

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ
ТАРАСА ШЕВЧЕНКА
Моделювання пасивних RC фільтрів

Качур Артем

21 квітня 2021 р.

Зміст

1	Реферат	3
2	Вступ	4
3	Моделювання пасивних RC фільтрів	5
3.1	Теоретична частина моделювання	5
3.2	Моделювання в LTspice	8
4	Висновок	12

1 Реферат

Звіт про виконання лабораторної роботи: 12 с., 4 ч., 11 рис.

RC-ФІЛТР, АЧХ, ВПЛИВ НА СИНУСОЇДАЛЬНИЙ СИГНАЛ, ЗВ'ЯЗОК МІЖ КАСКАДАМИ, СМУГА ПРОПУСКАННЯ, ФЧХ, ХАРАКТЕРНИЙ ЧАС.

Об'єкт дослідження – процеси проходження струму через пасивні RC -фільтри: ФНЧ, ФВЧ, смуговий і загороджувальний.

Мета роботи – моделювання та визначення характеристик електронних схем пасивних RC -фільтрів.

Методи дослідження – моделювання процесу проходження струму крізь ФНЧ, ФВЧ, смуговий і загороджувальний пасивні RC -фільтри проходить на базі програмного забезпечення LTspice, з подальшою обробкою та аналізом отриманих даних в математичному пакеті Wolfram Mathematica.

Визначено вплив схеми на сигнал синусоїдальної та прямокутної форми, залежність характеристик фільтру від значень опору R , ємності C .

Здійснено моделювання процесу проходження струму крізь ФНЧ, ФВЧ, смуговий і загороджувальний пасивні RC -фільтри. Визначено характеристики електронних схем пасивних RC -фільтрів.

На основі результатів проведених досліджень побудовано фігури Лісажу для ФНЧ, ФВЧ, смугового і загороджувального пасивних RC -фільтрів.

Пасивні RC -фільтри використовуються для формування смуги пропускання сигналу (радіоприймачі, підсилювачі сигналу, т. п.).

2 Вступ

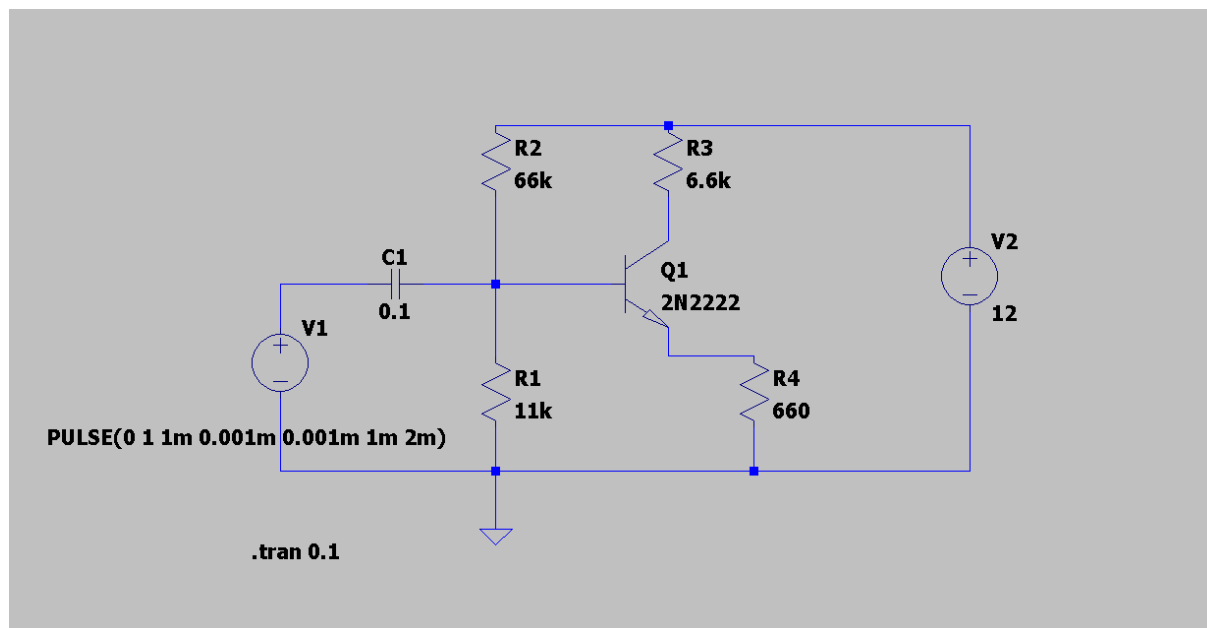


Рис. 1. Приклад, схема однокаскадного транзасторного підсилювача (спільний емітер).

Електричне коло, складене з послідовно з'єднаних конденсатора C і активного опору R , широко використовується для зв'язку одного каскаду схеми з іншим (інакше кажучи, для переходу від попереднього каскаду до подальшого). В цьому випадку коло називається перехідним.

На рис. 1 показаний пасивний RC ФНЧ фільтр на вході підсилювача низької частоти. Конденсатором входного кола є роздільний конденсатор C_1 . Його призначення не пропускати постійну напругу джерела на базу транзистора.

Опором входного є опір R_1 . За відсутності цього опору заданий режим роботи кола виявився б порушеним.

Коло, показане на рис. 1, призначене для того, щоб напруга передавалася без спотворень. Однак, в імпульсній техніці коло RC часто застосовується не тільки для зв'язку між каскадами, а й для зміни форми переданого сигналу. В цьому випадку коло RC являється колом, що формує заданий несінусоїдальний і, зокрема, імпульсний сигнал.

3 Моделювання пасивних RC фільтрів

3.1 Теоретична частина моделювання

Пасивні RC -фільтри і синусоїдальний струм

Нехай до входу кола RC прикладено синусоїдальну напругу частоти ω з амплітудою U_m :

$$U_{\text{вх}} = U_m \sin(\omega t)$$

Знайдемо вирази для напруг на опорі і ємності. Так як реактивний опір кола має ємнісний характер, то струм в колі i_C випереджатиме вхідне напруге на деякий кут φ . Напруга на опорі збігається по фазі з струмом і дорівнює $U_R = i_C R$; напруга на конденсаторі відстає від струму на $\frac{\pi}{2}$ і дорівнює $U_C = i_C \frac{1}{\omega C}$.

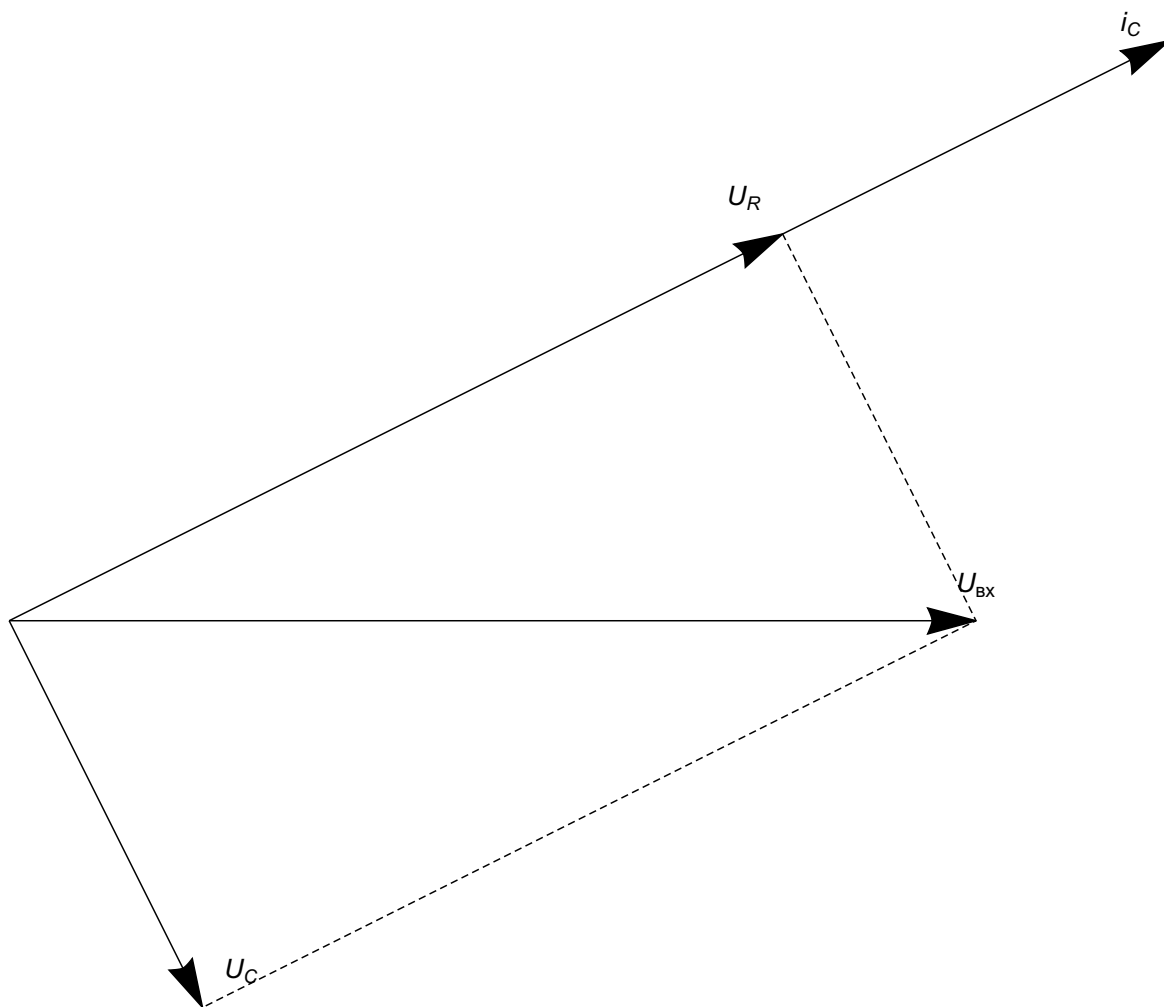


Рис. 2. Векторна діаграма.

З векторної діаграми рис. 2 видно:

$$\tan \varphi = \frac{U_C}{U_R} = \frac{i_C}{\omega C} \cdot \frac{1}{i_C R} = \frac{1}{\omega C R}.$$

Отже,

$$\tan \varphi = \frac{1}{\omega CR}, \text{ або } \tan \varphi = \frac{1}{2\pi\nu CR}, \varphi = \arctan \frac{1}{2\pi\nu CR}. \quad (1)$$

Очевидно,

$$\sin \varphi = \frac{U_C}{U_{\text{вх}}}, \cos \varphi = \frac{U_R}{U_{\text{вх}}}.$$

Отримуємо:

$$\begin{cases} U_C = U_{\text{вх}} \sin \varphi, \\ U_R = U_{\text{вх}} \cos \varphi. \end{cases} \quad (2)$$

З виразу (2) видно, що величина кута φ залежить від частоти синусоїдального сигналу ν та характерного часу кола $RC = \tau$. Для кола з даною константою τ при підвищенні частоти ν кут φ буде зменшуватися. З векторної діаграми і з виразів (2) видно, що при цьому велика частина вхідної напруги буде падати на активному опорі R .

Зменшення частоти призводить до збільшення кута φ і до збільшення спаду напруги на ємності C .

Так як кут φ від часу не залежить, то множники $\sin \varphi$ і $\cos \varphi$ є постійними коефіцієнтами при $U_{\text{вх}} = U_m \sin(\omega t)$.

Тоді, вихідні напруги U_C і U_R мають чисто синусоїдальну форму. На підставі формули (2) і векторної діаграми (рис. 2) можна записати остаточно

$$U_R = U_{Rm} \sin(\omega t + \varphi),$$

$$U_C = U_{Cm} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2} + \varphi),$$

де $U_{Cm} = U_m \sin \varphi$, $U_{Rm} = U_m \cos \varphi$.

Знаючи параметри кола і частоту вхідної напруги, можна знайти напруги на опорі і на ємності.

При незмінній частоті вхідної напруги збільшення характерного часу кола τ призводить до зменшення кута φ і до збільшення U_R і зменшення U_C .

В формулі (1) виразимо частоту через період коливань $\nu \rightarrow \frac{1}{T}$,

$$\tan \varphi = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{T}{\tau}. \quad (3)$$

Звідси видно, що кут φ , а отже, амплітуда і фаза вихідних напруг залежать в загальному випадку від відношення $\frac{T}{\tau}$, а не від окремо взятої частоти ν при характерному часі τ .

При $\tau \gg T$ з формули (3) $\varphi \approx 0$, $U_R \approx U_{\text{вх}}$, $U_C \ll U_{\text{вх}}$, тобто U_R при цьому приблизно дорівнює $U_{\text{вх}}$ амплітуді і збігається з ним по фазі, а U_C має мале значення по амплітуді і відстає від $U_{\text{вх}}$ на $\frac{\pi}{2}$.

При $\tau \gg T$, $\varphi \approx \frac{\pi}{2}$, $U_R \ll U_{\text{вх}}$, $U_C \approx U_{\text{вх}}$, відповідно.

АЧХ і ФЧХ кола

Побудуємо АЧХ і ФЧХ для пасивного RC фільтру.

Модуль АФЧХ в даному випадку буде

$$K = \left| \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}} \right| = \left| \frac{U_R}{U_{\text{вх}}} \right| = \left| \frac{U_{\text{вх}} \cos \varphi}{U_{\text{вх}}} \right| = \cos \varphi;$$

$$K = \cos \varphi. \quad (4)$$

Нам відомо,

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi}}.$$

Підставляючи $\tan \varphi = \frac{1}{\omega CR}$, отримуємо

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{\omega CR}\right)^2}} = \frac{\omega CR}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}}.$$

Таким чином,

$$K = \cos \varphi = \frac{\omega CR}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}}. \quad (5)$$

Проаналізуємо (5),

$$\omega \rightarrow 0, \cos \varphi \rightarrow 0,$$

$$\omega \rightarrow \infty, \cos \varphi \rightarrow 1.$$

Побудуємо графік:

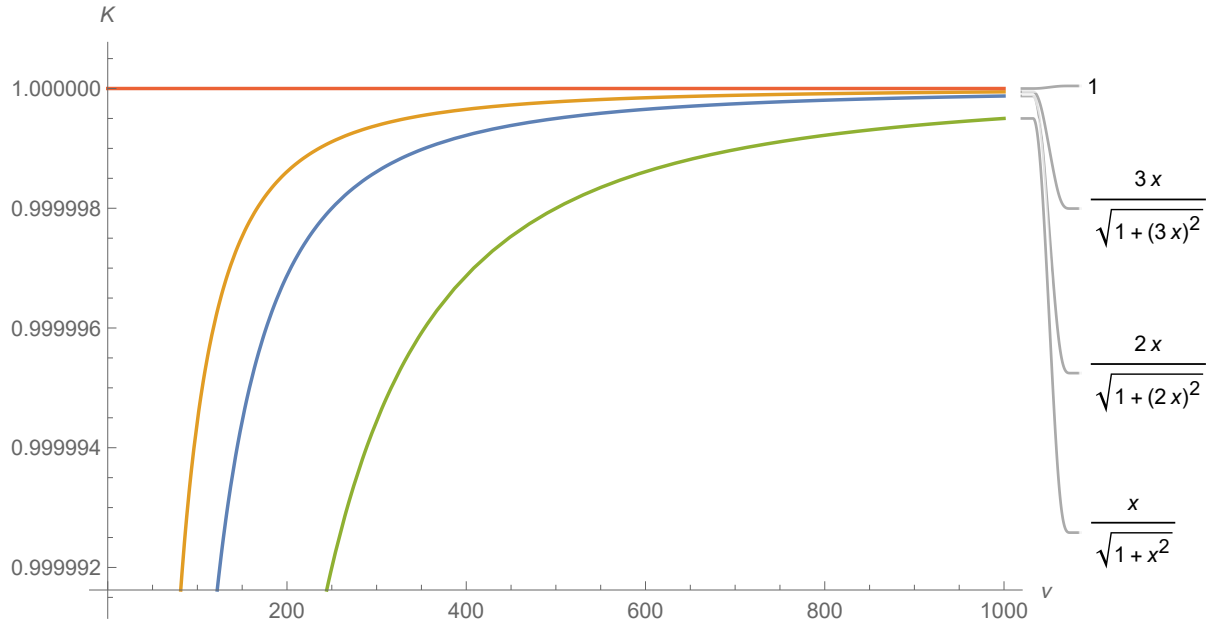


Рис. 3. Схематичне зображення графіків АЧХ для різних значень характерного часу.

Для отримання ФЧХ, проаналізуємо (1):

$$\omega \rightarrow 0, \tan \varphi \rightarrow \infty, \varphi \rightarrow \frac{\pi}{2},$$

$$\omega \rightarrow \infty, \tan \varphi \rightarrow 0, \varphi \rightarrow 0.$$

Побудуємо графік:

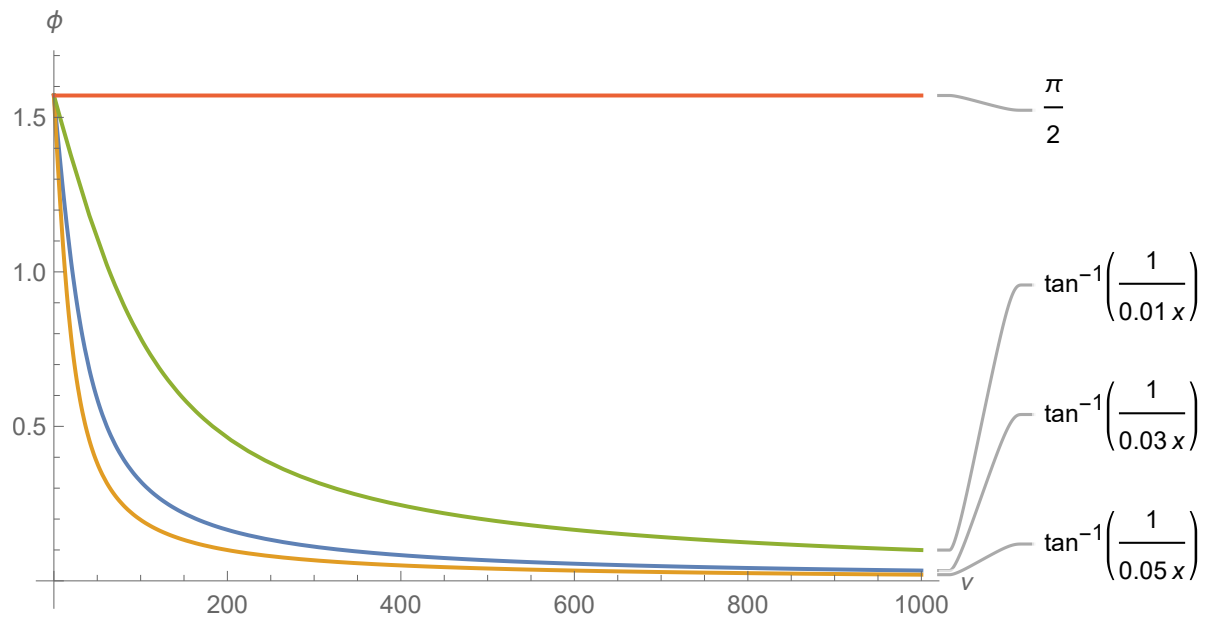


Рис. 4. Схематичні зображення графіків ФЧХ для різних значень характерного часу.

3.2 Моделювання в LTspice

Зкомпонуємо схеми ФВЧ, ФНЧ, загороджувального RC фільтрів, побудуємо фігури Лісажу.

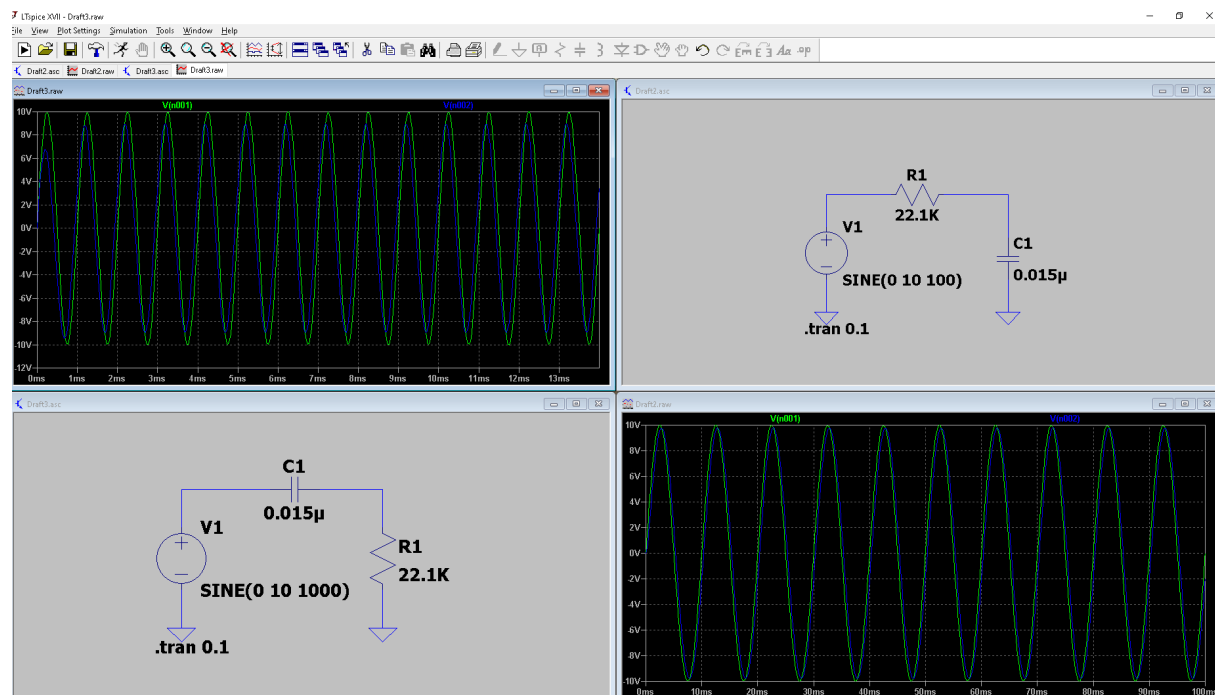


Рис. 5. Схеми ФВЧ і ФНЧ з осцилограмами вхідних і вихідних сигналів.

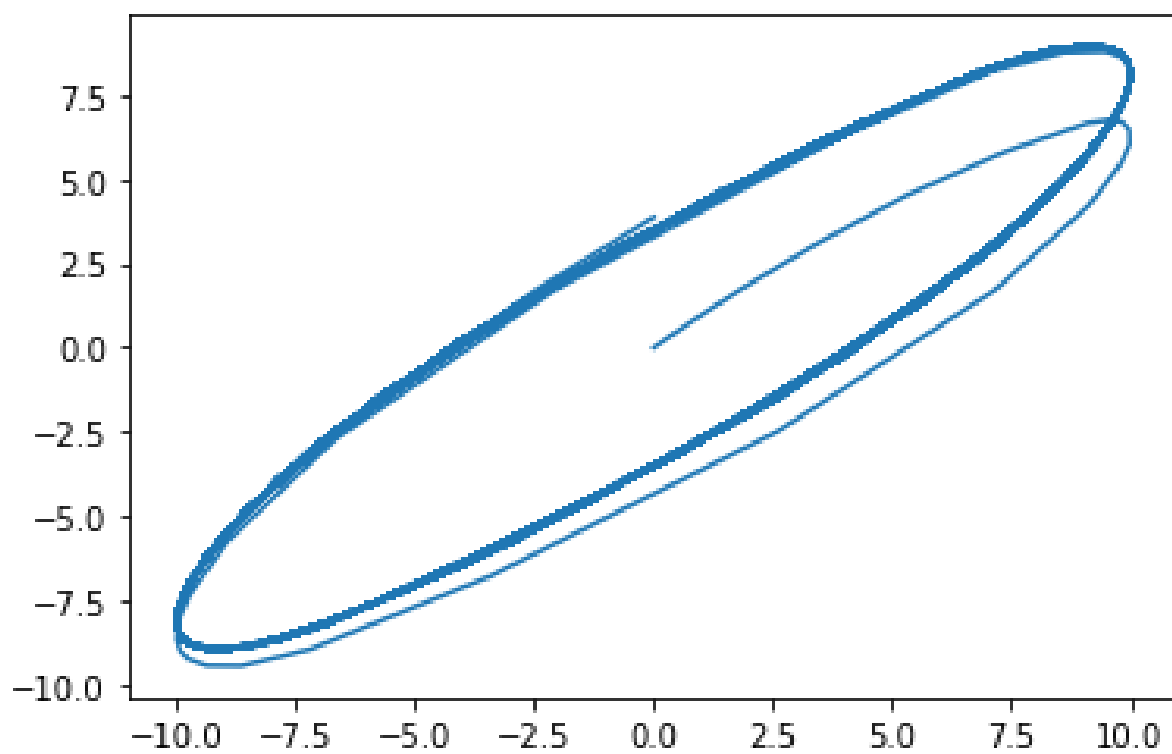


Рис. 6. Фігури Лісажу для ФВЧ.

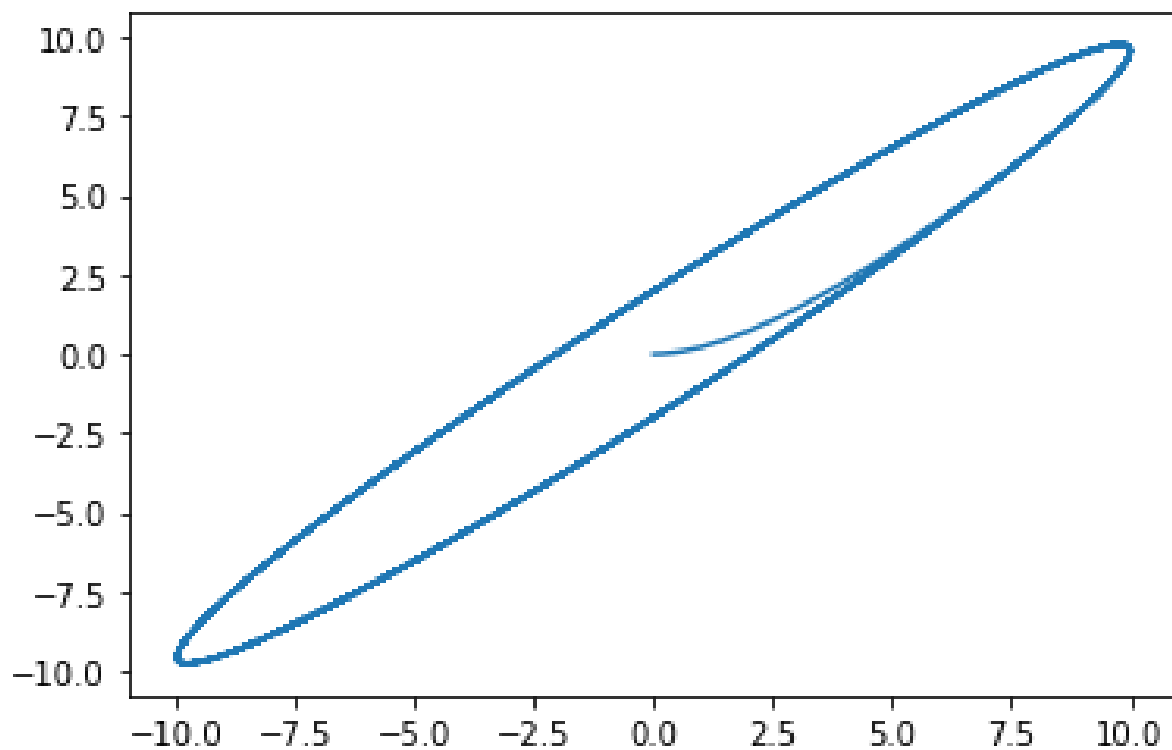


Рис. 7. Фігури Лісажу для ФНЧ.

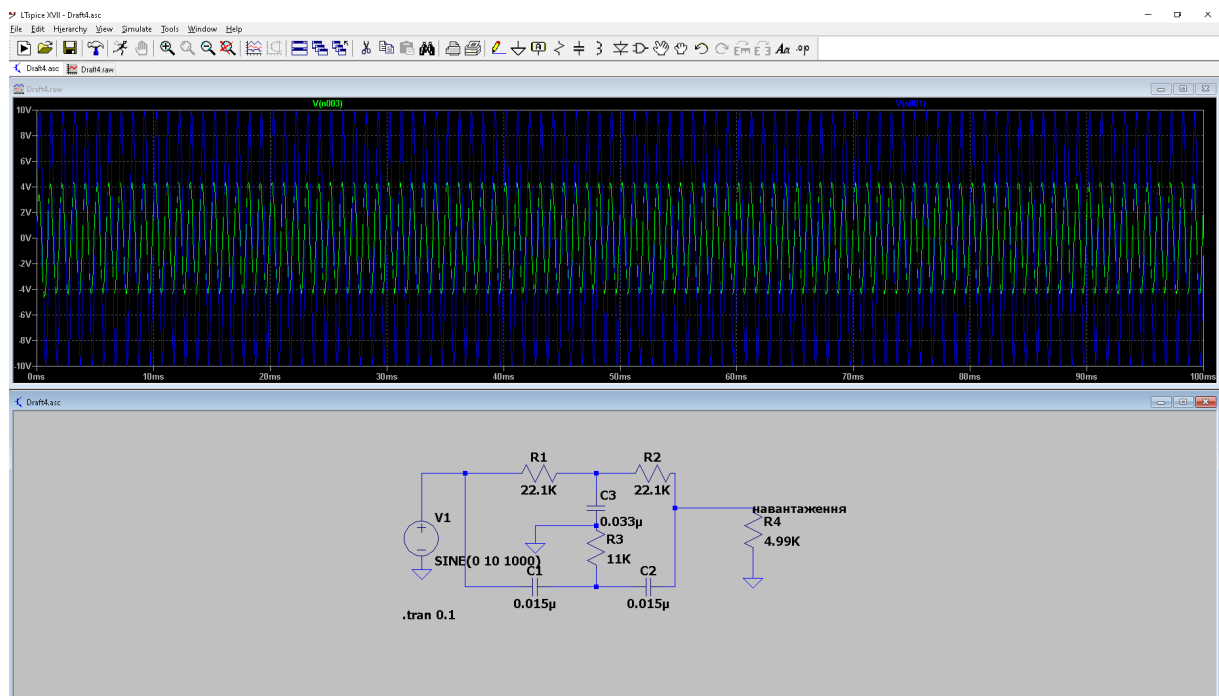


Рис. 8. Загороджувальний фільтр схема.

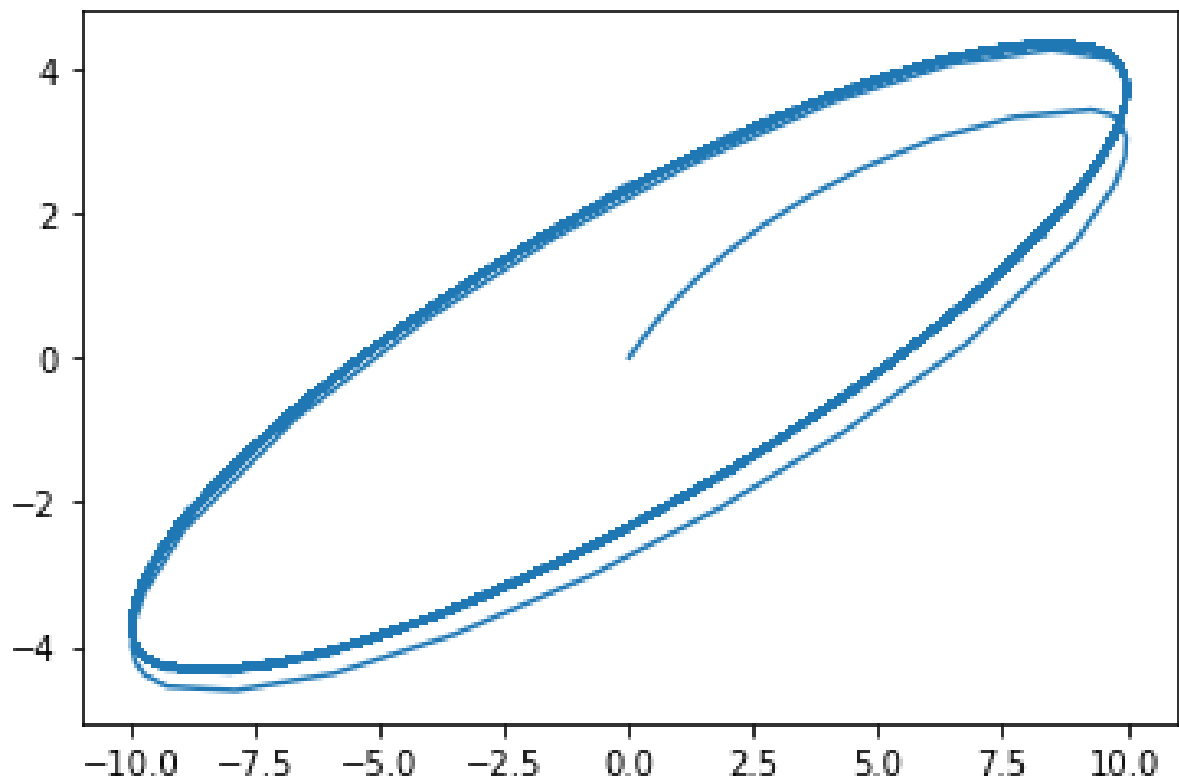


Рис. 9. Фігури Лісажу для загороджувального фільтра.

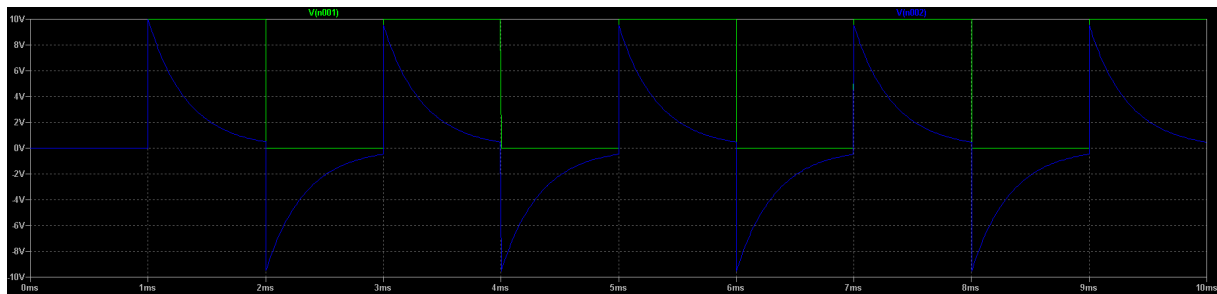


Рис. 10. Прямоуготный сигнал, поданий на ФВЧ.

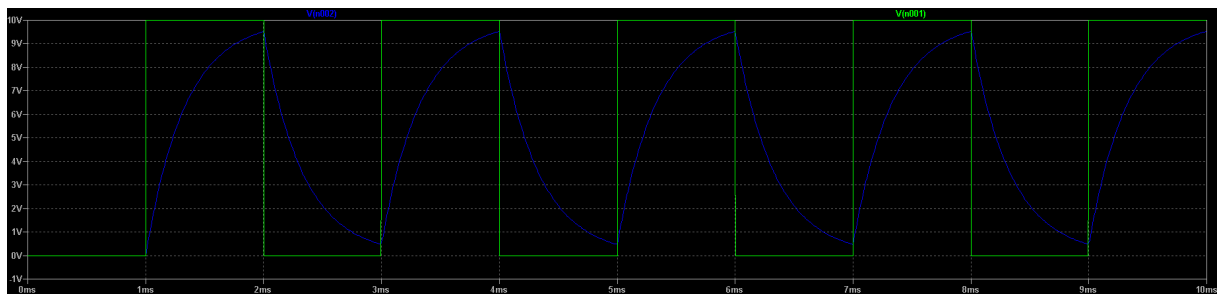


Рис. 11. Прямоуготный сигнал, поданий на ФНЧ.

4 Висновок

В ході роботи було теоретично описано і змодельовано в програмних пакетах поведінку пасивних RC фільтрів. RC фільтр – принципово просте, компактне електричне коло, що дозволяє маніпулювати сигналом, що проходить крізь нього. Широко використовується у всіх сферах електроніки.