

УДК 0053.08 (002.21)

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

ЗВІТ

до лабораторної роботи №2:
«Проходження сигналів через пасивні лінійні чотирьохполюсники»

Лінчаковський С. М.

Київ, 2021

РЕФЕРАТ

Звіт доЛР №2: /// 20 сторінок /// 21 рис., /// 4 джерел.

РС-ФІЛЬТРИ, ЧОТИРИПОЛЮСНИКИ, МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМ, МЕТОД СПІВСТАВЛЕННЯ, МЕТОД ФІГУР ЛІСАЖУ, LTSPICE.

Мета роботи — дослідити зміну параметрів прямокутних імпульсів та гармонічних сигналів при проходженні через пасивні лінійні чотириполіусники, опанувати методи вимірювання амплітудно-частотних та фазо-частотних характеристик пасивних РС-фільтрів та їх перехідних характеристик.

Об'єкт дослідження — пасивні лінійні чотириполіусники, перетворення прямокутних та гармонічних сигналів при проходженні через такі чотириполіусники.

Методи дослідження — в роботі використовуються:

- 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).

ЗМІСТ

Частина 1. Теоретичні відомості.	с.
I. Основні означення.....	4
Частина 2. Виконання роботи.	
I. Фільтр нижніх частот	
1. Налаштування джерела напруги.....	5
2. Схема.....	5
3. Фігури Лісажу.....	6
4. Амплітудно-фазова частотна характеристика.....	6
II. Фільтр верхніх частот.	
1. Налаштування джерела напруги.....	7
2. Схема.....	7
3. Фігури Лісажу.....	8
4. Амплітудно-фазова частотна характеристика.....	8
III. Загороджувальний фільтр.	
1. Схема.....	9
2. Фігури Лісажу.....	10
3. Амплітудно-фазова частотна характеристика.....	10
IV. Смуговий фільтр.	
1. Налаштування джерела напруги.....	11
2. Схема.....	12
3. Фігури Лісажу.....	12
4. Амплітудно-фазова частотна характеристика.....	12
Висновки.....	13
Частина 3. Контрольні запитання.	14
Джерела.	19

Розділ I. Теоретичні відомості

- **Чотириполіусник** (англ. two-port, four-terminal, quadripole) – 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).
- **Лінійний чотириполіусник** – це такий, для якого залежність між струмами, що течуть через 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. До лінійних елементів електричних кіл (для певного інтервалу величин струмів та напруг) можна віднести реальні резистори, конденсатори й котушки індуктивності.
- **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. Центральним питанням при вивченні, розробці та застосуванні чотириполіусників є зв'язок між електричним сигналом (напругою, струмом) на виході чотириполіусника та електричним сигналом на його вході. Коли обирають лінійні чотириполіусники, то виходять зазвичай з однієї із двох потреб: неспотвореної передачі форми сигналу або цілеспрямованого перетворення форми сигналу. Для лінійних чотириполіусників задача відшукування такого зв'язку значно спрощується саме завдяки лінійності рівнянь, що описують цей зв'язок, оскільки для лінійних рівнянь сума будь-яких двох розв'язків рівняння також є розв'язком цього рівняння.

Частина 2. Виконання роботи.

I. Фільтр нижніх частот.

Для моделювання ФНЧ використовується джерело змінної напруги, характеристики джерела наведені на рис. 1

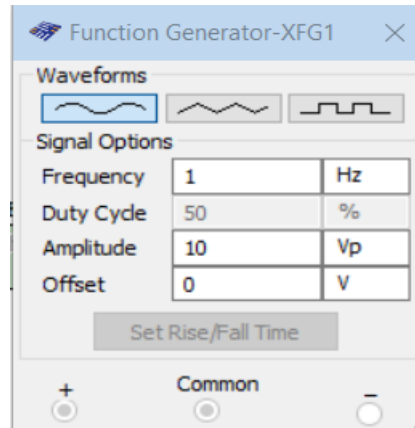


Рис. 1. Параметри джерела напруги

На рис. 2 зображена схема ФНЧ

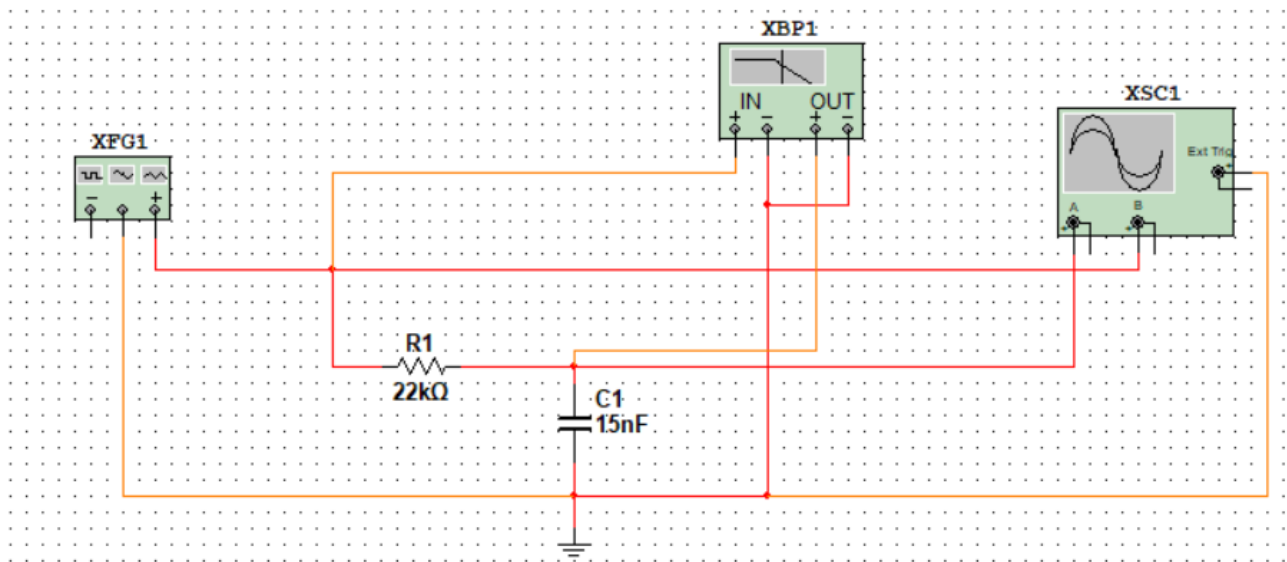


Рис. 2. Схема ФНЧ

Рзглянемо тепер результати, а саме: рис. 3 «Дані з осцилографа ФНЧ», рис 4. «Фігури Лісажу ФНЧ» та рис. 5 «АЧХ та ФЧХ ФНЧ»

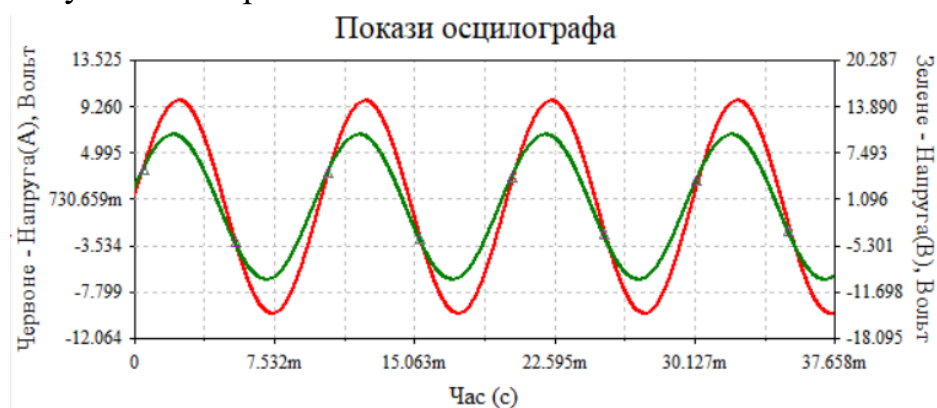


Рис. 3 Дані з осцилографа ФНЧ

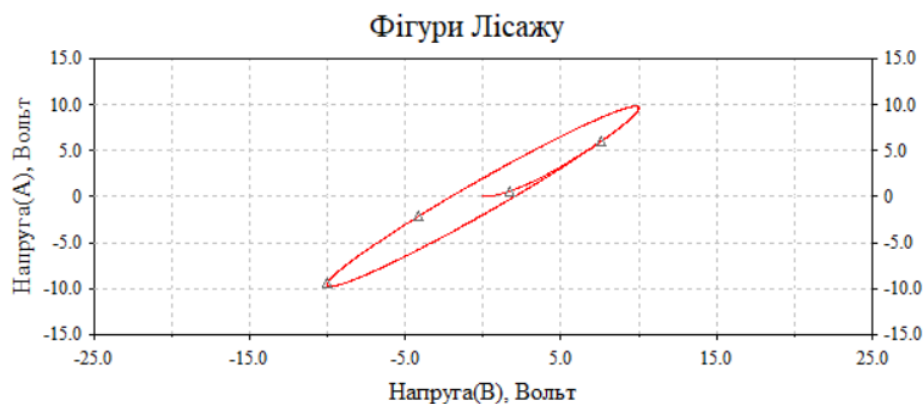


Рис. 4. Фігури Лісажу ФНЧ

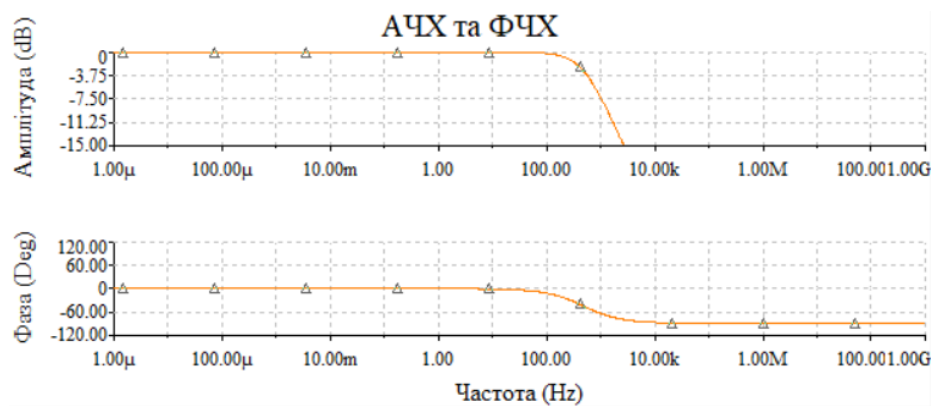


Рис. 5. ФЧХ та АЧХ ФНЧ

II. Фільтр верхніх частот.

Для моделювання ФВЧ використовується джерело змінної напруги, характеристики джерела наведені на рис. 6

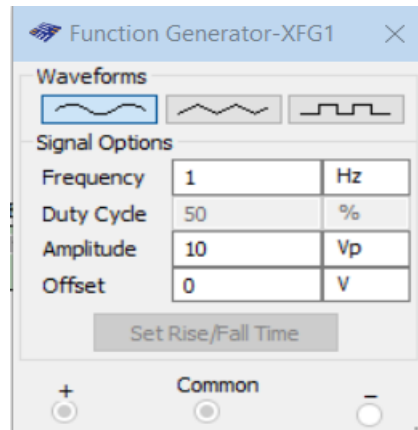


Рис. 6. Параметри джерела напруги

На рис. 7 зображена схема ФВЧ

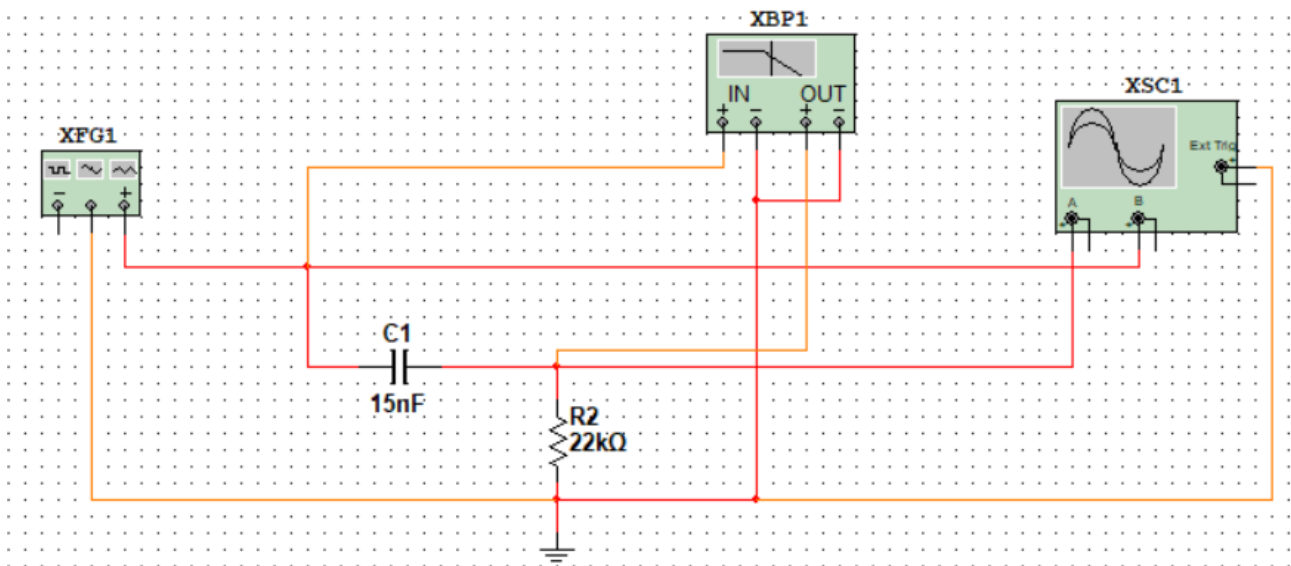


Рис. 7. Схема ФВЧ

Рзглянемо тепер результати, а саме: рис. 8 «Дані з осцилографа ФВЧ», рис 9. «Фігури Лісажу ФВЧ» та рис. 10 «АЧХ та ФЧХ ФВЧ»

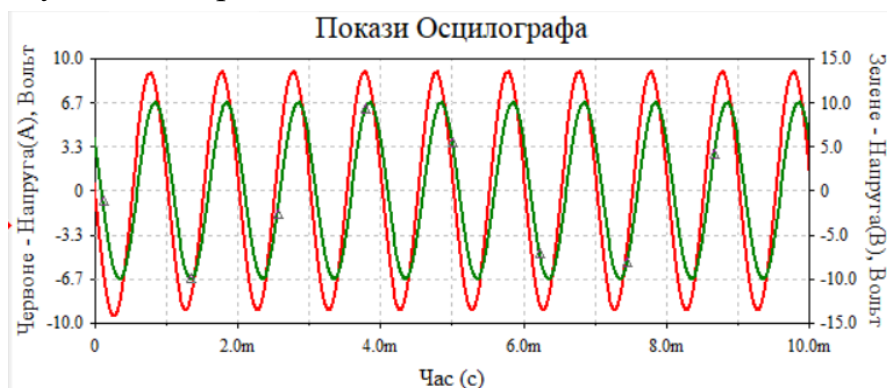


Рис. 8 Дані з осцилографа ФВЧ

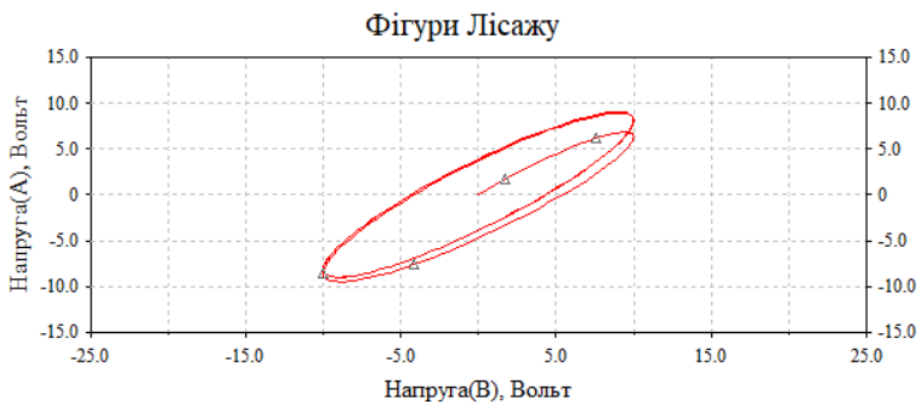


Рис. 9. Фігури Лісажу ФВЧ

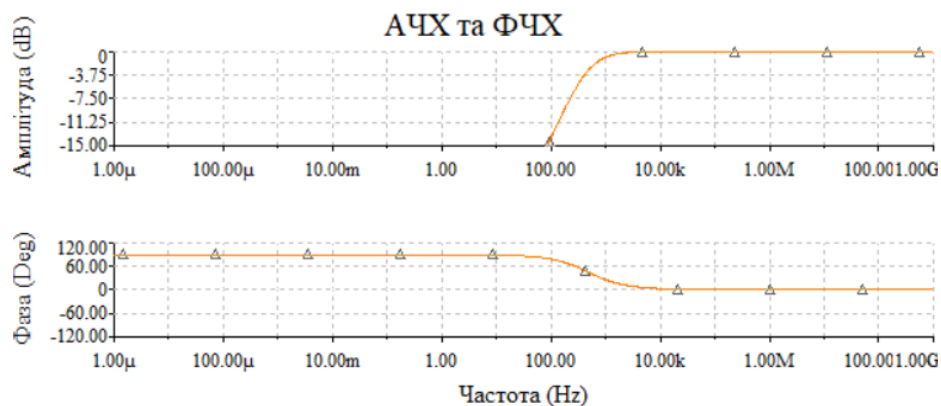


Рис. 10. ФЧХ та АЧХ ФВЧ

Ш. Загороджувальний.

Для моделювання загороджувального чотирьохполюсника використовується джерело змінної напруги, характеристики джерела наведені на рис. 11

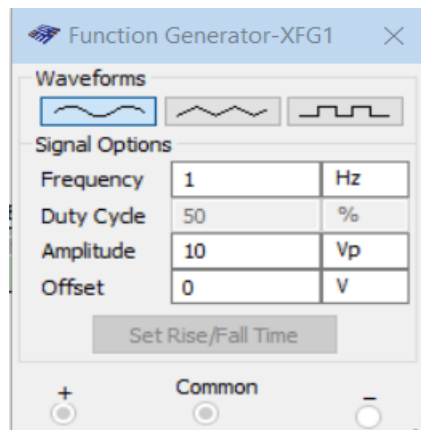


Рис. 11. Параметри джерела напруги

На рис. 12 зображена схема загороджувального чотирьохполюсника

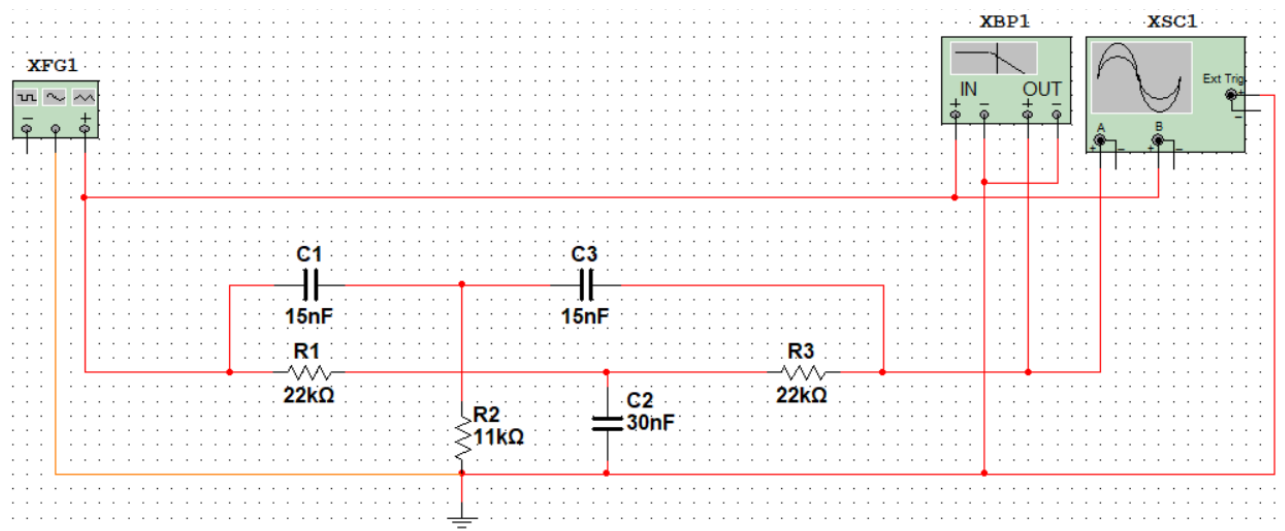


Рис. 12. Схема загороджувального чотирьохполюсника

Рзглянемо тепер результати, а саме: рис. 13 «Дані з осцилографа загороджувального чотирьохполюсника», рис 14. «Фігури Лісажу загороджувального чотирьохполюсника» та рис. 15 «АЧХ та ФЧХ загороджувального чотирьохполюсника»

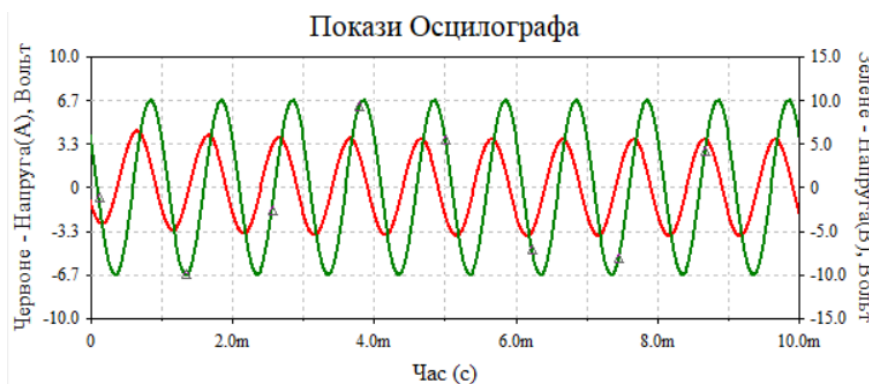


Рис. 13 Дані з осцилографа загороджувального чотирьохполюсника

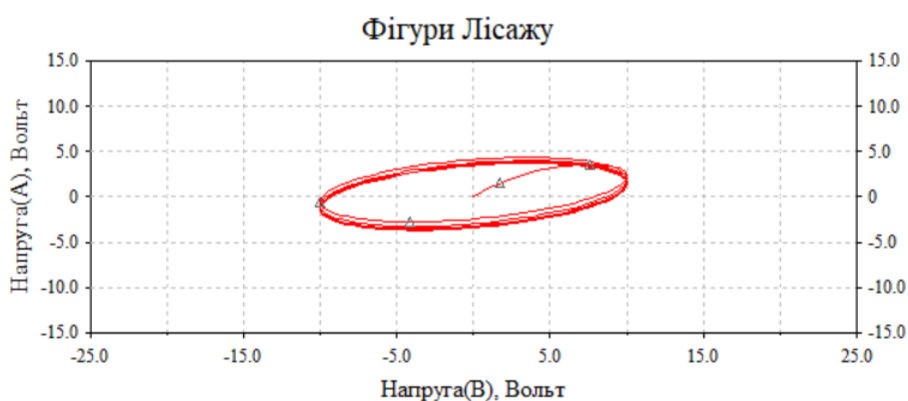


Рис. 14. Фігури Лісажу загороджувального чотирьохполюсника

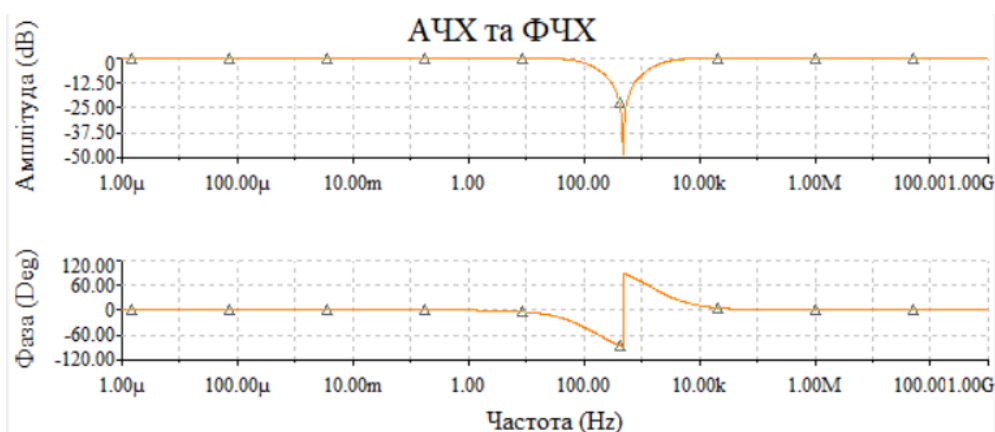


Рис. 15. ФЧХ та АЧХ загороджувального чотирьохполюсника

III. Смуговий

Для моделювання смугового чотирьохполюсника використовується джерело змінної напруги, характеристики джерела наведені на рис. 16

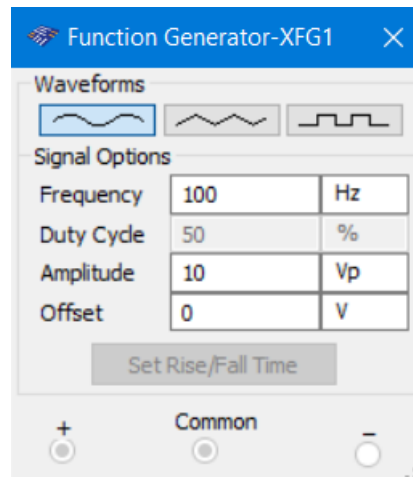


Рис. 16. Параметри джерела напруги

На рис. 17 зображена схема смугового чотирьохполюсника

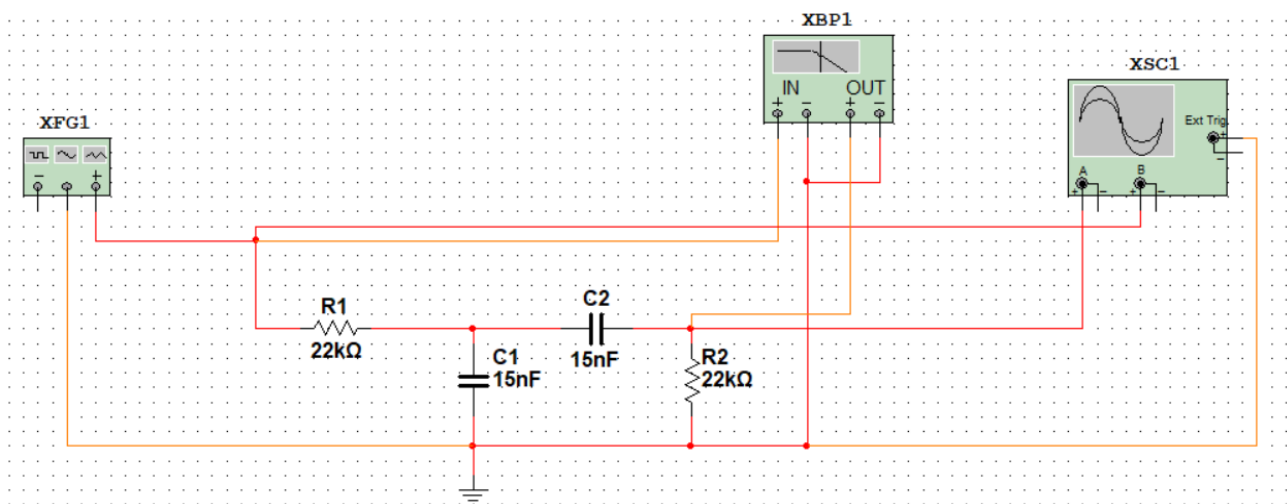


Рис. 17. Схема смугового чотирьохполюсника

Рзглянемо тепер результати, а саме: рис. 18 «Дані з осцилографа смугового чотирьохполюсника», рис 19. «Фігури Лісажу смугового чотирьохполюсника» та рис. 20 «АЧХ та ФЧХ смугового чотирьохполюсника»

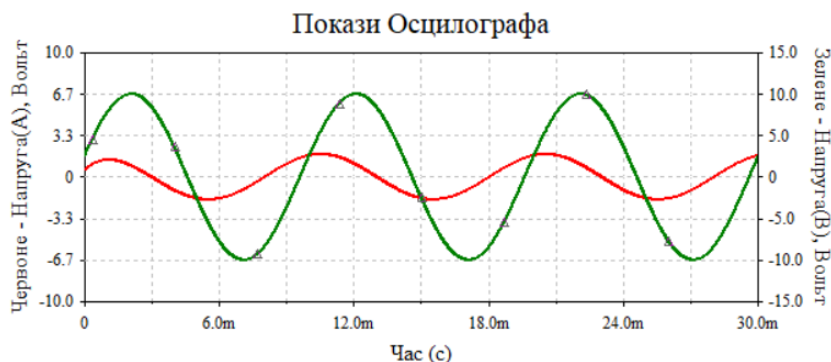


Рис. 18 Дані з осцилографа смугового чотирьохполюсника

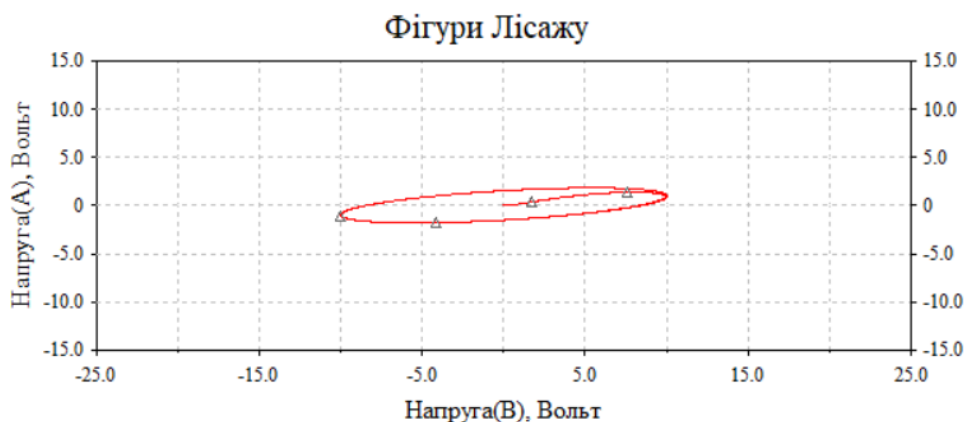


Рис. 19. Фігури Лісажу за смугового чотирьохполюсника

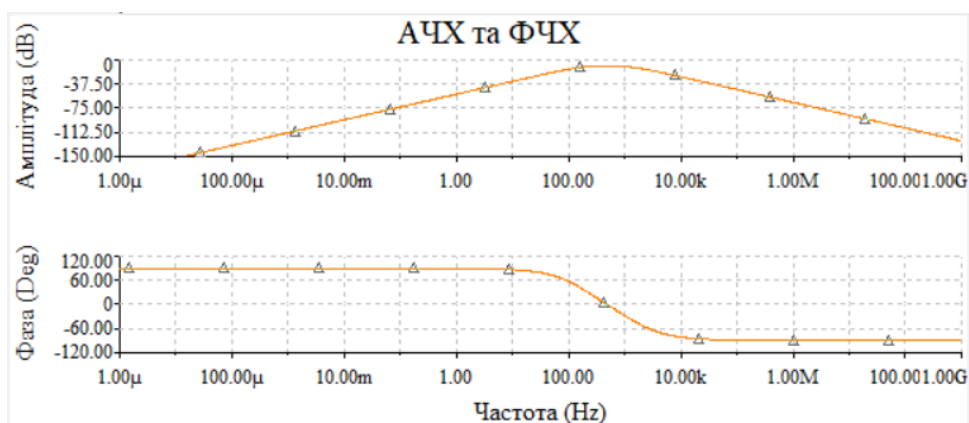


Рис. 20. ФЧХ та АЧХ смугового чотирьохполюсника

Частина 3. Висновки.

У ході даної лабораторної роботи ми дослідили зміну параметрів гармонічних сигналів та прямокутних імпульсів при їх проходженні через пасивні лінійні чотириполіусники, опанували методи вимірювання амплітудно-частотних та фазо-частотних характеристик пасивних RC-фільтрів та їх перехідних характеристик. Ми використовували: 1) метод співставлення, тобто одночасного спостереження вхідного та вихідного сигналів на екрані двоканального осцилографа із наступним вимірюванням і порівнянням їх параметрів та 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 загороджувального фільтра, спостерігаючи проходження крізь них лише виділеної частини сигналу.

Частина 4. Відповіді на контрольні питання.

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, клемами або іншими засобами приєднання до нього інших електричних кіл чи ділянок електричних кіл.

Лінійний чотириполіусник — це такий, для якого залежність між струмами, що течуть крізь нього, та напругами на його зажимах є лінійною.

Нелінійний чотириполіусник — це такий, для якого згадані залежності між струмами та напругами при деяких їх величинах перестають бути лінійними, а на виході можуть з'являтися гармоніки частот вхідних сигналів.

Активний чотириполіусник дозволяє збільшувати потужність вихідного сигналу порівняно з потужністю вхідного сигналу за рахунок внутрішніх або зовнішніх джерел енергії.

Пасивний чотириполіусник — це такий чотириполіусник, який не здатний збільшувати потужність вхідного сигналу за рахунок додавання енергії від якогось іншого джерела енергії.

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

З математичного аналізу відомо, що будь-який періодичний сигнал можна представити у вигляді тригонометричного ряду Фур'є:

$$S(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t)$$

де

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

T — період періодичного сигналу, що розкладається.

$$a_n = \frac{2}{T} \int_T S(t) \cos n\omega t \cdot dt, b_n = \frac{2}{T} \int_T S(t) \sin n\omega t \cdot dt$$

3. Поясніть відмінність між частотною, імпульсною та перехідною характеристиками чотиріполюсника. Як вони пов'язані між собою?

З теоретичної та інформативної точок зору всі три способи опису властивостей чотиріполюсника рівноправні і, маючи одну з характеристик, можна однозначно перейти до іншої.

Частотна характеристика $K(\omega)$ є Фур'є-образом імпульсної характеристики $g(t)$ і навпаки:

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

Імпульсна характеристика $g(t)$ є першою похідною від перехідної $h(t)$, а перехідна — інтегралом імпульсної.

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

Застосування тієї чи іншої характеристики зумовлено лише зручністю їх експериментального одержання та використання.

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

Спектр сигналу — це сукупність значень амплітуд усіх гармонічних складових $|U_{n0}|$ для усіх циклічних частот $n\omega$ або сукупність значень амплітуд усіх гармонічних складових $|U_{0\omega}|$ для усіх циклічних частот ω .

Якщо множина частот гармонічних коливань, на які розкладено сигнал, дискретна, то і спектр дискретний; якщо множина частот неперервна, то і спектр неперервний, тобто:

- Дискретний при

$$S(t) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n \cos(\omega_n t + \Phi_n)$$

- Неперервний при

$$S(t) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} F(\omega) \cos(\omega t + \Phi(\omega)) d\omega$$

5. Які пасивні чотириполіусники називаються фільтрами електричних сигналів? Що таке АЧХ і ФЧХ фільтрів?

В схемотехніці пасивні **лінійні** чотириполіусники, призначені для виділення певних спектральних складових електричних сигналів, називають **фільтрами електричних сигналів**. а

Амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) — залежність відношення модулів амплітуд вихідного і вхідного гармонічних сигналів від їх частоти, яка є не чим іншим як залежністю модуля коефіцієнта передачі від частоти ω . Φ

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

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

I. ФНЧ.

а) АЧХ.

Співвідношення напруг на виході та вході:

$$\frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{X_C}{X_C + R}$$

Підставимо $X_C = \frac{1}{i\omega C}$. Маємо:

$$\begin{aligned} \frac{U_{out}}{U_{in}} &= \frac{X_C}{X_C + R} = \frac{1}{i\omega C \cdot \left(\frac{1}{i\omega C} + R\right)} \\ |K(\omega)| &= \left| \frac{U_{out}}{U_{in}} \right| = \sqrt{\Re \left(\frac{1}{1 + i\omega RC} \right)^2 + \Im \left(\frac{1}{1 + i\omega RC} \right)^2} = \\ &= \sqrt{\frac{1}{(1 + (\omega RC)^2)^2} + \frac{(-\omega RC)^2}{(1 + (\omega RC)^2)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} \end{aligned}$$

б) ФЧХ.

$$\varphi(\omega) = \operatorname{arctg} \left(\frac{\Im \left(\frac{1}{1 + i\omega RC} \right)}{\Re \left(\frac{1}{1 + i\omega RC} \right)} \right) = \operatorname{arctg} \left(\frac{-\omega RC \cdot (1 + (\omega RC)^2)}{(1 + (\omega RC)^2) \cdot 1} \right) = \operatorname{arctg}(-\omega RC)$$

II. ФВЧ.

Аналогічно до ФНЧ:

а) АЧХ.

Співвідношення напруг на виході та вході:

$$\frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{i\omega RC}{1 + i\omega RC}$$

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

б) ФЧХ.

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

III. Смуговий фільтр.

Аналогічно до ФНЧ та ФВЧ:

а) АЧХ.

Співвідношення напруг на виході та вході:

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

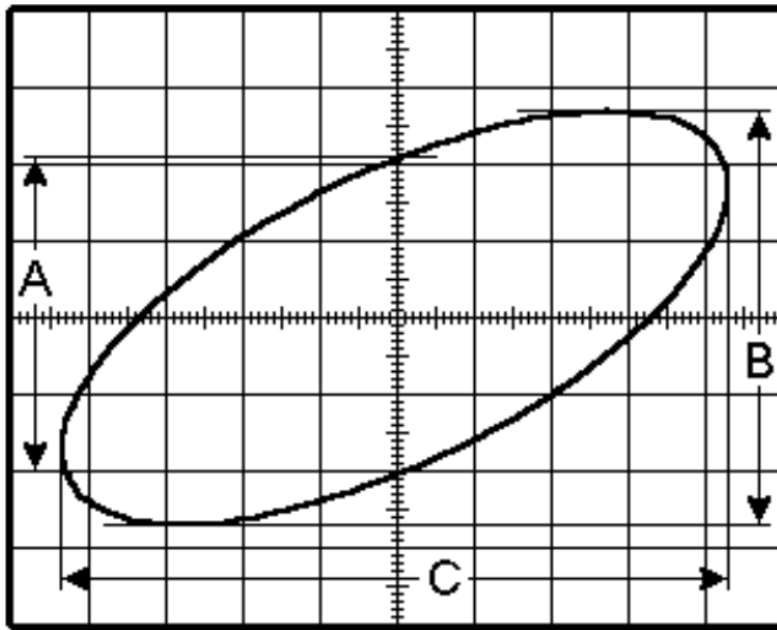
б) ФЧХ.

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

7. Яким чином при одночасному спостереженні на екрані двоканального осцилографа вхідного і вихідного сигналів деякого фільтра можна визначити його тип (фільтр НЧ чи ВЧ)?

Як видно із рис. 3 та 8, для фільтра високих частот маємо більшу частоту показів. Крім того, амплітуди U_{in} та U_{out} для ФНЧ однакові, проте для ФВЧ амплітуда на виході дещо нижча. До того ж на виході ФНЧ синусоїда напруги зміщена вправо, ФВЧ — вліво. За цими трьома факторами можна визначити тип фільтра

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



$$K = \frac{B}{C}$$

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

Рис. 21. Фігури Лісажу для АЧХ та ФЧХ

9. Поясніть форму вихідних сигналів нижніх і верхніх частот при подачі на їх вхід сигналів сигналу у вигляді послідовності прямокутних імпульсів. Якщо на такий же одноланковий фільтр подати сходиноподібну напругу, то напруга на виході, яка дорівнює різниці потенціалів U_C між обкладинками конденсатора C , буде змінюватися відповідно до рівняння, що пов'язує швидкість зміни напруги на конденсаторі з величиною зарядного струму I .

$$U_C = U_{in}(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

Рівняння описує перехідну характеристику фільтра нижніх частот. Добуток $\tau_{RC} = RC$ називають сталою часу цього електричного кола.

Якщо через час $t \ll \tau_{RC}$ вимкнути вхідну напругу, тобто $U_{in} = 0$, то вихідна напруга буде змінюватись за законом:

$$U_C = U_{in}(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

Спробуємо якісно розглянути фізичні явища, що відбуваються в колі. Коли ключ під'єднує схему до джерела напруги U_{in} , конденсатор C заряджається через опір R . Коли ключ розімкнено ($U_{in} = 0$), конденсатор розряджається – напруга на ньому експоненційно спадає з часом. За час, що дорівнює τ_{RC} , напруга на конденсаторі зменшується в e . Очевидно, що для заданого τ форма вихідної

напруги буде залежати від швидкості перемикань ключа.

При $t \ll \tau_{RC}$ вихідна напруга буде пропорційна інтегралу від вхідної. Тому розглянуте коло іноді називають інтегрувальною ланкою. Справді, якщо розглянути початкову ділянку зміни вихідної напруги, тобто в околі $t = 0$, то виявимо функцію, дуже близьку до лінійної. Наведена умова інтегрування також означає, що швидкість зміни вхідного сигналу набагато більша за швидкість заряджання конденсатора. З АЧХ видно, що область частот вхідного сигналу повинна бути більшою за частоту зрізу, тобто розташовуватися в області похилої ділянки діаграми Бode.

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

Фільтр верхніх частот відрізняється лише тим, що вихідна напруга знімається не з конденсатора, а з резистора. Так що значення цієї напруги буде прямо пропорційне струмові заряду конденсатора. При миттєвому стрибку постійної напруги на вході ($t = 0$) вихідна напруга стане рівною вхідній, оскільки реактивний опір конденсатора для таких високочастотних гармонік близький до нуля (або, іншими словами, заряд конденсатора в початковий момент часу рівний нулю: його заряджання відбувається за експоненціальним законом зі сталою часу τ). Таким чином, вихідна напруга пропорційна швидкості зміни вхідного сигналу. Таке коло одержало назву **диференціювальної ланки**. Розглянута умова, за якої швидкість зміни вхідного сигналу суттєво менша за швидкість заряджання конденсатора, також відповідає похилій ділянці амплітудно-частотної характеристики, але протилежного знаку.

Частина 5. Список використаних джерел.

1. Методичні вказівки до практикуму «Основи радіоелектроніки» для студентів фізичного факультету / Упоряд. О.В.Слободянюк, 2
2. . Ю.О.Мягченко, В.М.Кравченко.- К.: Поліграфічний центр «Принт лайн», 2007.- 120 с.
3. 3. Ю.О. Мягченко, Ю.М. Дулич, А.В.Хачатрян “Вивчення радіоелектронних схем методом комп’ютерного моделювання” : Методичне видання. – К.: 2006.- с.
4. 4. https://kpfu.ru/staff_files/F1700343876/SPEKTRY_02.01.15.pdf