

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ КИЇВСЬКИЙ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. ТАРАСА ГРИГОРОВИЧА  
ШЕВЧЕНКА  
Київ

# Основи електротехніки

Звіт до лабораторної роботи №1

**Роботу**  
**виконала:**  
Є.С. Кулинич  
Група: 5-А  
**Викладачі:**  
Р. Єрмоленко  
Ю. Мягченко

Київ  
2021

БКК 73Ц  
І-72

**Укладач:** Є.С. Кулинич

І-72                      Звіт. Проходження сигналів через пасивні лінійні чотирьохполюсники/  
укл. Є.С. Кулинич.

-К: КНУ ім. Т. Шевченка, 2021. - 15 с. (Укр. мов.)

Наведено загальний звіт виконання роботи з моделювання електронних схем у програмі  
Ni Multisim™.

# Зміст

<b>1. Вступна частина</b>	<b>4</b>
1.1. Об'єкт дослідження . . . . .	4
1.2. Мета . . . . .	4
1.3. Методи дослідження . . . . .	4
<b>2. Теоретична частина</b>	<b>5</b>
2.1. Термінологія . . . . .	5
<b>3. Практична частина</b>	<b>6</b>
3.1. Вступ до практичної частини . . . . .	6
3.2. Фільтр низьких частот . . . . .	7
3.3. Фільтр високих частот . . . . .	8
3.4. Смуговий фільтр . . . . .	10
3.5. Висновки . . . . .	11
<b>4. Відповіді на контрольні питання</b>	<b>12</b>
4.1. Що таке чотириполусник? У чому полягає відмінність лінійного чотириполусника від нелінійного? Активного від пасивного? . . . . .	12
4.2. Назвіть види стандартних сигналів, суперпозицією яких можна представити будь-який періодичний сигнал . . . . .	12
4.3. Поясніть відмінність між частотною, імпульсною та перехідною характеристиками чотириполусника. Як вони пов'язані між собою? . . . . .	13
4.4. Що називається спектром сигналу? Для яких сигналів спектр буде дискретним, а для яких неперервним? . . . . .	13
4.5. Які пасивні чотириполусники називаються фільтрами електричних сигналів? Що таке АЧХ і ФЧХ фільтрів? . . . . .	13
4.6. Виведіть формули для АЧХ і ФЧХ фільтрів нижніх частот, верхніх частот та смугового фільтра . . . . .	13
4.7. Яким чином за допомогою методу фігур Лісажу можна виміряти АЧХ і ФЧХ фільтрів? . . . . .	15
4.8. Чому фільтр нижніх частот називають інтегрувальною ланкою, а фільтр верхніх частот – диференціальною? . . . . .	15

# **1. Вступна частина**

## **1.1. Об'єкт дослідження**

Пасивні лінійні чотириполосники, перетворення сигналів при проходженні через такі чотириполосники.

## **1.2. Мета**

Дослідити зміну параметрів прямокутних імпульсів та гармонічних сигналів при проходженні через пасивні лінійні чотириполосники, опанувати методи вимірювання амплітудно-частотних та фазо-частотних характеристик пасивних RC-фільтрів та їх перехідних характеристик

## **1.3. Методи дослідження**

Метод співставлення, тобто одночасного спостереження вхідного та вихідного сигналів на екрані двоканального осцилографа із наступним вимірюванням і порівнянням їх параметрів;

Метод фігур Лісажу, який полягає у спостереженні на екрані двоканального осцилографа замкнених кривих, які є результатом накладання двох коливань, що відбуваються у двох взаємно перпендикулярних напрямках (вхідний і вихідний сигнали подаються на пластини горизонтального та вертикального відхилення осцилографа відповідно).

## 2. Теоретична частина

### 2.1. Термінологія

**Чотириполіусник** — це електричне коло (ділянка електричного кола) з чотирма полюсами, зажимами, клемми або іншими засобами приєднання до нього інших електричних кіл чи ділянок електричних кіл.

**Пасивний чотириполіусник** — це такий чотириполіусник, який не здатний збільшувати потужність вхідного сигналу за рахунок додавання енергії від якогось іншого джерела енергії (внутрішнього чи зовнішнього по відношенню до чотириполіусника). Потужність, що виділяється в елементі кола, підключеного до виходу такого чотириполіусника, менша за потужність, що споживається від джерела сигналу, підключеного до входу чотириполіусника.

**Активний чотириполіусник** дозволяє збільшувати потужність вихідного сигналу порівняно з потужністю вхідного сигналу за рахунок внутрішніх або зовнішніх джерел енергії. Має містити активний елемент.

**Лінійний чотириполіусник** — це такий, для якого залежність між струмами, що течуть крізь нього, та напругами на його зажимах є лінійною. Такі чотириполіусники складаються з лінійних елементів.

**Лінійні елементи електричних кіл** — це такі елементи, параметри яких не залежать від величини струму, що протікає через них або від прикладеної до них напруги. На виході лінійних чотириполіусників, на відміну від нелінійних, не можуть утворюватися гармоніки (і т. д.) сигналу частоти, який подано на вхід.

**Нелінійний чотириполіусник** — це такий, який містить нелінійні елементи. Для нього згадані залежності між струмами та напругами при деяких їх величинах перестають бути лінійними, а на виході можуть з'являтися гармоніки частот вхідних сигналів

**Пасивний фільтр** — це пасивний чотириполіусник, який містить реактивні елементи (індуктивності, ємності), спад напруги на яких або струм через які залежить від частоти, і завдяки цьому здатен перетворювати спектр сигналу, поданого на його вхід, шляхом послаблення певних спектральних складових вхідного сигналу. Решта спектральних складових вхідного сигналу проходить через такий пасивний лінійний чотириполіусник, тобто він працює як фільтр для певних спектральних складових сигналу. Фільтри, побудовані на конденсаторах і резисторах, називають RC-фільтрами.

## 3. Практична частина

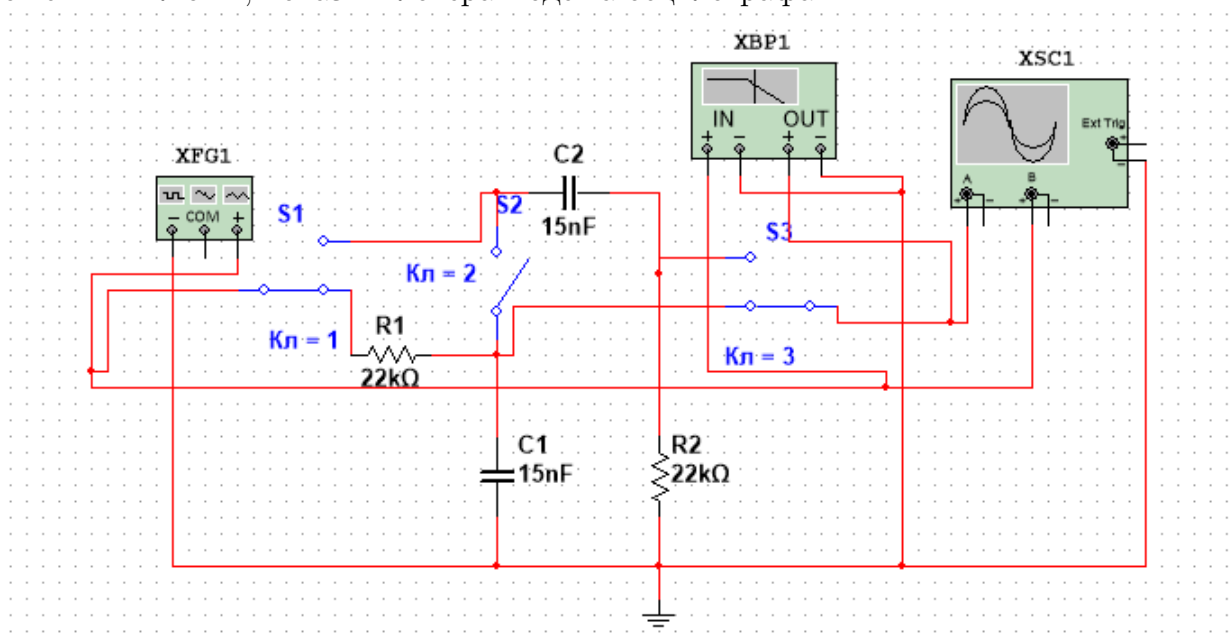
### 3.1. Вступ до практичної частини

В чудовій методичці "вивчення радіоелектронних схем методом комп'ютерного моделювання" від Мягченко я знайшла схему, яка дозволяє майже одночасно (змінюючи лише положення ключів, а не самі елементи) дослідити ФНЧ, ФВЧ та СФ. Тому я склала цю схему, використовуючі наступні компоненти:

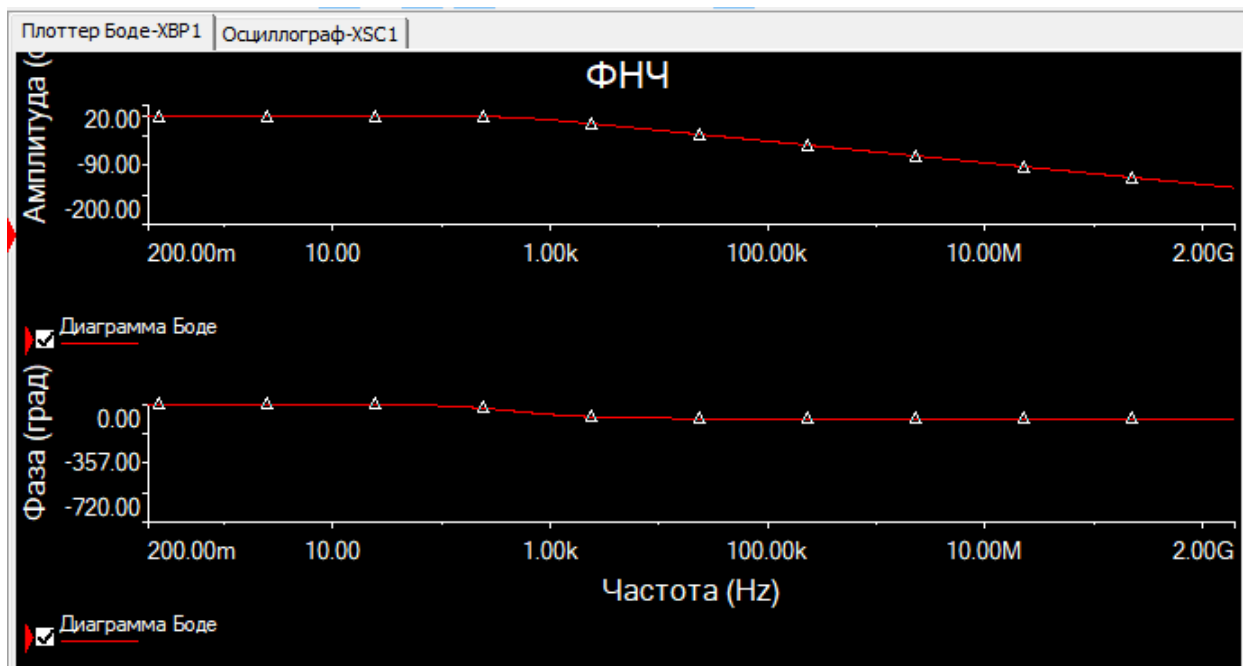
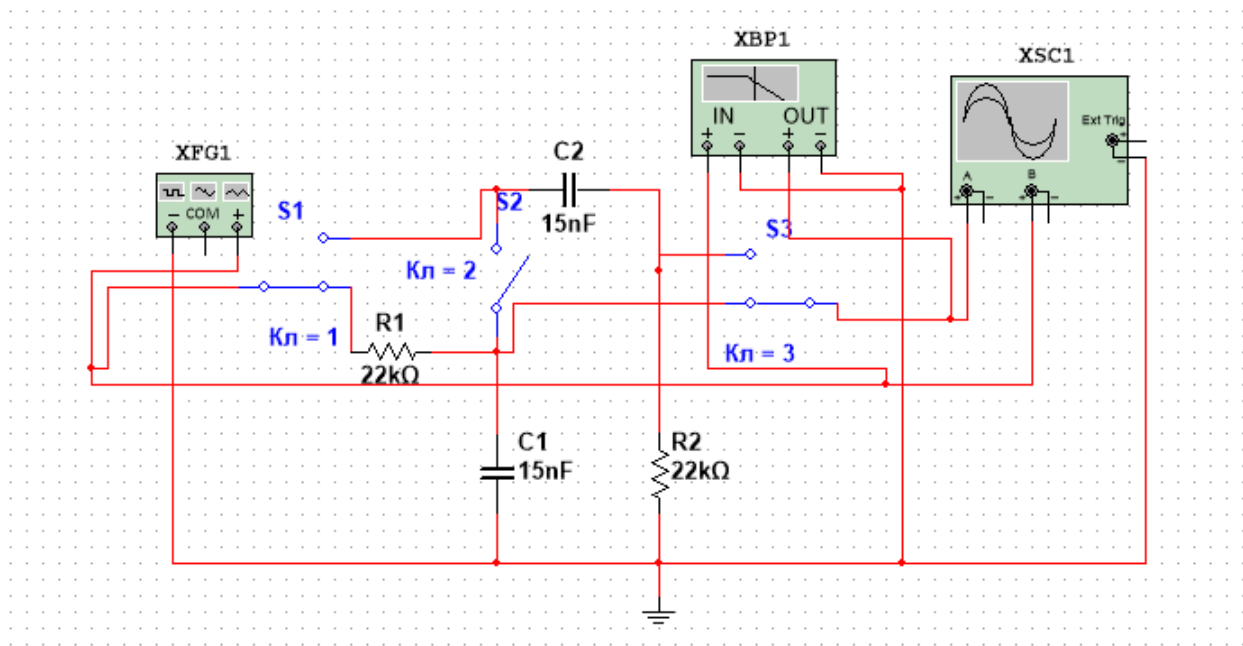
- резистори опором  $22\text{ кОм}$ ,
- конденсатори ємністю  $15\text{ нФ}$ ,
- XFG1 - функціональний генератор,
- XBP1 - Плотер Боде,
- XSC1 - осцилограф.

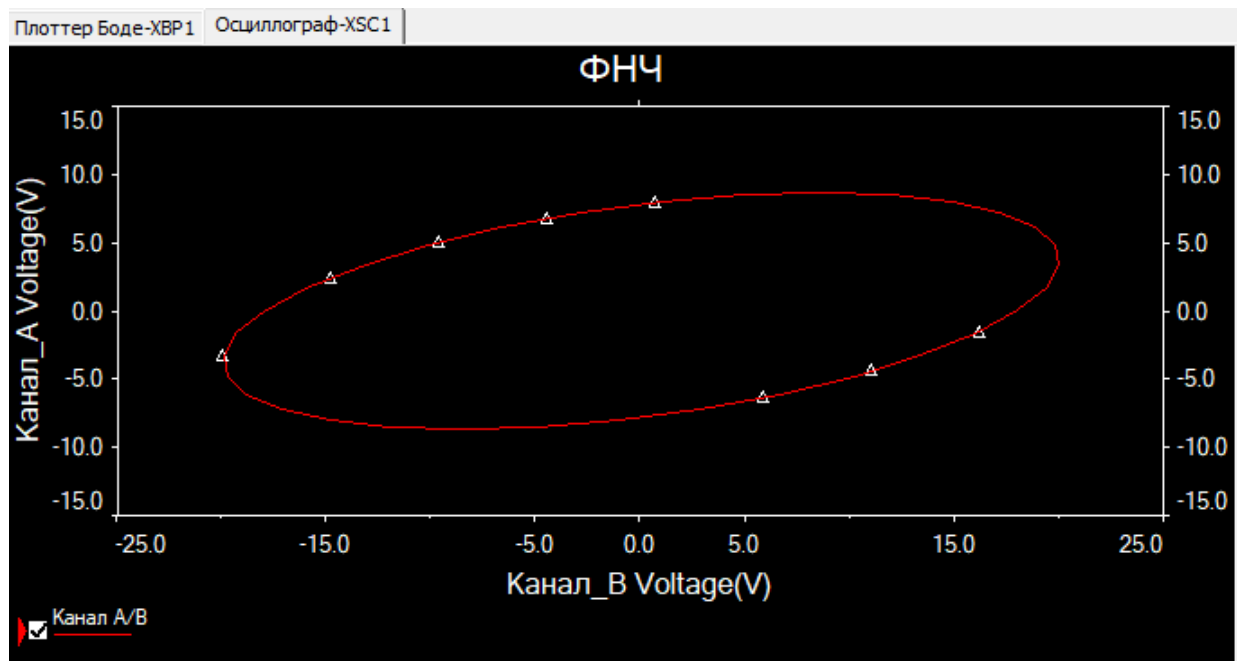
Переключаючи ключі, ми можемо отримати будь-яке з потрібних нам електричних кіл.

Надалі під необхідним експериментом я буду прикріпляти саму схему з необхідним положенням ключів, покази Плотера Боде та осцилографа.

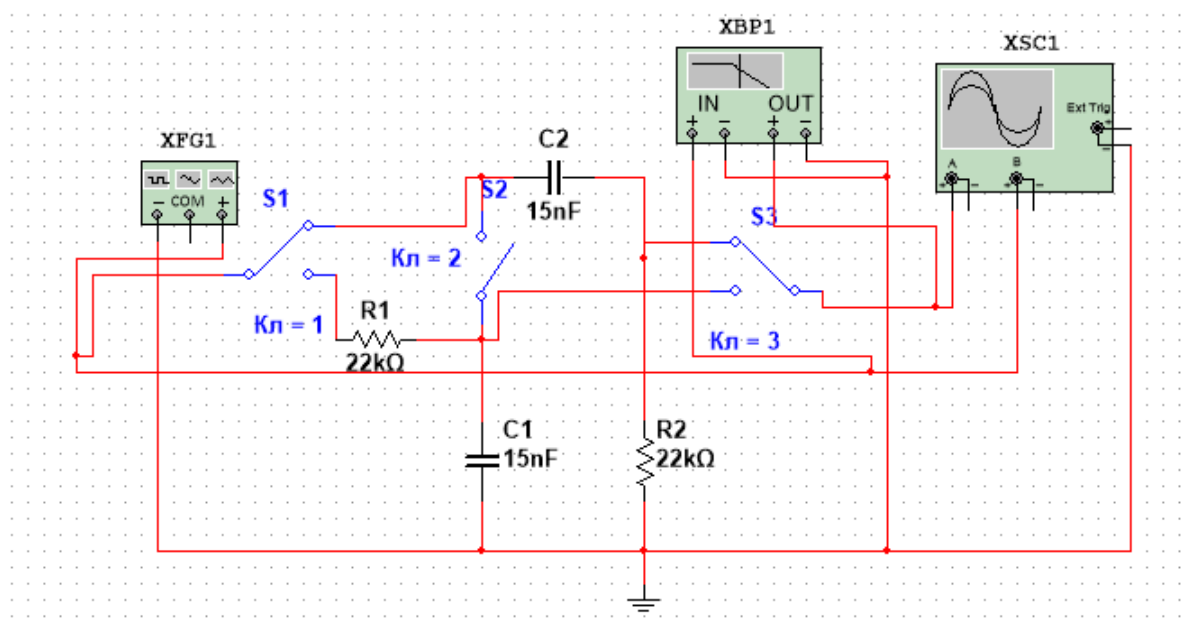


### 3.2. Фільтр низьких частот

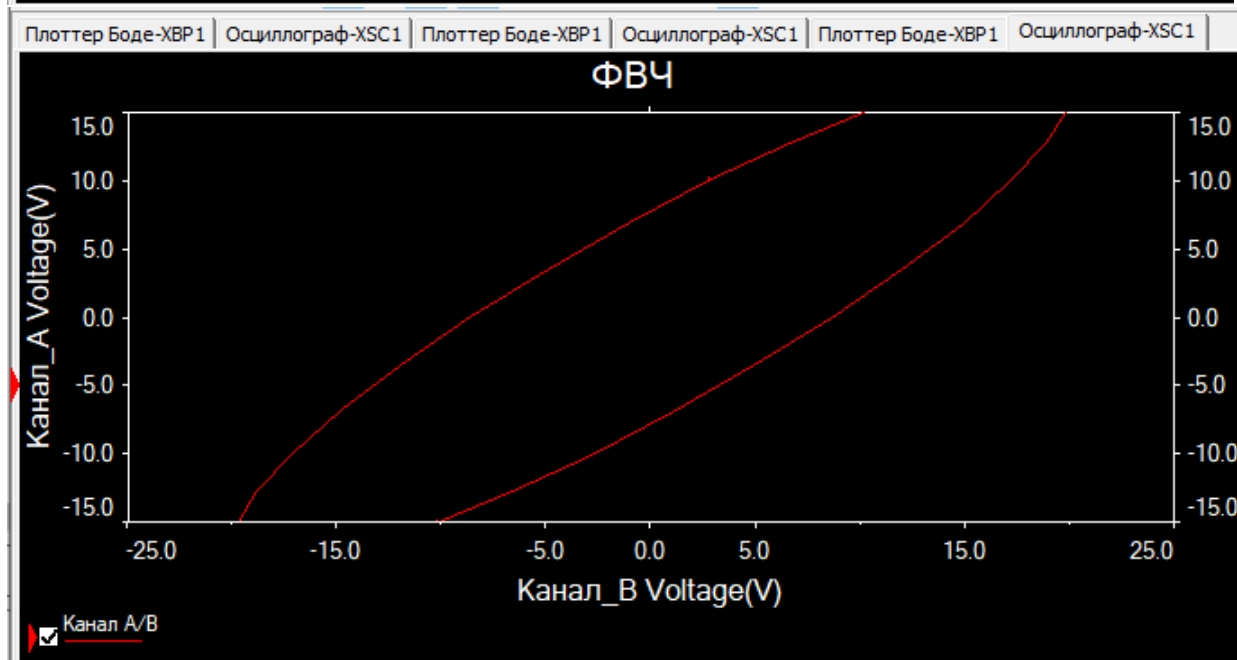
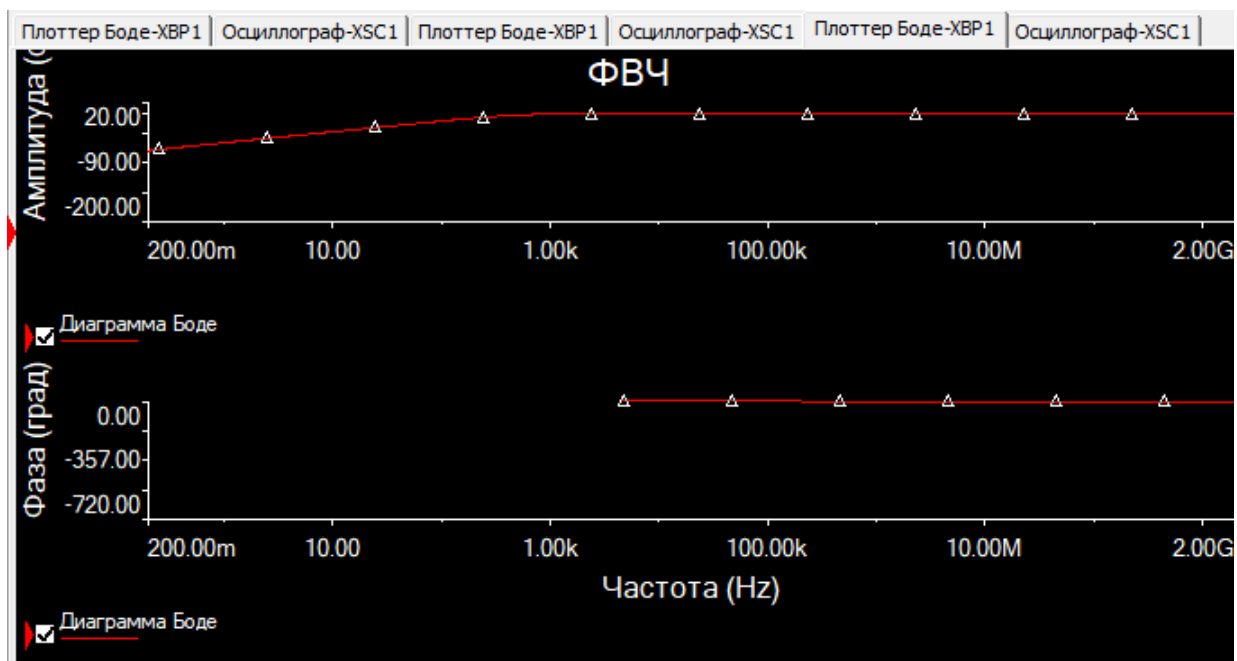




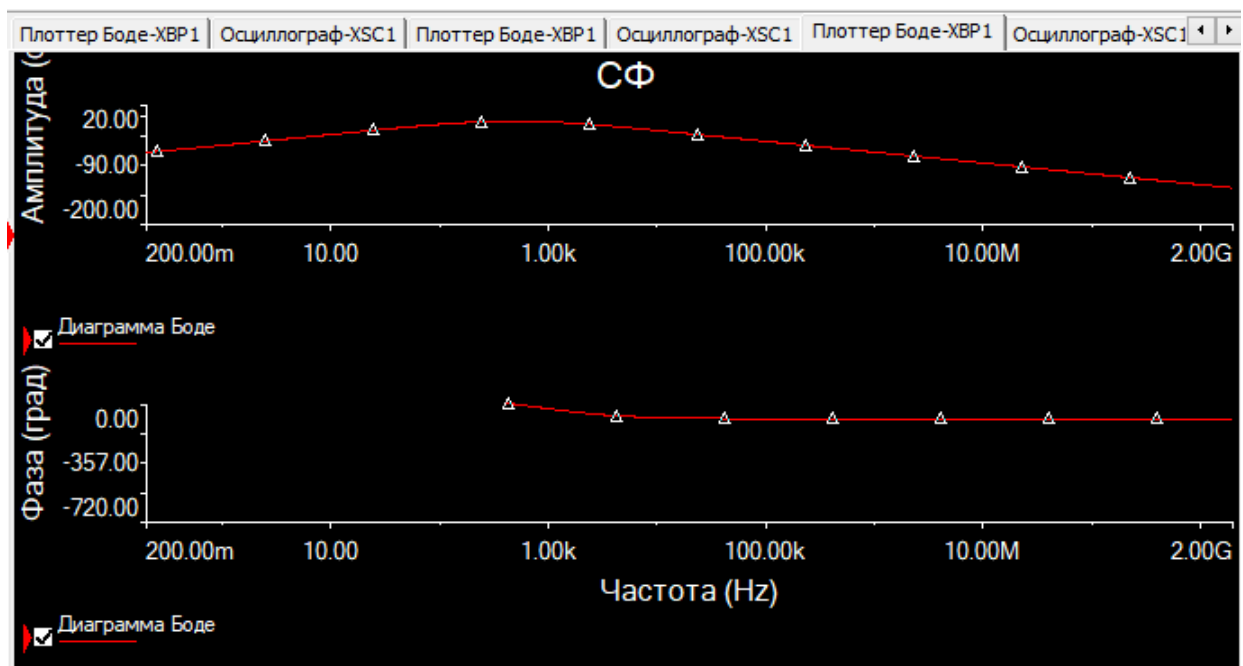
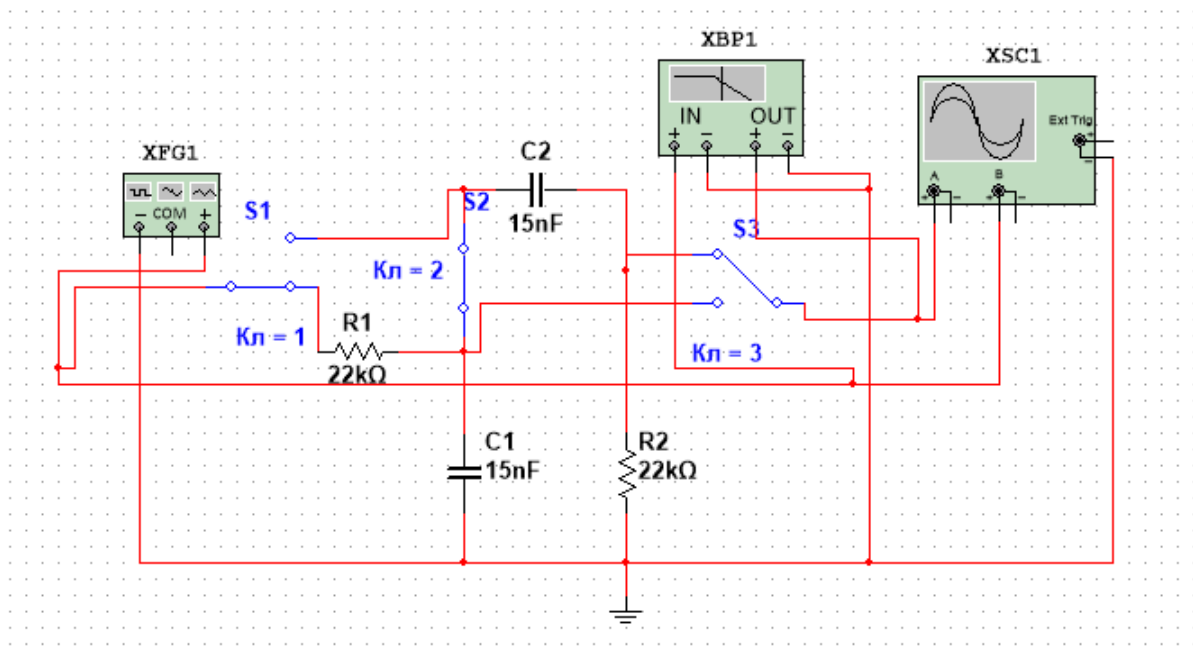
### 3.3. Фільтр високих частот

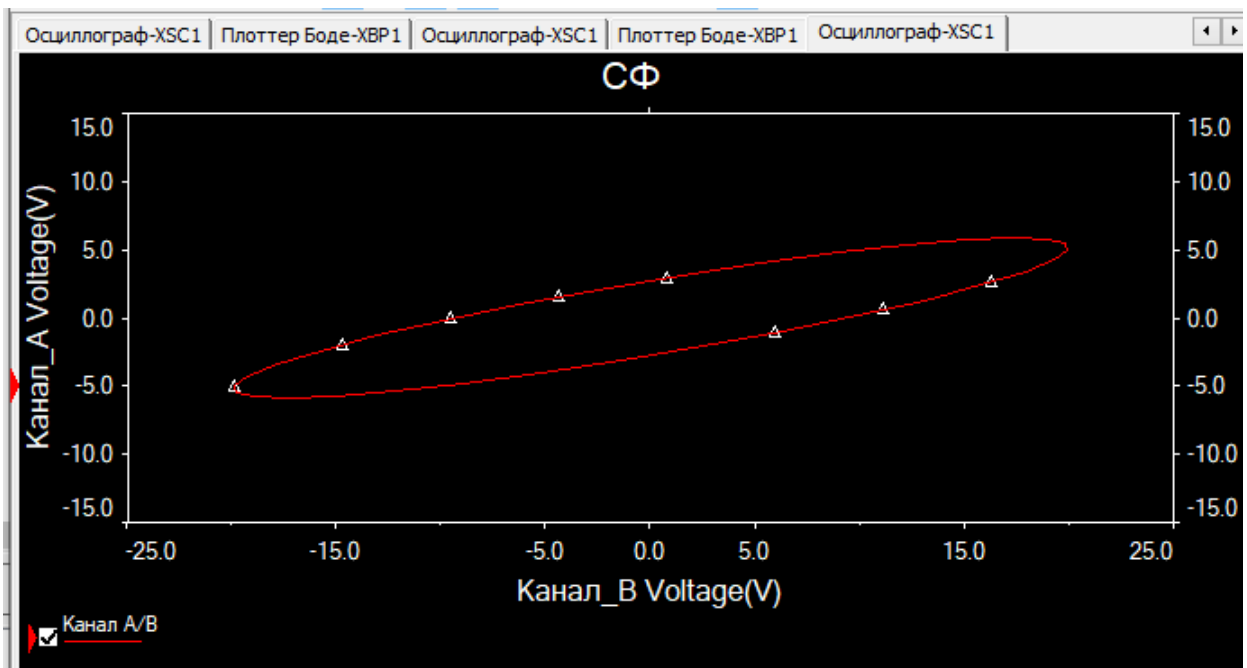






### 3.4. Смуговий фільтр





### 3.5. Висновки

Ми дослідили зміну параметрів гармонічних сигналів та прямокутних імпульсів при їх проходженні через пасивні лінійні чотириполосники, опанували методи вимірювання амплітудно-частотних та фазо-частотних характеристик пасивних фільтрів та їх перехідних характеристик.

В ході роботи було використано:

1) метод співставлення, тобто одночасного спостереження вхідного та вихідного сигналів на екрані двоканального осцилографа із наступним вимірюванням і порівнянням їх параметрів

2) метод фігур Лісажу, який полягає у спостереженні на екрані двоканального осцилографа замкнених кривих, які є результатом накладання двох коливань, що відбуваються у двох взаємно перпендикулярних напрямках (вхідний і вихідний сигнали подаються на пластини горизонтального та вертикального відхилення осцилографа відповідно). Як результат, дослідили і наочно переконалися в принципах роботи ФВЧ, ФНЧ та заго-роджувального фільтра, спостерігаючи проходження крізь них лише виділеної частини сигналу.

## 4. Відповіді на контрольні питання

### 4.1. Що таке чотириполіусник? У чому полягає відмінність лінійного чотириполіусника від нелінійного? Активного від пасивного?

**Чотириполіусник** — це електричне коло (ділянка електричного кола) з чотирма полюсами, зажимами, клемми або іншими засобами приєднання до нього інших електричних кіл чи ділянок електричних кіл.

**Пасивний чотириполіусник** — це такий чотириполіусник, який не здатний збільшувати потужність вхідного сигналу за рахунок додавання енергії від якогось іншого джерела енергії (внутрішнього чи зовнішнього по відношенню до чотириполіусника). Потужність, що виділяється в елементі кола, підключеного до виходу такого чотириполіусника, менша за потужність, що споживається від джерела сигналу, підключеного до входу чотириполіусника.

**Активний чотириполіусник** дозволяє збільшувати потужність вихідного сигналу порівняно з потужністю вхідного сигналу за рахунок внутрішніх або зовнішніх джерел енергії. Має містити активний елемент.

**Лінійний чотириполіусник** — це такий, для якого залежність між струмами, що течуть крізь нього, та напругами на його зажимах є лінійною. Такі чотириполіусники складаються з лінійних елементів.

**Лінійні елементи електричних кіл** — це такі елементи, параметри яких не залежать від величини струму, що протікає через них або від прикладеної до них напруги. На виході лінійних чотириполіусників, на відміну від нелінійних, не можуть утворюватися гармоніки (і т. д.) сигналу частоти, який подано на вхід.

**Нелінійний чотириполіусник** — це такий, який містить нелінійні елементи. Для нього згадані залежності між струмами та напругами при деяких їх величинах перестають бути лінійними, а на виході можуть з'являтися гармоніки частот вхідних сигналів

### 4.2. Назвіть види стандартних сигналів, суперпозицією яких можна представити будь-який періодичний сигнал

Синусоїдальним та косинусоїдальним сигналом з різними періодами (тобто ніщо інше, як розклад у Фур'є).

$$S(t) = \frac{A_0}{2} \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \cos(n\omega t) + B_n \sin(n\omega t)), \quad \omega = \frac{2\pi}{T}$$

Коефіцієнти знаходяться з наступних співвідношень

$$A_n = \frac{2}{T} \int_0^T S(t) \cos(n\omega t) dt \quad B_n = \frac{2}{T} \int_0^T S(t) \sin(n\omega t) dt$$

#### 4.3. Поясніть відмінність між частотною, імпульсною та перехідною характеристиками чотириполюсника. Як вони пов'язані між собою?

Маючи одну характеристику, можемо перейти до іншої за допомогою перетворення Фур'є. Наприклад, від частотної до імпульсної

$$g(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{K}(\omega) e^{i\omega t} d\omega$$

або від імпульсної до частотної

$$\tilde{K}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t) e^{-i\omega t} dt$$

І на десерт, від імпульсної до перехідної

$$h(t) = \int_0^t g(t') dt' \quad h(t) = 0 \text{ for } t < 0$$

#### 4.4. Що називається спектром сигналу? Для яких сигналів спектр буде дискретним, а для яких неперервним?

Спектр сигналу — це сукупність значень амплітуд усіх гармонічних складових для усіх циклічних частот  $n\omega$  або сукупність значень амплітуд усіх гармонічних складових для усіх циклічних частот  $\omega$ .

Якщо множина частот гармонічних коливань, на які розкладено сигнал, дискретна, то і спектр дискретний; якщо множина частот неперервна, то і спектр неперервний. Якщо спектр дискретний, то очевидно що ми беремо суму. При неперервності сума переходить у інтеграл.

$$S(t) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n \cos(\omega_n t + \Phi_n)$$
$$S(t) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} F(\omega) \cos(\omega t + \Phi(\omega)) d\omega$$

#### 4.5. Які пасивні чотириполюсники називаються фільтрами електричних сигналів? Що таке АЧХ і ФЧХ фільтрів?

**Фільтри електричних сигналів** - пасивні лінійні чотириполюсники, призначені для виділення певних спектральних складових електричних сигналів.

**АЧХ** - (амплітудно-частотна характеристика) — залежність відношення модулів амплітуд вихідного і вхідного гармонічних сигналів від їх частоти, яка є не чим іншим як залежністю модуля коефіцієнта передачі від частоти  $\omega$

**ФЧХ** - (фазо-частотна характеристика) — залежність аргумента комплексного коефіцієнта передачі від частоти, тобто різниці фаз між вихідним і вхідним гармонічними сигналами на частоті  $\omega$ .

#### 4.6. Виведіть формули для АЧХ і ФЧХ фільтрів нижніх частот, верхніх частот та смугового фільтра

Для ФНЧ спочатку виведемо АЧХ:

Позначимо вхідну напругу як  $U_0$ , а вихідну як  $U$ . Тоді:

$$\begin{aligned}\frac{U}{U_0} &= \frac{X_C}{X_C + R} & X_C &= \frac{1}{i\omega C} \\ \frac{U}{U_0} &= \frac{1}{i\omega C(\frac{1}{i\omega C} + R)} \\ |K(\omega)| &= \left| \frac{U}{U_0} \right| = \sqrt{R'(\frac{1}{1+i\omega RC})^2 R''(\frac{1}{1+i\omega RC})^2} = \\ &= \sqrt{\frac{1}{(1+(\omega RC)^2)^2} + \frac{(-\omega RC)^2}{1+(\omega RC)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}}\end{aligned}$$

Отримаємо:

$$|K(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}}$$

Тепер знайдемо ФЧХ:

$$\begin{aligned}\varphi(\omega) &= \arctg\left(\frac{R''(\frac{1}{1+i\omega RC})}{R'(\frac{1}{1+i\omega RC})}\right) = \\ &= \arctg\left(\frac{-\omega RC \cdot (1+(\omega RC)^2)}{1+(\omega RC)^2}\right) = \arctg(-\omega RC)\end{aligned}$$

Отримаємо:

$$\varphi(\omega) = \arctg(-\omega RC)$$

Аналогічним чином робимо для ФВЧ та СФ. Для ФВЧ отримаємо наступне АЧХ (позначення залишаються такими ж):

$$\begin{aligned}\frac{U}{U_0} &= \frac{i\omega RC}{1+i\omega RC} \\ |K(\omega)| &= \frac{\omega RC}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}}\end{aligned}$$

Для ФВЧ отримаємо наступний ФЧХ:

$$\varphi(\omega) = \arctg\left(\frac{1}{\omega RC}\right)$$

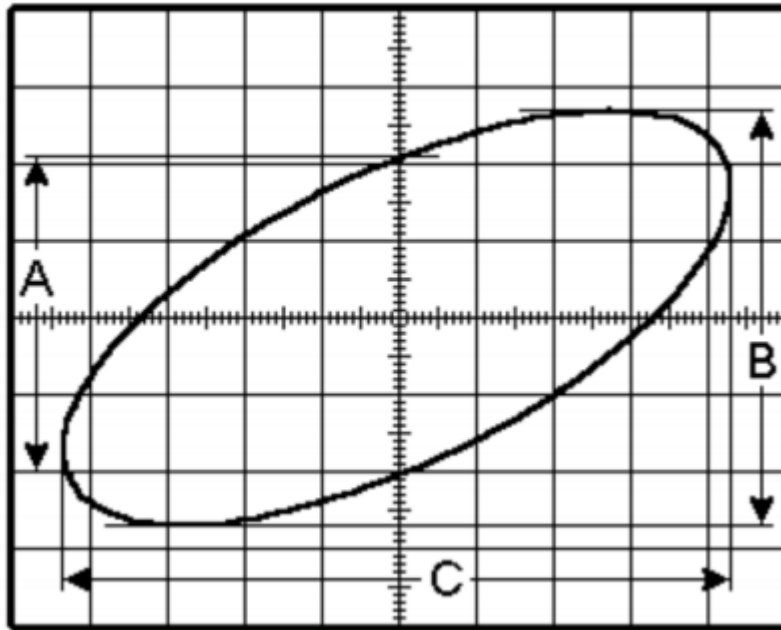
Для СФ отримаємо АЧХ:

$$|K(\omega)| = \left| \frac{U}{U_0} \right| = \frac{1}{\sqrt{9 + \left(\frac{1-(\omega RC)^2}{3\omega RC}\right)^2}}$$

Для СФ отримаємо наступну ФЧХ:

$$\varphi(\omega) = \arctg\left(\frac{1-(\omega RC)^2}{3\omega RC}\right)$$

**4.7. Яким чином за допомогою методу фігур Лісажу можна виміряти АЧХ і ФЧХ фільтрів?**



$$K = \frac{B}{C} \quad \Phi = \arcsin\left(\frac{A}{B}\right)$$

**4.8. Чому фільтр нижніх частот називають інтегрувальною ланкою, а фільтр верхніх частот – диференціальною?**

Бо їх якщо порівнювати їх ВАХ, то графік для вхідної та вихідної струму/напруги/тощо будуть виглядати як графік ф-ії та її інтегралу (якщо маємо справу з ФНЧ) або похідною (якщо маємо справу з ФВЧ).