 \text{ мкс}$	<b>час релаксації</b>
$T = 60 \text{ мкс}$	<b>період резонансних коливань</b>

Звідси, застосовуючи формули з теоретичної частини та використовуючи значення ємності, дістанемо:

$\lambda = 6.25 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$	<b>декремент затухання</b>
$\nu = 16.6 \text{ кГц}$	<b>резонансна частота</b>
$\omega = 1.04 \cdot 10^6$	<b>резонансна циклічна частота</b>
$R = 1.2 \text{ кОм}$	<b>опір катушки</b>
$L = 100 \text{ мГн}$	<b>індуктивність катушки</b>

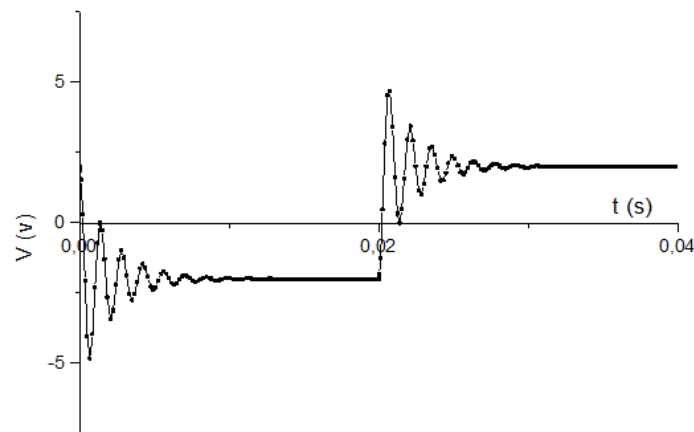


Рис. 2: Перехідна характеристика  $RLC$ -чотириполосника

Далі у середовищі WorkBench відбувається дослідження перехідних процесів в  $RLC$  чотирьохполоснику. На вхід відповідної схеми підключається генератор сигналів. Роль вхідного сигналу в цій роботі виконує одиничний прямокутний імпульс та синусоїдальний сигнал. На розгортці осцилографа, який підключено до виходу чотирьохполосника, спостерігаємо вихідний сигнал.

Неважко помітити, що при певній частоті спостерігаємо стрімке збільшення коефіцієнта підсилення, а відповідно і амплітуди (якщо вхідний сигнал має сталу амплітуду). Таке явище називається резонансом у послідовному коливальному контурі. Вочевидь, на частотах, близьких до резонансної,  $RLC$ -чотирьохполосник може працювати в якості підсилювача.

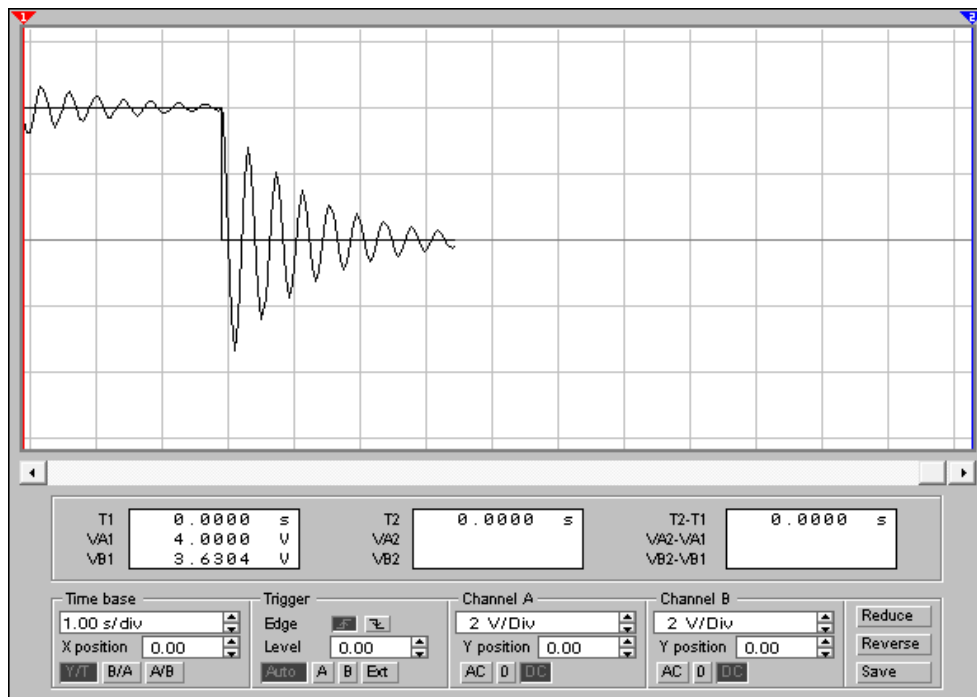


Рис. 3: Змодельована перехідна характеристика

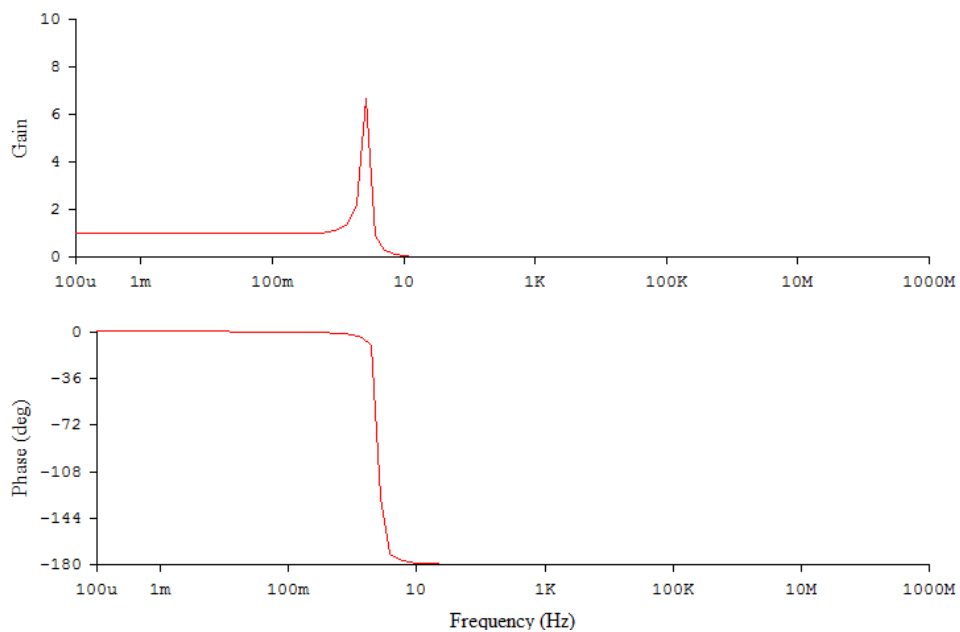


Рис. 4: Змодельовані у середовищі WorkBench АЧХ і ФЧХ чотирьохполосника

## 2.2 Полосовий RC-CR фільтр

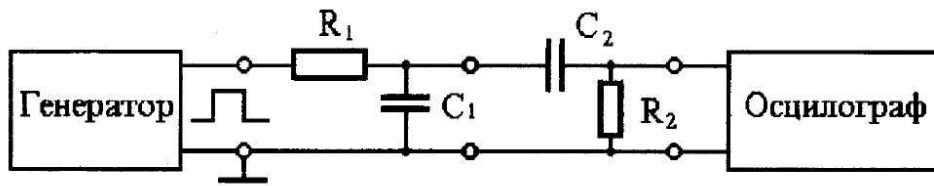


Рис. 5: Схема полосового  $RC - CR$  фільтра

Схему ввімкнення одного з численних типів полосових фільтрів вказано на рисунку. Знайдемо залежність вихідної напруги від часу за умови, що  $R_1 = R_2 = R$ ,  $C_1 = C_2 = C$  і  $\tau = RC$ .

Тоді зображення вихідної напруги матиме вигляд:

$$U_2(p) = U_1 \frac{1}{\tau(p + \alpha)(p + \beta)}, \text{ де } \alpha = \frac{3 - \sqrt{5}}{2\tau}, \text{ а } \beta = \frac{3 + \sqrt{5}}{2\tau}.$$

По таблицях перетворення Лапласа знайдемо оригінал вихідної напруги:

$$U_2(t) = U_1 \frac{e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}}{\tau(\beta - \alpha)} = \frac{U_1}{\sqrt{5}} \left( e^{-0.382 \frac{t}{\tau}} - e^{-2.621 \frac{t}{\tau}} \right)$$

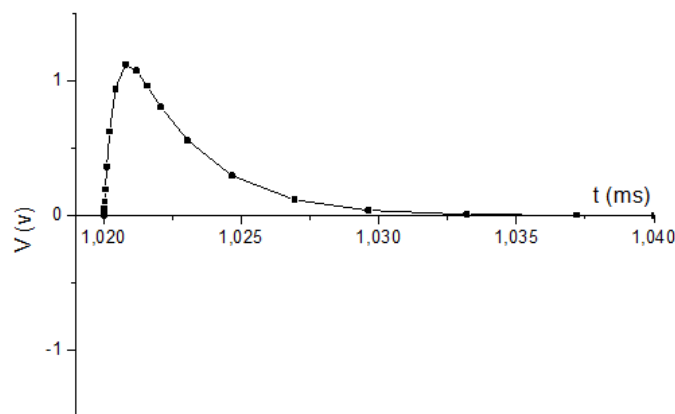


Рис. 6: Перехідна характеристика полосового  $RC-CR$  фільтра

Спочатку було виміряно опір резисторів та ємності конденсаторів за допомогою мультиметра:

$$R_1 = R_2 = R = 5.1 \text{ кОм}, C_1 = C_2 = C = 407 \text{ пФ}$$

З даних на осцилографі для смугового визначаються час наростання  $t_a$ , знайшовши точки відповідно для  $0,1U$  та  $0,9U$ , час сколювання  $t_s$  (при  $\delta = 0,5$ ), час максимальної напруги  $t_e$ . Знаючи ці параметри знаходимо сталу часу  $\tau$ , для кожного параметра, і знаходимо середнє значення. З сталої часу знаходимо параметри частотної характеристики циклічні частоти зрізу і частоту екстремуму:  $\omega_{s1}, \omega_{s2}, \omega_e$ .

$$t_a = 0.8 \text{ нс}, t_e = 1.9 \text{ нс}, t_s = 4.8 \text{ нс}$$

$$\tau = 2.0 \text{ нс}$$

$$\omega_e = 490 \text{ кГц}, \nu_e = 78 \text{ кГц}$$

$$\omega_{s1} = 150 \text{ кГц}, \nu_{s1} = 23 \text{ кГц}$$

$$\omega_{s2} = 1600 \text{ кГц}, \nu_{s2} = 260 \text{ кГц}$$

Для дослідження частотних характеристик на генераторі подають гармонічні сигнали різних частот.



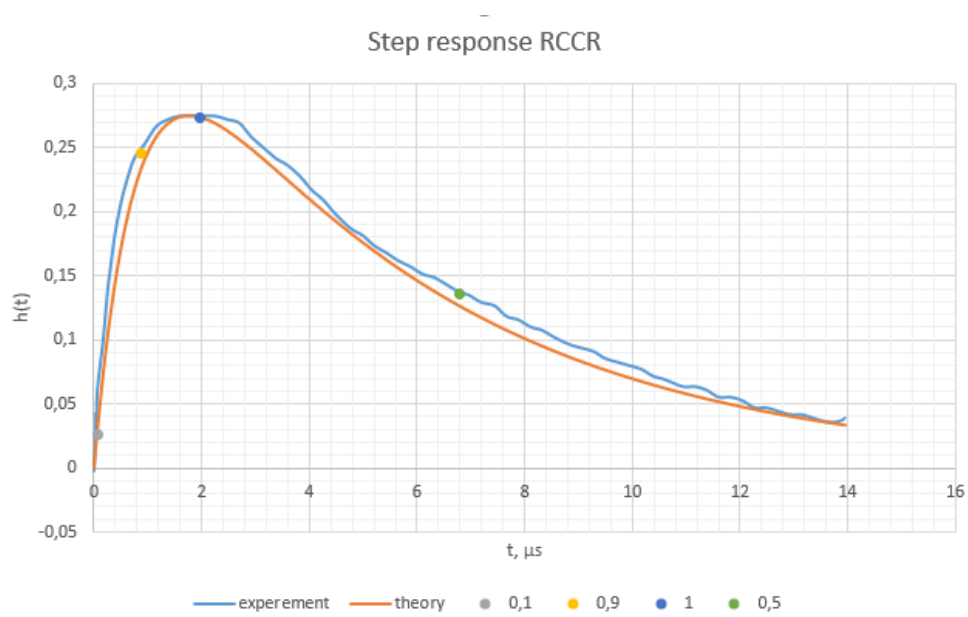


Рис. 7: Перехідна характеристика смугового фільтру та його апроксимація

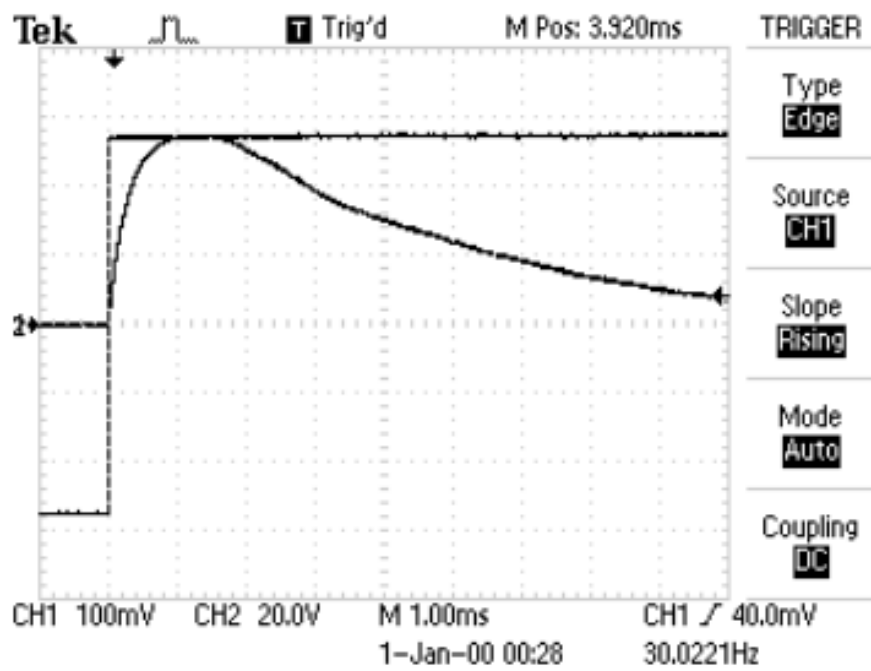


Рис. 8: Зображення перехідної характеристики на осцилографі

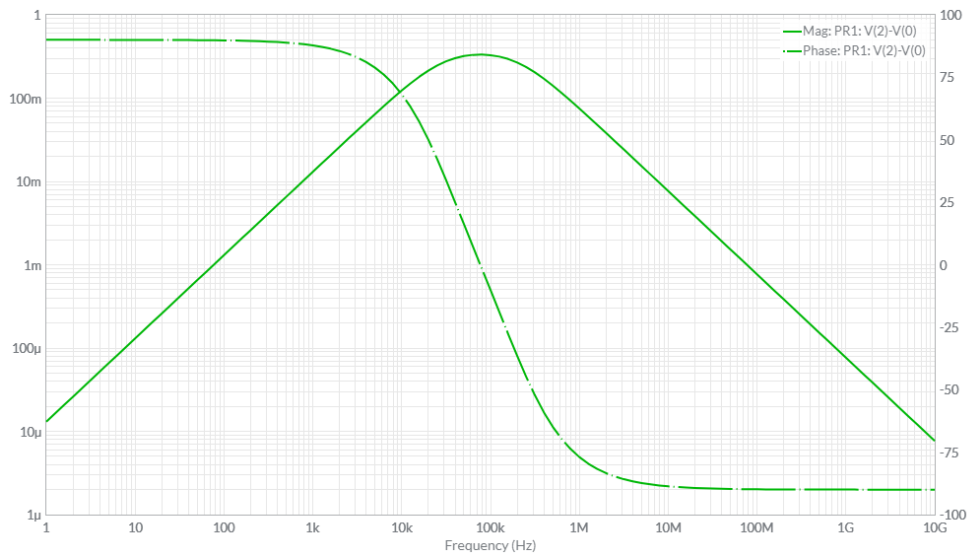


Рис. 9: Діаграма Боде для смугового фільтра

## 2.3 Загороджувальний фільтр

Один з різноманітних загороджувальних фільтрів - подвійний Т-подібний міст - будується як паралельне з'єднання двох Т-подібних чотирьохполюсників на основі  $R$  і елементів.

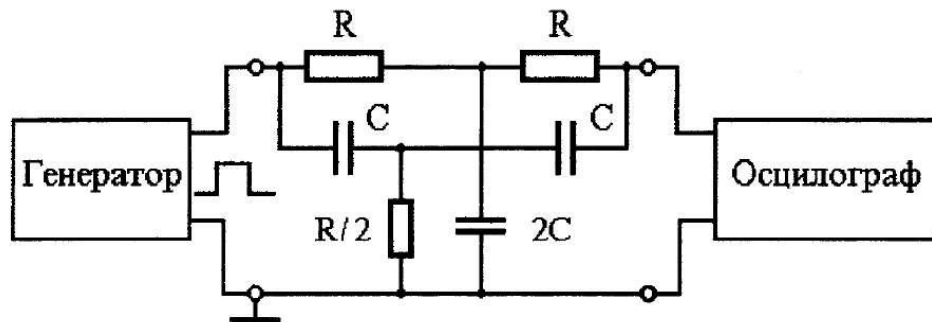


Рис. 10: Загороджувальний фільтр

За таблицями перетворення Лапласа знаходимо перехідну характеристику - залежність вихідної напруги фільтра від часу:

$$U_2(t) = U_1 \left( 1 + \frac{2}{\sqrt{3}} (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}) \right)$$

Аналогічно до смугового фільтра спочатку виміряємо опори резисторів та ємності конденсаторів за допомогою мультиметра:

$$R_{11} = 196 \text{ кОм}, R_{12} = 132 \text{ кОм}, R_2 = 80 \text{ кОм},$$

$$C_1 = 7.8 \text{ пФ}, C_{21} = 7.3 \text{ пФ}, C_{22} = 7.4 \text{ пФ}.$$

З даних на осцилографі визначається час сколювання і час наростання час мінімальної напруги  $t_e$ . Знаючи ці параметри знаходим сталу часу  $\tau$ , для кожного параметра. З сталої часу знаходим параметри частотної характеристики циклічні частоти зрізу і частоту екстремуму:  $\omega_{s1}, \omega_{s2}, \omega_e$ .

Для дослідження частотних характеристик на генераторі подають гармонічні сигнали різних частот.

$$t_s = 85 \text{ нс}, t_e = 460 \text{ нс}, t'_a = 2.55 \text{ нс}$$

$$\tau = 610 \text{ нс}$$

$$\begin{aligned}\omega_e &= 950 \text{ кГц}, \nu_e = 151 \text{ кГц} \\ \omega_{s1} &= 220 \text{ кГц}, \nu_{s1} = 35 \text{ кГц} \\ \omega_{s2} &= 4300 \text{ кГц}, \nu_{s2} = 690 \text{ кГц}\end{aligned}$$

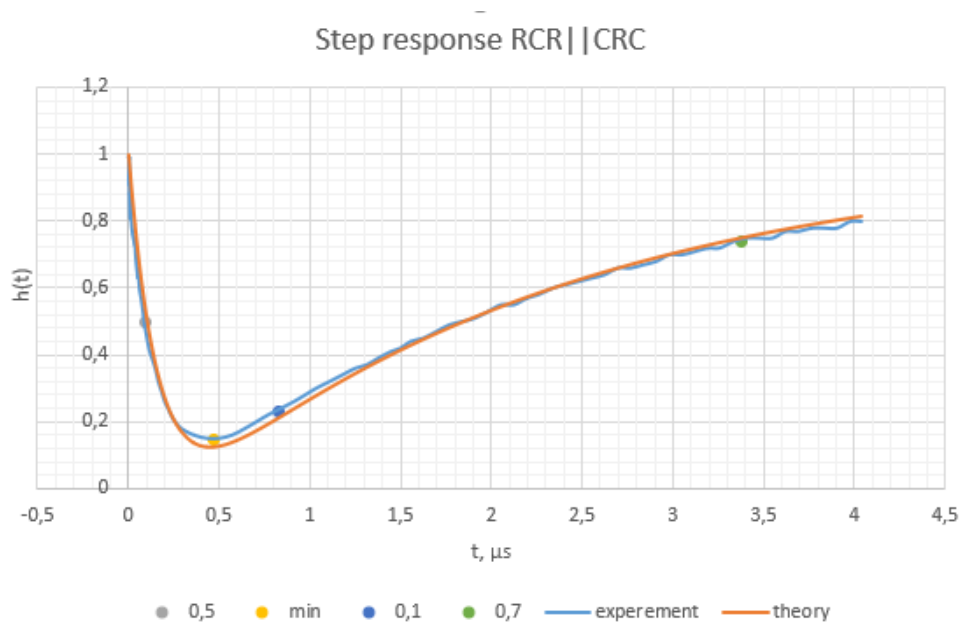


Рис. 11: Перехідна характеристика загороджувального фільтра

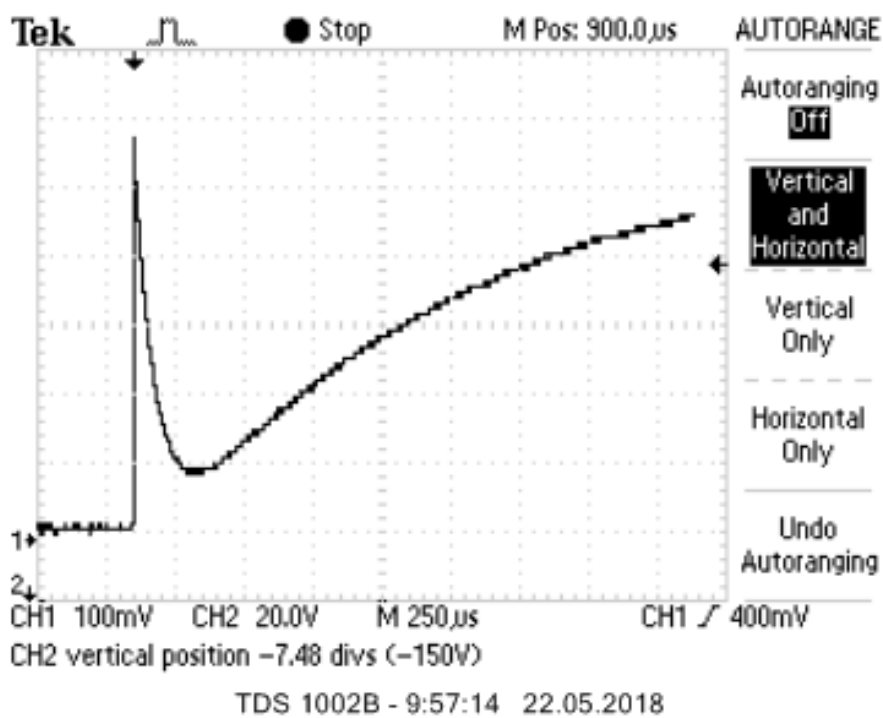


Рис. 12: Зображення перехідної характеристики на осцилографі

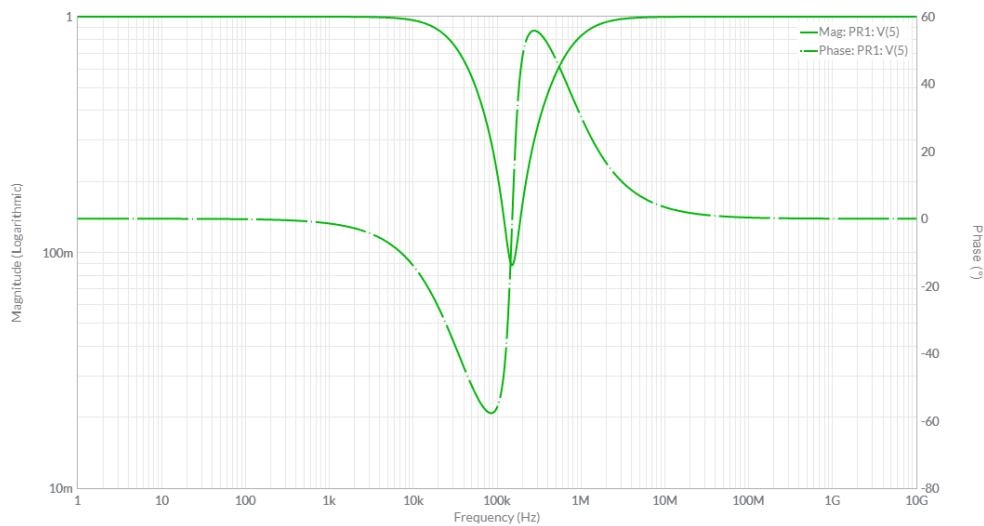


Рис. 13: Діаграма Бодє загороджувального фільтру

### 3 Висновки

З графіків випливає, що  $RLC$  ланцюжок підсилює складову спектру сигналів в околі певної частоти (резонансної), множину частот що не входить в цей окіл не збільшує, при чому зліва від околу – майже не змінює, зправа - зменшує. Також відбувається стрибок фази при переході через резонансну частоту. Чотирьохполосник може слугувати **аналоговим фільтром**.

Як бачимо з графіків, що  $RC$ -фільтри добре підходять під теорію, не дивлячись що відношення опірив і ємностей не близько не таке саме як в теорії для Т-мосту перехідна і частотні характеристики трошки змінили форму і перехідна трошки змістилась, а частотна сильно. Тобто при відносно великих відхиленнях можна користуватися класичною формулою. Також помітно що у реального Т-мосту ФЧХ не має розриву у екстремальній частоті, а різкий гладкий перехід через нуль зміщення фази, і пік АЧХ є закругленим. При дуже високих і дуже низьких частотах для смугового фільтра можна вважати що це послідовно з'єднанні ФВЧ, ідеальний перетворювач, ФНЧ.

## 4 Література

- [1] Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника.- М.: Мир.- 1982.- С.9-21.
- [2] Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники.- М.: Мир.- 1984.-Т.1.-С.11-64.- Т.2.- С.502-505.
- [3] Молчанов А.П., Занадворов П.Н. Курс электротехники и радиотехники.-М.: Наука.- 1969.- С.9-28.