



**Міністерство освіти і науки України**

**ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет енергетики, робототехніки та  
комп'ютерних технологій**

**Кафедра електромеханіки, робототехніки, біомедичної  
інженерії та електротехніки**

**ОСНОВИ КОНСТРУЮВАННЯ БМА ТА ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ  
ВИРОБНИЦТВА БМА ДЛЯ БІООБ'ЄКТІВ**

**Методичні вказівки  
до виконання курсового проєкту**

**для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та  
(заочної) форми навчання, спеціальності  
163 «Біомедична інженерія»**

**Харків  
2023**

Міністерство освіти і науки України  
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет енергетики, робототехніки та комп'ютерних технологій  
Кафедра електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії та  
електротехніки

ОСНОВИ КОНСТРУЮВАННЯ БМА ТА ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ  
ВИРОБНИЦТВА БМА ДЛЯ БІООБ'ЄКТІВ

Методичні вказівки  
до виконання курсового проєкту

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та (заочної)  
форми навчання, спеціальності  
163 «Біомедична інженерія»

Затверджено  
рішенням Науково-методичної  
ради факультету ЕРКТ  
Протокол № 1 від 20 жовтня 2022 р.

Харків  
2023

УДК 615.47+57.08  
О 75

Схвалено  
на засіданні кафедри електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії  
та електротехніки

Протокол № 1  
від 31 серпня 2022 р.

**Рецензент:**

**О.М. Мороз**, д-р тех. наук, проф. кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту Державний біотехнологічний університет.

О 75 Основи конструювання БМА та основи технології виробництва БМА для біооб'єктів: метод. вказівки до виконання курсового проекту здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної (заочної) форми навч., спец. 163 «Біомедична інженерія» / Державний біотехнологічний університет; уклад.: Н.Г. Косуліна, М.О. Чорна, В.В. Сухін. – Харків: [б. в.], 2023. – 58 с.

Методичні вказівки до виконання курсового проекту на тему: «Розрахунок засобів фільтрації біосигналів БМА» з дисципліни «Основи конструювання БМА та основи технології виробництва БМА для біооб'єктів», розроблено відповідно до навчальної програми. Видання включає: структуру пояснювальної записки, вимоги до її оформлення, методи реєстрації біопотенціалів і підвищення завадостійкості, пристрої фільтрації сигналів, розрахункову частину проекту, варіанти завдань курсового проекту, літературу та додатки.

Видання призначене здобувачам першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та (заочної) форми навчання, спеціальності 163 «Біомедична інженерія».

УДК 615.47+57.08

**Відповідальний за випуск: В.В. Сухін**, ст. викл.

© Н.Г. Косуліна, 2023

© М.О. Чорна, 2023

© В.В. Сухін, 2023

© ДБТУ, 2023

**Зміст**

1. Структура курсового проєкту .....	4
2. Вимоги до оформлення пояснювальної записки .....	5
3. Методи реєстрації біопотенціалів та підвищення завадостійкості .....	7
4. Пристрої фільтрації сигналів .....	9
5. Завдання на курсовий проєкт .....	19
6. Методичні рекомендації до виконання проєкту .....	21
7. Приклади розрахунків і досліджень .....	22
8. Порядок захисту курсового проєкту .....	32
9. Оцінювання .....	32
Список використаної літератури .....	35
Рекомендована література .....	35
Додаток А .....	37
Додаток Б .....	41
Додаток В .....	48
Додаток Г .....	49

## 1. Структура курсового проєкту

До складу пояснювальної записки курсового проєкту входять наступні структурні елементи:

- Титульна сторінка (Додаток А);
- Завдання на курсовий проєкт (Додаток А);
- Реферат – 1 сторінка (Додаток А);
- Зміст – 1-2 сторінки;
- Перелік скорочень (за необхідності);
- Вступ – 1-2 сторінки;
- Огляд науково-технічної та патентної літератури – 10 сторінок;
- Аналітично-схемотехнічна або спеціальна частини – 15-20 сторінок;
- Висновки – 1 сторінка;
- Перелік літературних посилань – 1-2 сторінки;
- Додатки.

Приблизний об'єм пояснювальної записки 30-35 сторінок. Пояснювальна записка до курсового проєкту формується виключно українською мовою.

Реферат у відповідності до ДСТУ 3005-98 містить узагальнені відомості про роботу, кількість рисунків, таблиць та літературних посилань, перелік ключових слів тексту записки. Ключові слова (у кількості 10) повинні повно відображати специфіку та напрямок досліджень. Потім надається узагальнений короткий виклад змісту та результатів курсового проєкту по основним розділам записки.

Зміст складається з назв розділів та параграфів пояснювальної записки із встановленням сторінок де вони розташовані.

Перелік скорочень подається в записці, якщо число скорочень перевищує 20. В інших випадках розшифрування скорочень наводиться в тексті при їх першій появі.

У вступі обумовлюються мета та завдання, оцінюється рівень проблеми порівняно з відомими досягненнями, обґрунтовується актуальність проєкту.

Огляд науково-технічної та патентної літератури теми проєкту є першим розділом пояснювальної записки. Викладення змісту цього розділу повинно супроводжуватися посиланнями на літературу, які наводяться в квадратних дужках в кінці тексту, який відноситься до певного літературного джерела.

Спеціальна частина курсового проєкту повинна розкривати тему та мету: вихідні дані для виконання розрахунків та проєктування структур, марку обраної структури, розрахункові формули, розрахунки з обов'язковим позначенням одиниць вимірювання, програму розрахунку на ЕОМ (електронно-обчислювальній машині), графіки, пропозиції щодо технології створення структур.

Висновки подають у вигляді чітких пунктів, резюмуючи основні результати за розділами пояснювальної записки. Їх зміст повинен бути лаконічним, чітким та ясным.

Перелік літературних посилань повинен містити назви усіх використаних джерел інформації. Відсутність посилань є плагіатом. Виклад основних розділів записки повинен мати посилання на джерела інформації. Список літератури складається відповідно до порядку згадування посилань у тексті.

Якщо одне й теж саме джерело згадується у тексті деяку кількість разів, то у списку літератури воно вказується один раз. Для курсового проєкту список літератури повинен складати не менше 10-15 джерел сучасної інформації [1]. Приклади оформлення бібліографічних посилань наведені в додатках.

## **2. Вимоги до оформлення пояснювальної записки**

Пояснювальна записка складається згідно з вимогами ДСТУ 2.105-95 та ДСТУ 3008-95.

Текст пояснювальної записки зображується на аркуші білого паперу формату А4 (210×297 мм) ДСТУ 2.301-68. Для оформлення пропонується використовувати програму – Microsoft Word 97...2000, шрифт – Times New Roman, розмір шрифту – 14, інтервал між рядками – 1.5, відступ – 1.25 см.

На папері залишаються поля: верхнє, нижнє – 20 мм, ліве – 25 мм, праве – 10 мм. Відступ від верхнього поля аркуша до заголовка повинен бути 30 мм, від заголовка розділу до параграфа – 25 мм, від заголовка параграфа до першого рядка тексту – 5 мм.

Нумерація сторінок повинна бути єдина по всьому проєкту, позначатися арабськими цифрами у верхньому правому куті. На титульній сторінці, завданні, рефераті та змісті, номер сторінки не ставиться, але вони враховуються в загальній кількості сторінок.

Кожен розділ починається з окремої сторінки. Основні розділи позначаються порядковими арабськими цифрами. Після цифри крапка не ставиться. Підкреслювати, переносити слова у назвах розділів, параграфів та ставити крапки після назв не дозволяється.

Розділи складаються з підрозділів, пунктів та підпунктів, які позначаються арабськими цифрами: починаються цифрою розділу, після якої крапка ставиться, а потім – цифрою порядкового номера підрозділу, після якого крапка не ставиться (наприклад: 2.1 другий розділ, перший підрозділ). Підрозділи, пункти та підпункти розміщуються за текстом, не вимагаючи нової сторінки. Не слід писати назву розділу, чи підрозділу в нижній частині сторінки, якщо немає місця для тексту або після нього залишається тільки один рядок.

Літерні позначення фізичних, хімічних та математичних величин повинні відповідати вимогам стандартів та МСО (міжнародній системі одиниць). Формули виконуються у редакторі формул та нумеруються арабськими цифрами в межах розділу. Номер формули складається з номера розділу та порядкового номера формули, розділених крапкою. Номер формули розміщують у круглих дужках та розташовують з правого боку сторінки навпроти формули.

Таблиці повинні мати номер, який включає номер розділу та порядковий номер таблиці, розділені крапкою (Таблиця 1.1). Потім, через тире пишеться назва таблиці з великої літери без крапки в кінці і наводиться сама таблиця. Таблиця розташовується після тексту, де її наводять вперше, або на наступній сторінці.

Рисунки розташовують після посилання на них у тексті. Назву розміщують під рисунком. Необхідні пояснення наводяться під рисунком. Номер рисунку складається з номера розділу та порядкового номера рисунка та починається зі слова «Рисунок». Після номера ставиться тире та з великої літери пишеться назва рисунка без крапки наприкінці (наприклад: Рисунок 2.1 – Схема фільтра верхніх частот).

У додатки зносять матеріал, який не може бути послідовно розміщений в основній частині через великий обсяг або інший формат: схеми, таблиці, рисунки та ін. Додаток повинний мати у верхньому куті аркуша підпис «Додаток». Якщо їх більше одного, то нумерація виконується літерами (наприклад: «Додаток А»).

До курсового проєкту додається одне креслення формату А4 згідно з ДСТУ 2.301-68. На ньому відображають основні результати роботи. Не можна виносити на креслення інформацію, якої немає в пояснювальній записці.

Назва креслення повинна бути короткою та відповідати змісту. Штамп розміщується в нижньому правому куті креслення, рис. 2.1.

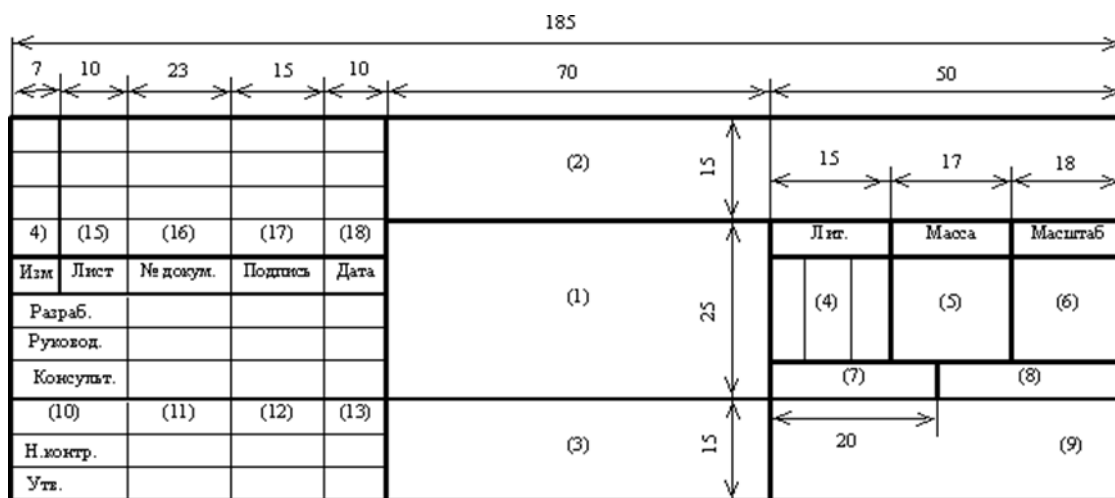


Рис. 2.1 – Основний підпис креслення

У графі 1 – назва виробу, зображеного на кресленні; у графі 2 – позначення креслення; у графі 3 – позначення матеріалу деталі (у курсовому проєкті не заповнюється); у графі 4 – літера; у першій колонці – літера К – для курсового проєкту; у другій колонці – літера Е – для ескізного проєкту, Т – для технічного і Р – для робочого проєкту; у графічних роботах розрахункового характеру літери не ставлять; у графі 5 – вага виробу; якщо вага виміряна в кілограмах, то (кг) не пишеться в інших випадках одиниці вимірювання вказують; у графі 6 – масштаб; у графі 7 – порядковий номер аркуша; у графі 8 – загальна кількість аркушів; у графі 9 – найменування міністерства, ВНЗ, кафедри і групи; у графі

10 – посада виконавця, який підписав документ; у графі 11 – прізвища осіб, що підписали документ; у графі 12 – підписи; у графі 13 – дати підпису; 14-18 – зміни, що вносили в креслення, якщо їх не має, то не заповнюються [1].

### **3. Методи реєстрації біопотенціалів та підвищення завадостійкості**

Біоелектричні процеси в організмі широко застосовуються в медицині як джерело діагностичної інформації про стан та діяльність тканин і органів. Сучасна діагностика серцевих захворювань не може обійтися без електрокардіографічного дослідження, що представляє собою аналіз зареєстрованої кривої зміни біопотенціалів серця. Менш поширені методи дослідження біопотенціалів мозку (електроенцефалографія), м'язів (електроміографія), але і вони знаходять досить об'ємне застосування при діагностиці ряду захворювань.

Реєстрація біопотенціалів, що виникають на поверхні тіла в результаті біоелектричної активності тканини або органу, може проводитися тривало і багаторазово без будь-яких хворобливих відчуттів або негативної дії на організм. Ця важлива перевага поряд з великою інформативністю стали однією з причин, що сприяли розвитку і широкому розповсюдженню біоелектричних методів дослідження.

Реєстровані біопотенціали є наслідком процесів, що відбуваються на клітинних напівпроникних мембранах живої тканини. В результаті відмінності концентрації неорганічних іонів (головним чином калію, натрію, хлору) у внутрішньо-, і позаклітинних середовищах, мембрани клітин виявляються зарядженими. В стані спокою внутрішня поверхня мембран має постійний негативний потенціал по відношенню до зовнішньої. Цей потенціал, називається «потенціалом спокою», досягає 60-80 мВ у нервових клітинах, 80-90 мВ у волокон поперечносмугастих м'язів, 90-95 мВ у волокон серцевого м'яза.

При збудженні тканини відбувається короткочасна зміна потенціалу мембрани, виникає так званий «потенціал дії». «Потенціал дії» виникає через стрибкоподібну зміну проникності мембран, створюється при збудженні клітини. При цьому, має місце швидка зміна розподілу іонів, яка потім відновлюється. Пік потенціалу дії має тривалість кілька мілісекунд (у нервовій клітині 1-2 мс, у клітині скелетного м'яза 3-5 мс), а амплітуду близько 100 мВ.

У тканині процес збудження поширюється, чим забезпечується передача сигналів від рецепторів до нервових клітин по нервових стовбурах до м'язів і т.д. У м'язовій тканині біопотенціали дії супроводжують її скоротливу діяльність.

Електричні поля окремих клітин, підсумовуючись, створюють електричне поле навколо ділянок тканини або органу. В результаті виникають певним чином розподілені потенціали у всьому тілі, в тому числі і на його поверхні.



Нижче, наведено дані біоелектричної активності органів і тканин, досліджуваних за допомогою ЕКГ (електрокардіографії), ЕЕГ (електроенцефалографії), ЕМГ (електроміографії), табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Біоелектрична активність органів і тканин

Органи, тканини	Діапазон частот, Гц	Діапазон амплітуд, мкВ
Серце	0,05-2000	30-5000
Головний мозок -на поверхні скальпа -на відкритому мозку	3,5-40 0,1-120	2-200 50-5000
Шлунок	0,02-0,5	10-10000
М'язові тканини	5-5000	100-10000
М'язи ока	0,5-50	2-200
Кісткові тканини	Менше 1	До 10000
Спинний мозок: -повільні коливання -швидкі коливання	2-10 8-30	10-20 40-60

*Методи підвищення завадостійкості.* Очевидно, що при розробці медичних приладів для реєстрації таких електричних сигналів повинні враховуватися не тільки властивості об'єкта вимірювання, а й наявність внутрішніх та зовнішніх перешкод і наведень. До них відносяться:

- мережеві перешкоди, амплітуда яких може досягати одиниць вольт, а частота відповідає частоті живильної мережі 50 Гц;

- потенціал поляризації, наявність якого обумовлена електрохімічними процесами на кордоні зіткнення електрод – шкіра, величина його досягає десятків мілівольт і визначається типом електрода. Основний спосіб зменшення потенціалу поляризації – фільтрація. Використання ВЧ-фільтрів з частотою зрізу більше десятків герц, дозволяє придушити його і підсилити біопотенціали;

- змінна різниця перешкода, обумовлена біоелектричною активністю сусідніх тканин і органів, прилеглих до досліджуваного органу. Амплітуда

такої перешкоди може змінюватись в межах від одиниць до десятків мілівольт, а частотний діапазон лежить в межах від одиниць до десятків герц.

Наявність перешкод і наведень при проведенні біоелектричних досліджень передбачає використання спеціальних методів і засобів зменшення їх впливу. До них відносяться: екранування (електростатичне і магнітне); установка фільтрів для зниження розповсюдження по проводах індуктивних перешкод від їх джерел; фільтрація сигналу, що знімається з біооб'єкту; застосування різних схемотехнічних методів підвищення завадостійкості (принцип багатоканальності (інваріантності), використання підсилювачів електричних сигналів з диференціальним входом, симетрування вимірювального ланцюга) та ін.

Так, для фільтрації сигналу, що знімається з біооб'єкту, використовується блок фільтрів, що встановлюється в середину вимірювального приладу. Характеристика їх повинна бути такою, щоб потрібний сигнал потрапляв в смугу пропускання, а перешкода – в смугу згасання фільтрів.

В даний час все частіше замість апаратних фільтрів, характеристики яких жорстко задані при проектуванні, застосовуються цифрові фільтри, що дозволяють задавати необхідну характеристику програмним способом. Це забезпечує гнучку перебудову смуги пропускання сигналу, а отже, можливість дослідження сигналу в широкій смузі частот [1].

#### 4. Пристрої фільтрації сигналів

Фільтром називається електронна схема, що пропускає або підсилює синусоїдальні сигнали в певному діапазоні частот і послабляє сигнали з частотами, що виходять за межі заданого діапазону.

Область застосування фільтрів в електроніці та обчислювальній техніці дуже широка і схеми відрізняються великою різноманітністю. Прості пасивні фільтри, будуються на резисторах, конденсаторах і котушках індуктивності. Більш складні, активні – на базі операційних підсилювачів і ланцюгів з резисторів і конденсаторів.

У курсовому проекті студентам пропонується спроектувати активні фільтри різних типів із заданими параметрами, змоделювати і дослідити їх характеристики в спеціалізованому пакеті програм.

*Характеристики, параметри і математичний опис фільтрів.*

Основною характеристикою фільтра вважається його амплітудно-частотна характеристика (АЧХ), що відображає залежність коефіцієнта передачі фільтра від кутової частоти сигналу. По виду АЧХ пристрої фільтрації, зазвичай, поділяються на групи. Наприклад, ФНЧ (фільтр низької частоти) пропускає низькочастотні сигнали і послаблює високочастотні рис. 4.1, а, ФВЧ (фільтр високої частоти) пропускає сигнали високочастотні і послаблює низькочастотні рис. 4.1, б.

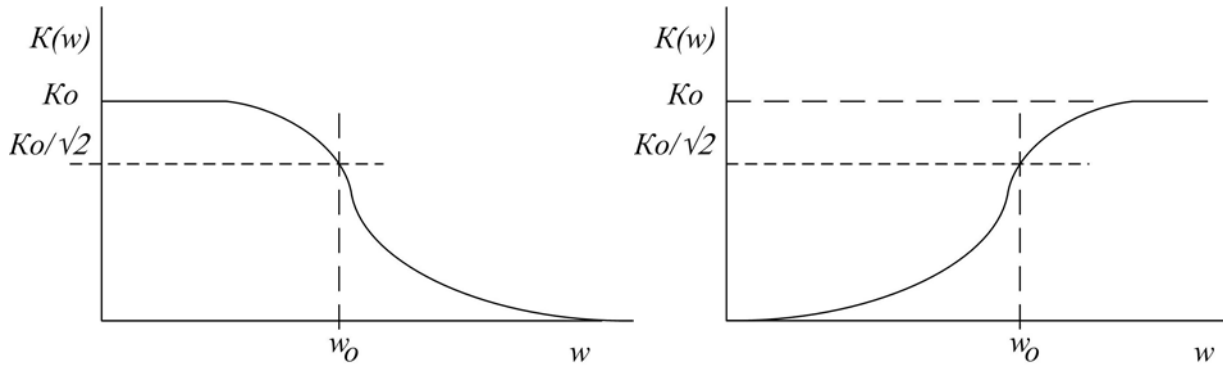


Рис. 4.1 – Амплітудно-частотні характеристики  
(а – фільтр низької частоти, б – фільтр високої частоти)

Для опису ФНЧ і ФВЧ вводиться поняття частоти зрізу  $\omega_0$  – частоти сигналу, на якій спостерігається зменшення потужності в два рази.

Коефіцієнт передачі фільтра при цьому зменшується в  $\sqrt{2}$  раз у порівнянні з коефіцієнтом передачі  $K_0$  на нульовій (для ФНЧ) або нескінченній (для ФВЧ) частоті.

Проектування фільтра ґрунтується на розрахунку його передавальної функції, яка є відношенням зображення по Лапласу вихідного сигналу до зображення по Лапласу вхідного сигналу:

$$W(p) = \frac{L\{U_{\text{вих}}(\omega)\}}{L\{U_{\text{вх}}(\omega)\}} \quad (4.1)$$

Для переходу від передавальної функції до частотних характеристик виконують заміну:  $p = j\omega$ , де  $j = \sqrt{-1}$ .

При розгляді фільтрів в узагальненому вигляді комплексну змінну  $p$  зазвичай нормують, вводячи безрозмірне значення  $p = j\omega / \omega_0 = j\Omega$ , де  $\Omega = \omega / \omega_0$ .

Передавальну функцію можна представити у вигляді комплексного виразу, що містить дійсну  $A(\omega)$  та уявну  $jB(\omega)$  частини:

$$W(p) = A(\omega) + jB(\omega) \quad (4.2)$$

Або в показниковій формі:

$$W(j\omega) = K(\omega) \cdot e^{j\varphi(\omega)} \quad (4.3)$$

де  $K(\omega)$  і  $\varphi(\omega)$  – відповідно, модуль і аргумент комплексної величини, що вказують величину і напрямок вектора  $W(j\omega)$  на комплексній площині.

Модуль передавальної функції  $K(\omega) = \sqrt{A(\omega)^2 + B(\omega)^2}$  описує АЧХ фільтра, а

аргумент  $\varphi(\omega) = \arctg\left(\frac{B(\omega)}{A(\omega)}\right)$  ФЧХ (фазочастотну характеристику).

Через великий діапазон зміни коефіцієнта передачі фільтра його значення, зазвичай, логарифмується і множиться на 20. Це дозволяє вимірювати  $K(\omega)$  в децибелах – логарифмічних одиницях, які використовуються для оцінки зміни потужності сигналу в радіотехніці (1 бел – одиниця, що відповідає десятикратному збільшенню потужності сигналу; 1 дб = 0,1 бел).

При стрибкоподібній зміні вхідного сигналу у фільтрі виникає перехідний процес. Вимоги, що пред'являються до фільтрів, при роботі їх в перехідних режимах зазвичай суперечливі. З одного боку, доцільно, щоб перехідний процес тривав якомога менше. З іншого, цього можна досягти тільки, якщо зміни вихідної величини відбуваються з великою швидкістю, що призводить до появи коливань. Для оцінки якості перехідних процесів, зазвичай, досліджують перехідну функцію  $h(t)$  – реакцію системи на одиничний ступінчастий вплив  $1(t)$ .

У загальному випадку перехідну функцію можна розрахувати за формулою:

$$h(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{A(\omega)}{\omega} \sin(\omega t) d\omega \quad (4.4)$$

В процесі проектування параметри передавальної функції фільтра можуть вибиратися і оптимізуватися за різними критеріями. Критеріями найчастіше виступають рівномірність АЧХ і коливання перехідної характеристики фільтра  $h(t)$ .

Найбільш відомі методики розрахунку, засновані на використанні алгебраїчних поліномів з відомими властивостями, запропонованих свого часу математиками Бесселем, Баттервортом і Чебишевим. Фільтри з використанням цих поліномів отримали відповідні імена.

На рис. 4.2 для порівняння показані АЧХ фільтрів нижніх частот різних типів.

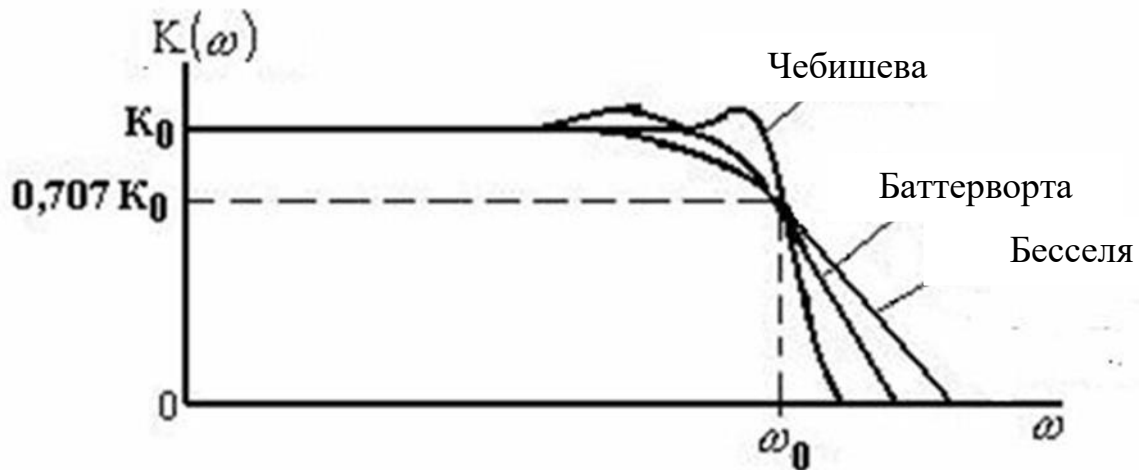


Рис. 4.2 – Порівняння АЧХ різних типів ФНЧ

АЧХ фільтра Баттерворта має досить довгу горизонтальну ділянку і різко спадає за частотою зрізу. Перехідна характеристика такого фільтра при ступінчастому вхідному сигналі має коливальний характер. Зі збільшенням порядку фільтра коливання посилюються.

Характеристика фільтра Чебишева спадає більш круто за частотою зрізу. У смузі пропускання вона має хвилеподібний характер з постійною амплітудою. Коливання перехідного процесу при ступінчастому вхідному сигналі сильніше, ніж у фільтра Баттерворта.

Фільтр Бесселя характеризується меншою довжиною горизонтальної ділянки, ніж фільтр Баттерворта і більш пологим спадом АЧХ за частотою зрізу, ніж фільтри Баттерворта і Чебишева. Перехідний процес такого фільтра практично не має коливань.

*Фільтри нижніх частот. Передавальні функції ФНЧ.* Передавальна функція ФНЧ в загальному вигляді повинна мати наступне зображення:

$$W(p) = \frac{K_0}{1 + c_1 \cdot P_1 + c_2 \cdot P_2^2 + \dots + c_n \cdot P^n} \quad (4.5)$$

де  $c_1, c_2, \dots, c_n$  – позитивні дійсні коефіцієнти;

$n$  – порядок фільтра;

$K_0$  – коефіцієнт передачі фільтра на нульовій частоті.

Порядок фільтра визначається максимальним ступенем змінної  $P$ .

Він задає асимптотичний нахил АЧХ рівний  $-20n$  дБ/дек. Для реалізації фільтра необхідно розкласти поліном знаменника на множники. Якщо серед коренів полінома є комплексні, то поліном представляється у вигляді добутку співмножників першого і другого порядку:

$$W(p) = \frac{K_0}{1 + c_1 \cdot P_1 + c_2 \cdot P_2^2 + \dots + c_n \cdot P^n} \quad (4.6)$$

де  $a_i$ ,  $b_i$  – позитивні дійсні коефіцієнти. Для непарних порядків полінома коефіцієнт  $b_i$  дорівнює нулю.

Фільтри Баттерворта, Чебишева і Бесселя відрізняються значеннями коефіцієнтів передавальної функції. Значення коефіцієнтів для фільтрів до третього порядку наведені в табл. 4.1. Для фільтрів більш високого порядку їх можна знайти в [2,3,4].

Таблиця 4 1 – Коефіцієнти передавальної функції для розрахунку фільтрів різних типів

Тип фільтра	n	i	$a_i$	$b_i$
Фільтр Бесселя	1	1	1,0000	0,0000
	2	1	1,3617	0,6180
	3	1	0,7560	0,0000
		2	0,9996	0,4772
Фільтр Баттерворта	1	1	1,0000	0,0000
	2	1	1,4142	1,0000
	3	1	1,0000	0,0000
		2	1,0000	1,0000
Фільтр Чебишева з нерівномірністю 0,5 дБ	1	1	1,0000	0,0000
	2	1	1,3614	1,3827
	3	1	1,8636	0,0000
		2	0,6402	1,1931

Фільтр Чебишева з нерівномірністю 1 дБ	1	1	1,0000	0,0000
	2	1	1,3022	1,5515
	3	1 2	2,2136 0,5442	0,0000 1,2057
Фільтр Чебишева з нерівномірністю 2 дБ	1	1	1,0000	0,0000
	2	1	1,1813	1,7775
	3	1 2	2,7994 0,4300	0,0000 1,2036
Фільтр Чебишева з нерівномірністю 3 дБ	1	1	1,0000	0,0000
	2	1	1,0650	1,9305
	3	1 2	3,3496 0,3559	0,0000 1,1923

Схемотехніка ФНЧ. Прості схеми ФНЧ першого порядку показані на рис. 4.3.

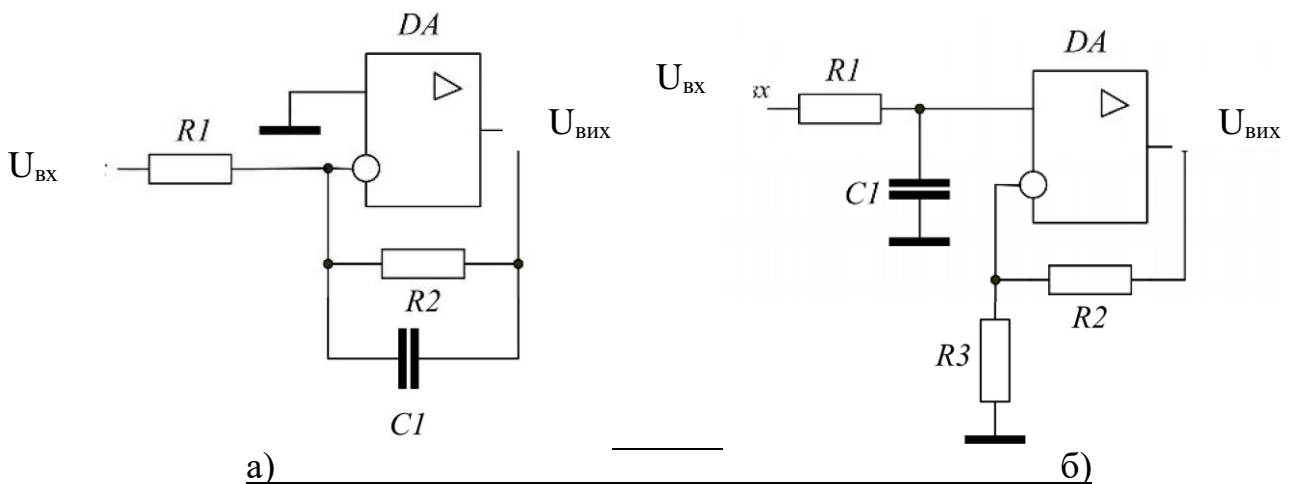


Рис 4.3 – ФНЧ першого порядку: а) на основі інвертуючого підсилювача, б) на основі не інвертуючого підсилювача

Передаточна функція фільтра на рис. 4.3 а, має вигляд:

$$W(p) = -\frac{R_2 / R_1}{1 + \omega_0 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot p} \quad (4.7)$$

Звідкіля витікають формули для розрахунку:

$$K_0 = R_2 / R_1, \quad (4.8)$$

$$a_1 = \omega_0 \cdot R_2 \cdot C_1 \quad (4.9)$$

Коефіцієнт передачі цього фільтра від'ємний.

Для фільтра на рис. 4.3 б, передавальна функція визначається виразом:

$$W(p) = -\frac{R_2 / R_3 + 1}{1 + \omega_0 \cdot R_1 \cdot C_1 \cdot P} \quad (4.10)$$

Формули для розрахунку фільтра записуються у вигляді:

$$K_0 = R_2 / R_3, \quad (4.11)$$

$$a_1 = \omega_0 \cdot R_1 \cdot C_1 \quad (4.12)$$

Прикладом ФНЧ другого порядку є фільтр зі складним негативним зворотним зв'язком, схема якого, відома як схема Рауха рис. 4.4.

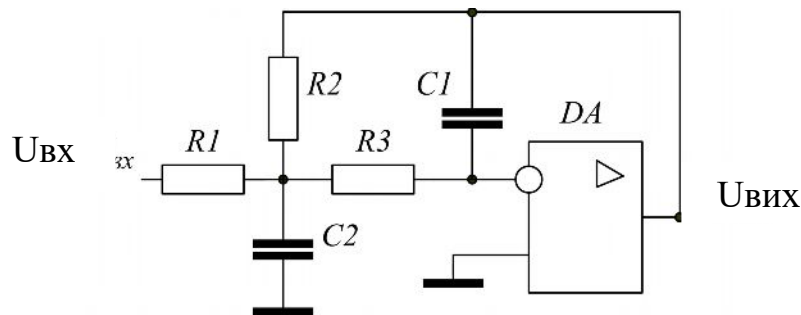


Рис. 4.4 – ФНЧ по схемі Рауха

Передавальна функція даного фільтра визначається виразом:

$$W(p) = -\frac{R_2 / R_1}{\omega_0 \cdot C_1 \cdot (R_2 + R_3 + \frac{R_2 + R_3}{R_1}) \cdot P + \omega_0^2 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot P^2} \quad (4.13)$$

Відповідна система рівнянь для розрахунку параметрів фільтру записується у вигляді:

$$K_0 = -R_2 / R_1, \quad (4.14)$$



$$a_1 = \omega_0 \cdot C_1 \cdot (R_2 + R_3 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1}), \quad (4.15)$$

$$b_1 = \omega_0^2 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot R_2 \cdot R_3 \quad (4.16)$$

Коефіцієнт передачі фільтра негативний. ФНЧ другого порядку на основі операційного підсилювача може бути побудований також за схемою Салена – Кея, в якій використовується позитивний зворотний зв'язок рис. 4.5.

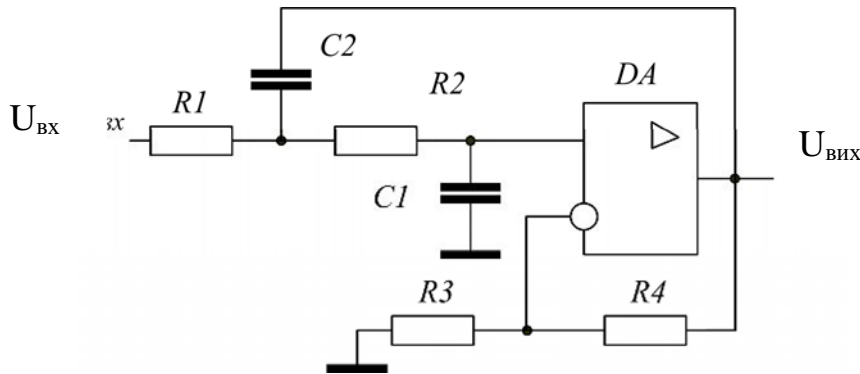


Рис. 4.5 – ФНЧ по схемі Саллена-Кея

Передавальна функція фільтра має вигляд:

$$W(p) = - \frac{1 + R_4 / R_3}{1 + \omega_0 \cdot [C_1 \cdot (R_1 + R_2) - R_1 \cdot R_4 \cdot C_2 / R_3] \cdot P + \omega_0^2 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2 \cdot P^2} \quad (4.17)$$

Відповідна система рівнянь для розрахунку параметрів фільтра записується у вигляді:

$$K_0 = 1 + R_4 / R_3, \quad (4.18)$$

$$a_1 = \omega_0 \cdot [C_1 \cdot (R_1 + R_2) - R_1 \cdot R_4 \cdot C_2 / R_3], \quad (4.19)$$

$$b_1 = \omega_0^2 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2 \quad (4.20)$$

Коефіцієнт передачі цієї схеми  $K_0$  повинен бути менше 3. В іншому випадку схема переходить в режим генератора синусоїдальних коливань.

Для реалізації ФНЧ третього і більш високого порядку, зазвичай, фільтри першого і другого порядку з'єднують послідовно. У цьому випадку характеристики ланок фільтра перемножуються.

### Фільтри верхніх частот. Передавальні функції ФВЧ

Передавальні функції ФВЧ можна отримати з аналогічних функцій ФНЧ, замінивши оператор  $P$  на  $1/P$ . При цьому, частота зрізу фільтра залишається незмінною, а  $K_0$  слід розуміти як коефіцієнт передачі на нескінченно великій частоті.

$$K_0 = \frac{K_0}{(1 + a_1 \cdot \frac{1}{P} + b_1 \cdot \frac{1}{P^2}) \cdot (1 + a_2 \cdot \frac{1}{P} + b_2 \cdot \frac{1}{P^2})} \quad (4.21)$$

Методи оптимізації та розрахунку коефіцієнтів апроксимуючих поліномів фільтрів при цьому не змінюються.

#### Схемотехніка ФВЧ.

Схеми для реалізації ФВЧ першого і другого порядку виходять з схем ФНЧ, якщо замінити місцями резистори і конденсатори всіх часозадавальних RC-ланцюгів.

Приклади схем ФВЧ першого порядку представлені на рис. 4.6.

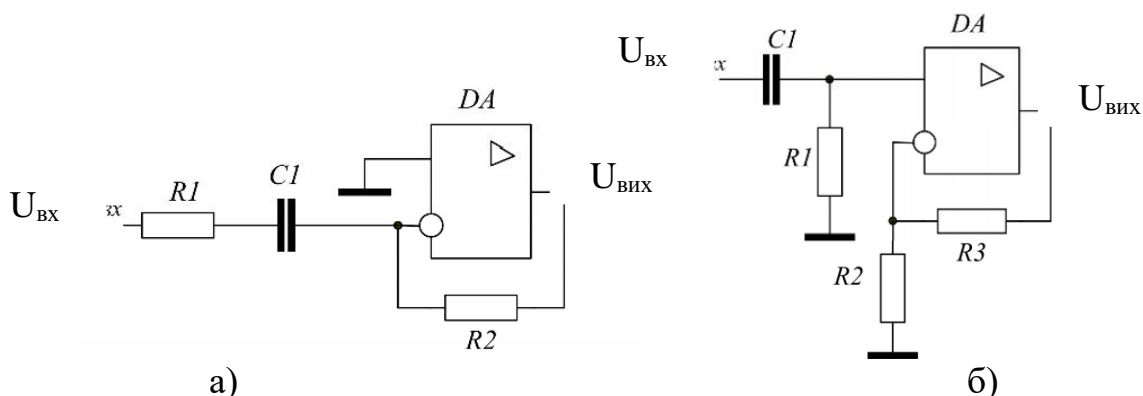


Рис. 4.6 – ФВЧ першого порядку: а) на основі інвертуючого підсилювача, б) на основі не інвертуючого підсилювача

Передавальна функція фільтра рис. 4.6 а, має вигляд:

$$W(p) = - \frac{R_2 / R_1}{(1 + \frac{1}{\omega_0 \cdot R_1 \cdot C_1} \cdot \frac{1}{P})} \quad (4.22)$$

В результаті маємо таку систему рівнянь для розрахунку:

$$K_0 = R_2 / R_1, \quad (4.23)$$

$$a_1 = 1 / \omega_0 \cdot R_1 \cdot C_1 \quad (4.24)$$

Для схеми на рис. 4.6 б маємо:

$$W(p) = -\frac{R_2 / R_1 + 1}{\left(1 + \frac{1}{\omega_0 \cdot R_1 \cdot C_1} \cdot \frac{1}{P}\right)}, \quad (4.25)$$

$$K_0 = R_3 / R_2 + 1, \quad (4.26)$$

$$a_1 = 1 / \omega_0 \cdot R_1 \cdot C_1 \quad (4.27)$$

Схема Рауха для ФВЧ другого порядку (схема зі складним негативним зворотним зв'язком) зображена на рис. 4.7.

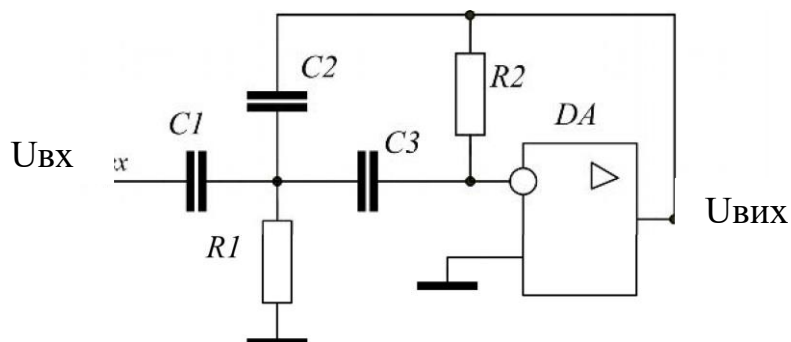


Рис. 4.7 – ФВЧ другого порядку за схемою Рауха

Передавальна функція фільтра:

$$W(p) = -\frac{C_1 / C_2}{1 + \frac{C_1 + C_2 + C_3}{R_2 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot \omega_0} \cdot \frac{1}{P} + \frac{1}{R_1 \cdot R_2 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot \omega_0^2} \cdot \frac{1}{P^2}}, \quad (4.28)$$

$$K_0 = C_1 / C_2, \quad (4.29)$$

$$a_1 = (C_1 + C_2 + C_3) / \omega_0 C_2 C_3 R_2, \quad (4.30)$$

$$b_1 = 1 / R_1 \cdot R_2 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot \omega_0^2 \quad (4.31)$$

Ще одним прикладом реалізації ФВЧ другого порядку є фільтр за схемою Саллі-Кея, показаний на рис. 4.8, який виходить заміною в схемі ФНЧ на рис. 4.5, конденсаторів на резистори, а резисторів на конденсатори.

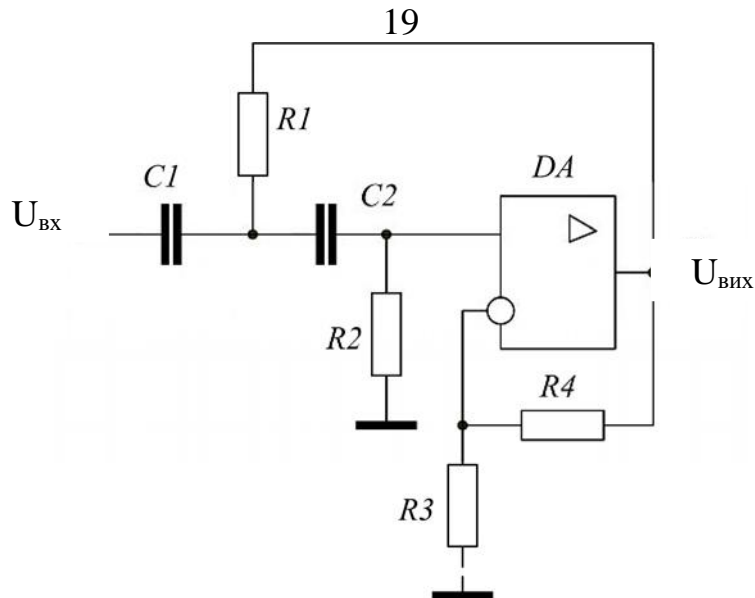


Рисунок 4.8 – ФВЧ другого порядку за схемою Саллі-Кея

Передавальна функція фільтра має вигляд:

$$W(p) = - \frac{1 + R_4 / R_3}{1 + \frac{R_1(C_1 + C_2) + R_2 C_2 R_4 / R_3}{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot \omega_0} \cdot \frac{1}{P} + \frac{1}{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot \omega_0^2} \cdot \frac{1}{P^2}} \quad (4.32)$$

Відповідно розрахункові формули записуються у вигляді:

$$K_0 = 1 + R_4 / R_3, \quad (4.33)$$

$$a_1 = \frac{R_1(C_1 + C_2) + R_2 C_2 R_4 / R_3}{R_1 R_2 C_1 C_2 \omega_0}, \quad (4.34)$$

$$b_1 = \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2 \omega_0^2} \quad (4.35)$$

Отримані розрахункові формули дозволяють синтезувати схеми при заданих коефіцієнтах передавальної функції [5].

## 5 Завдання на курсовий проєкт

Вихідні дані для розрахунку наведені в табл. 5.1 і 5.2. Варіант визначається двома останніми цифрами шифру залікової книжки. Цифра одиниць вказує номер вихідних даних в табл. 5.1, цифра десятків – в табл. 5.2.

Умовні позначення:

$f_0 = 2\pi\omega_0$  – частота зрізу фільтра в кГц;

$K_0$  – коефіцієнт посилення фільтра в смузі пропускання;

АЧХ – тип АЧХ фільтра (ФНЧ, ФВЧ);

Ф – метод оптимізації фільтра: Ба – фільтр Баттерворта, Бе – фільтр Бесселя, Ч05 – фільтр Чебишева з нерівномірністю 0,5 дБ, Ч1 – фільтр Чебишева з нерівномірністю 1 дБ, Ч2 – фільтр Чебишева з нерівномірністю 2 дБ, Ч3 – фільтр Чебишева з нерівномірністю 3 дБ.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані, які обираються за останньою цифрою шифру залікової книжки

№ варіанта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$f_0$ , [кГц]	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
АЧХ	ФНЧ	ФВЧ	ФНЧ	ФВЧ	ФНЧ	ФВЧ	ФНЧ	ФВЧ	ФНЧ	ФВЧ

Таблиця 5.2 – Вихідні дані, які обираються за передостанньою цифрою шифру залікової книжки

№ варіанта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$K_0$	10	12	15	18	20	22	26	30	32	35
Ф	Ба	Бе	Ч05	Ч1	Ч2	Ч3	Ба	Бе	Ч05	Ч1

### Програма роботи.

1. Спроектувати активний фільтр за вихідними даними, наведеними в табл. 5.1 і 5.2. Порядок фільтра і рекомендовані до використання схеми задаються викладачем. Відповідно до заданих параметрів і типів фільтру розрахувати його передавальну функцію. Скласти його принципову електричну схему. При виборі елементів схеми керуватися бібліотеками елементів пакету Multisim фірми National Instruments.

2. Зібрати модель фільтра в пакеті Multisim. Перевірити її працездатність при синусоїдальних вхідних сигналах. Визначити частоту зрізу і коефіцієнт посилення в смузі пропускання. Отримані значення не повинні відрізнятися від заданих більше, ніж на 5%.

Замалювати осцилограми сигналів при частотах  $f = 0,1 \cdot f_0$  і  $f = 10 \cdot f_0$ , визначити діапазон зміни амплітуди вхідного сигналу, в якому фільтр працездатний.

3. Використовуючи функціонал програми Multisim, виконати побудову частотних характеристик (Bode Plotter), побудувати АЧХ і ФЧХ фільтра в логарифмічному масштабі. Визначити нерівномірність частотної характеристики фільтра. Порівняти результати з теоретичними даними, що відповідають заданому типу фільтра.

4. Використовуючи функціональний генератор Function Generator в

режимі генерації прямокутних імпульсів і осцилограф, побудувати перехідну характеристику фільтра. Визначити час перехідного процесу на виході фільтра і перерегулювання. Пояснити результати.

5. Дослідити роботу фільтра при трикутному вхідному сигналі з частотою, що знаходиться в смузі пропускання фільтра.

6. Вибрати реальні компоненти для створення схеми. Оформити принципову електричну схему фільтра у вигляді креслення відповідно до діючих стандартів.

7. Оформити пояснювальну записку до проекту відповідно до вимог [5].

## 6 Методичні рекомендації до виконання проекту

### *Розрахунок параметрів фільтрів*

При розрахунку параметрів фільтрів слід врахувати, що розрахунок схеми вимагає рішення системи рівнянь першого або другого порядку. Кількість елементів, що розраховуються в схемі завжди більше, ніж кількість рівнянь. Тому, частина елементів схеми обирається попередньо. Рекомендується задавати значення ємностей конденсаторів і обчислювати необхідні значення опорів резисторів. При проектуванні фільтрів другого порядку слід врахувати, що рішення задачі, пов'язане з пошуком коренів квадратного рівняння. Вибір ємностей конденсаторів робить істотний вплив на характер рішення.

### Вибір компонентів.

При переході від розрахункових значень опорів і ємностей RC-ланцюгів, слід враховувати конструктивні і технологічні особливості елементів.

Конденсатори, зазвичай, виготовляються з точністю 20% і при їх виготовленні використовується ряд E12, що дозволяє вибір тільки 12 номіналів ємностей: 10, 12, 15, 18, 22, 27, 30, 33, 39, 47, 56, 68 82.

Ряд E24 застосовується при виготовленні резисторів. Він допускає використання 24 номінальних значень опорів: 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 20, 22, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 43, 47, 51, 56, 62, 68, 82, 91.

Використовувані значення опору і ємності з ряду можуть бути помножені на  $10^n$ , де  $n$  – ціле позитивне число або нуль. Наприклад, можна використовувати резистори: 13 Ом, 130 Ом, 1,3 кОм, 13 кОм, 130 кОм і т.д.

Використовувати в схемі резистори з опором менше 1 кОм небажано тому, що це неминуче призведе до збільшення енергоспоживання схеми і ускладнить вибір операційного підсилювача.

Для вибору операційних підсилювачів, необхідно попередньо визначити їх параметри: вихідний опір  $R_{вих}$ , вхідний опір  $R_{вх}$ , частоту одиничного посилення  $f_T$ . Орієнтовно можна визначити ці параметри за формулами:

$R_{вих} \leq R_{min} / 10$ ,  $R_{вх} \geq 10R_{max}$ ,  $f_T \geq K_0 f_0$ , де  $R_{min}$  і  $R_{max}$  – відповідно номінали мінімального і максимального резисторів в схемі спроектованого фільтра [5].

## 7 Приклади розрахунків і досліджень

Приклад 1. Фільтр низької частоти першого порядку.

Початкові дані:

- тип фільтра – фільтр низької частоти (ФНЧ);
- метод оптимізації фільтра – фільтр Баттерворта;
- частота зрізу фільтра  $f_0 = 5$  кГц;
- коефіцієнт посилення фільтра в смузі пропускання  $K_0 = 5$ ;
- схема фільтра – фільтр з негативним зворотним зв'язком, рис. 7.1.

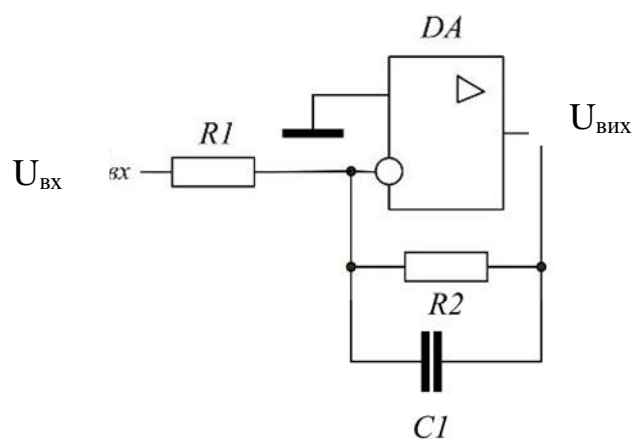


Рис. 7.1 – Схема фільтра

Передавальна функція:

$$W(p) = -\frac{R_2 / R_1}{1 + \omega_0 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot p} \quad (7.1)$$

де: коефіцієнт передачі  $K_0 = R_2 / R_1 = 5$  за умовою завдання;  
коефіцієнт  $a_1 = \omega_0 \cdot R_2 \cdot C_1$  по табл. 5.1.

Розрахунок параметрів:

$$\omega_0 = 2\pi f_0 = 31415,9, \frac{1}{c} \quad (7.2)$$

З ряду E12 вибираємо:  $C_1 = 2,2$  нФ;

Знаходимо:  $R_2 = 1/\omega_0 C_1 = 14,5$  кОм;  $R_1 = R_2 / K_0 = 2,89$  кОм.

З ряду E24 обираємо  $R_2 = 15$  кОм,  $R_1 = 3$ , кОм.

Модель, рис. 7.2:

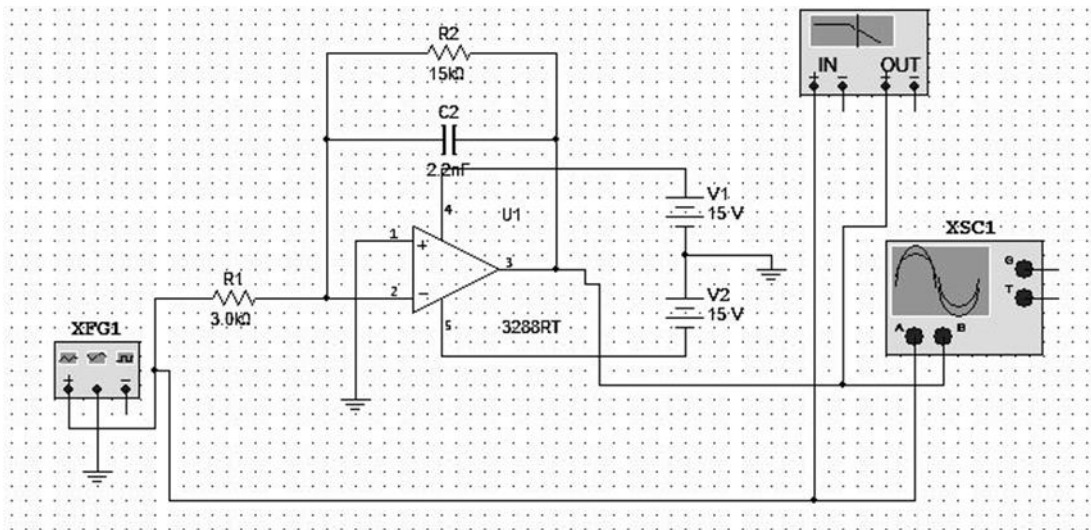


Рис. 7.2 – Модель фільтра

### *Результати досліджень*

Дослідження фільтра проводяться в програмі Multisim. Досліджується робота з синусоїдальними вхідними сигналами. Аналізується АЧХ і ФЧХ фільтра. Результати відображені на рис. 7.1 – 7.7.



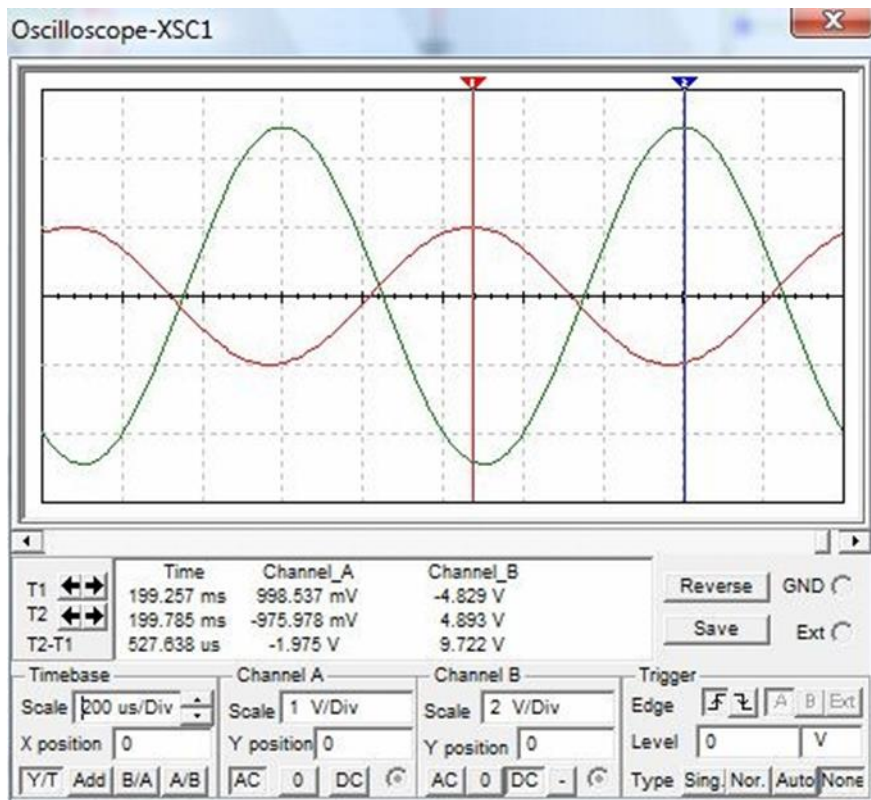


Рис. 7.3 – Осцилограми при частоті 1 кГц

Співвідношення амплітуд  $4,89/0,998=4,89$  приблизно відповідає заявленому коефіцієнту посилення  $K_0 = 5$

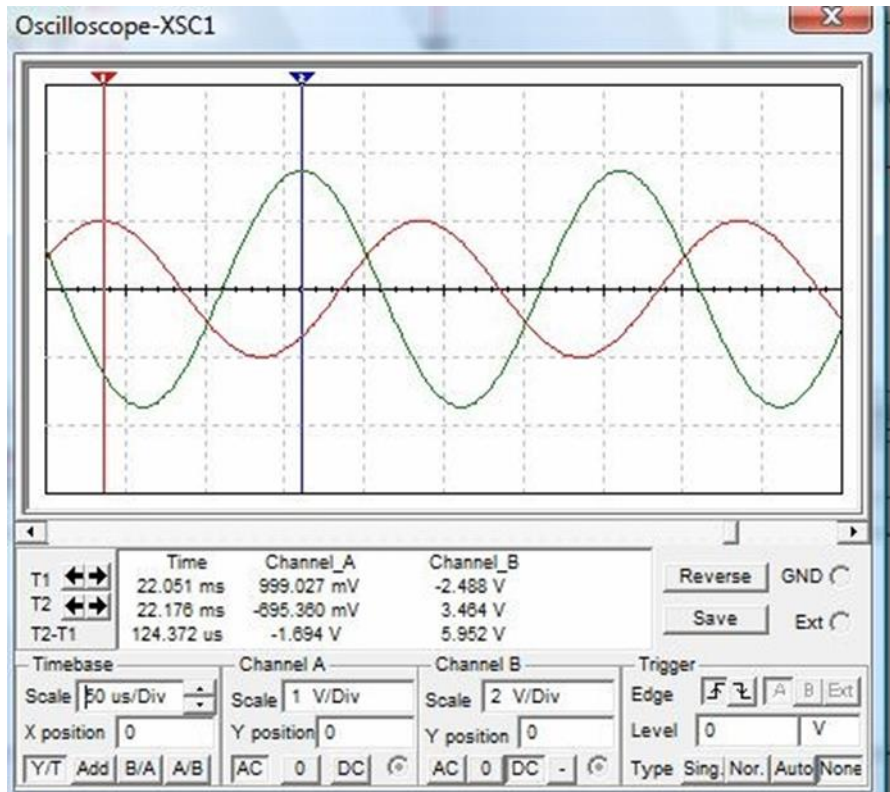
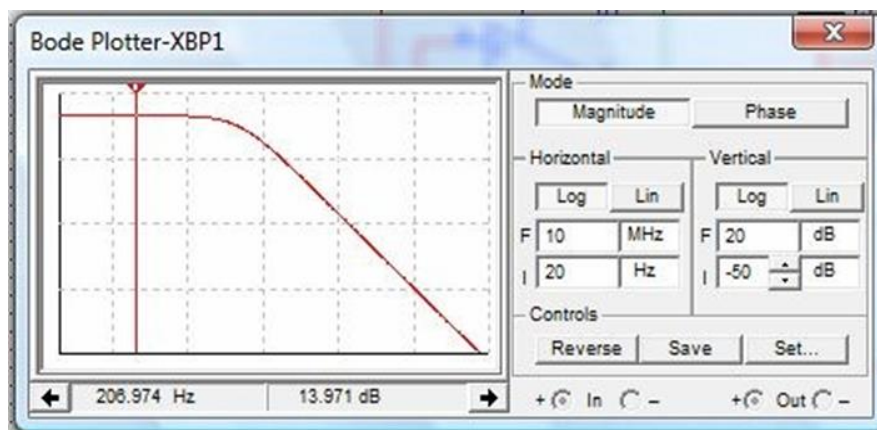


Рис. 7.4 – Осцилограми при частоті 5 кГц

На частоті зрізу сигнал послаблюється в  $\sqrt{2}$  раз:  $5 * 0,99 / 3,46 = 1,43$ .



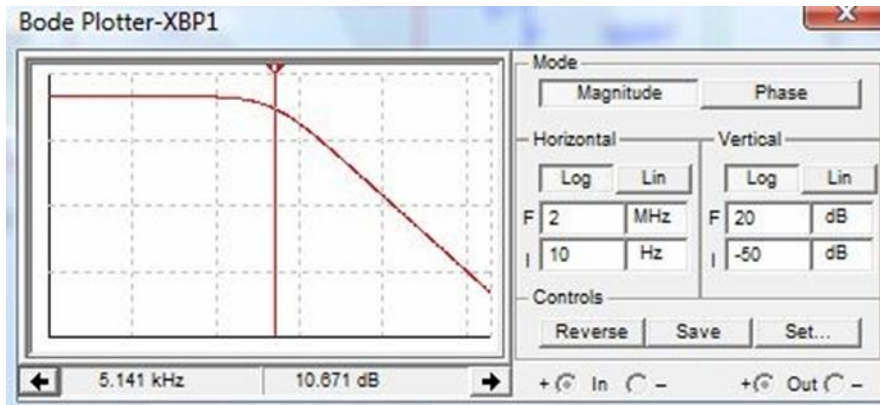


Рис. 7.5 – АЧХ фільтра

Максимальний коефіцієнт підсилення 13,97 дБ, відповідає розрахунковому  $20 \lg 5 = 13,97$ . Ослаблення на частоті зрізу  $13,97 - 10,67 = 3,3$  (Теоретично 3), нахил – 20 дБ/дек.

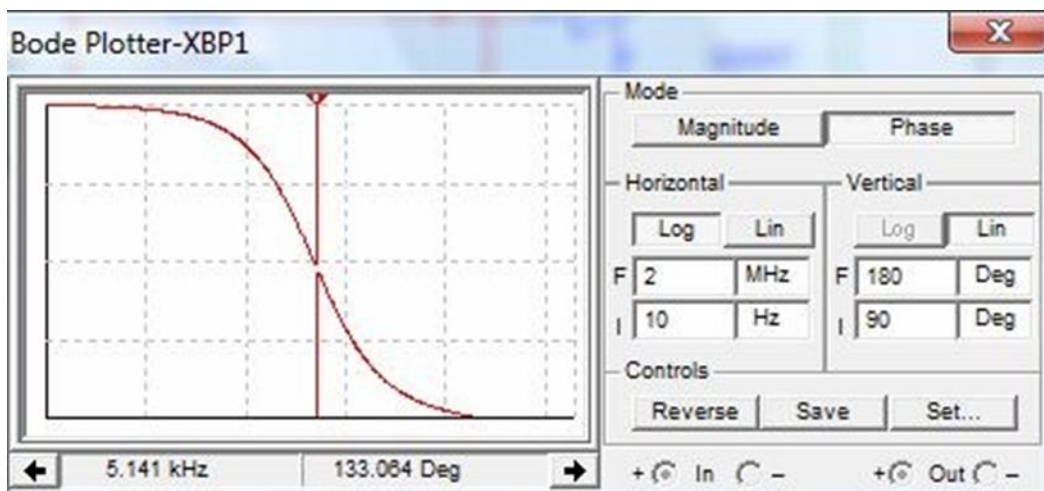


Рис. 7.6 – ФЧХ фільтра

Фазовий зсув в смузі пропускання змінюється від 180 до 133 градусів.

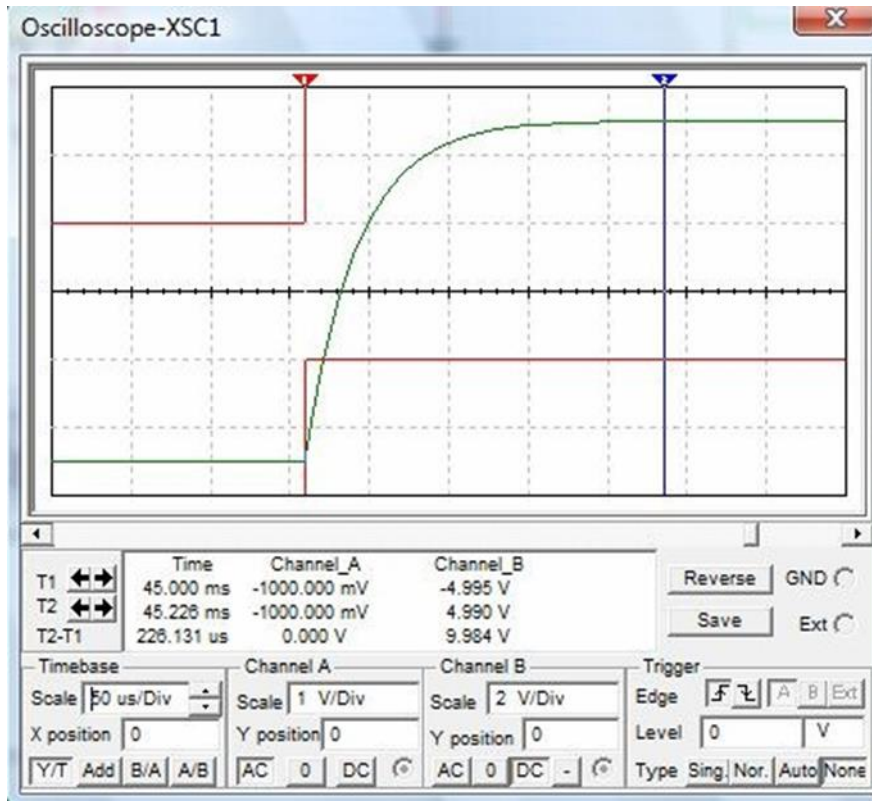


Рис. 7.7 – Перехідна характеристика фільтра

Перехідна характеристика монотонна, без перерегулювання. Час перехідного процесу приблизно 150 мкс.

Приклад 2. Фільтр високої частоти другого порядку.

Початкові дані:

- тип фільтра – фільтр високої частоти (ФВЧ);
- метод оптимізації фільтра – фільтр Бесселя;
- частота зрізу фільтра  $f_0 = 5$  кГц;
- коефіцієнт посилення фільтра в смузі  $K_0 = 5$ ;
- схема фільтра – схема Рауха, рис. 7.8.

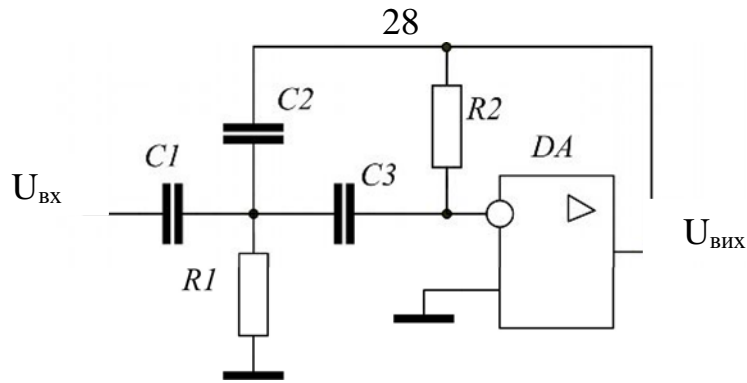


Рис. 7.8 – Схема фільтра

Передавальна функція:

$$W(p) = - \frac{C_1 / C_2}{1 + \frac{C_1 + C_2 + C_3}{R_2 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot \omega_0} \cdot \frac{1}{P} + \frac{1}{R_1 \cdot R_2 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot \omega_0^2} \cdot \frac{1}{P^2}} \quad (7.3)$$

де: коефіцієнт передачі  $K_0 = C_1 / C_2 = 5$  за умовою завдання;

коефіцієнт  $a_1 = (C_1 + C_2 + C_3) / \omega_0 C_2 C_3 R_2 = 1,3617$ ,  $b_1 = 1 / R_1 \cdot R_2 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot \omega_0^2$  по табл. 5.1.

Розрахунок параметрів:

$$\omega_0 = 2\pi f_0 = 31415,9, \frac{1}{c} \quad (7.4)$$

З ряду E12 вибираємо:  $C_1 = C_2 = 51 \text{ нФ}$ .

Знаходимо:  $C_2 = C_1 / 5 = 10,2 \text{ нФ}$ , обираємо  $C_2 = 10 \text{ нФ}$ ,

$R_2 = (C_1 + C_2 + C_3) / a_1 C_2 C_3 \omega_0 = 50,41 \text{ кОм}$ ,  $R_1 = 1 / b_1 R_2 C_2 C_3 \omega_0^2 = 6,251 \text{ кОм}$ .

З ряду E24 обираємо  $R_2 = 51 \text{ кОм}$ ,  $R_1 = 6,2 \text{ кОм}$ .

Модель, рис. 7.9:

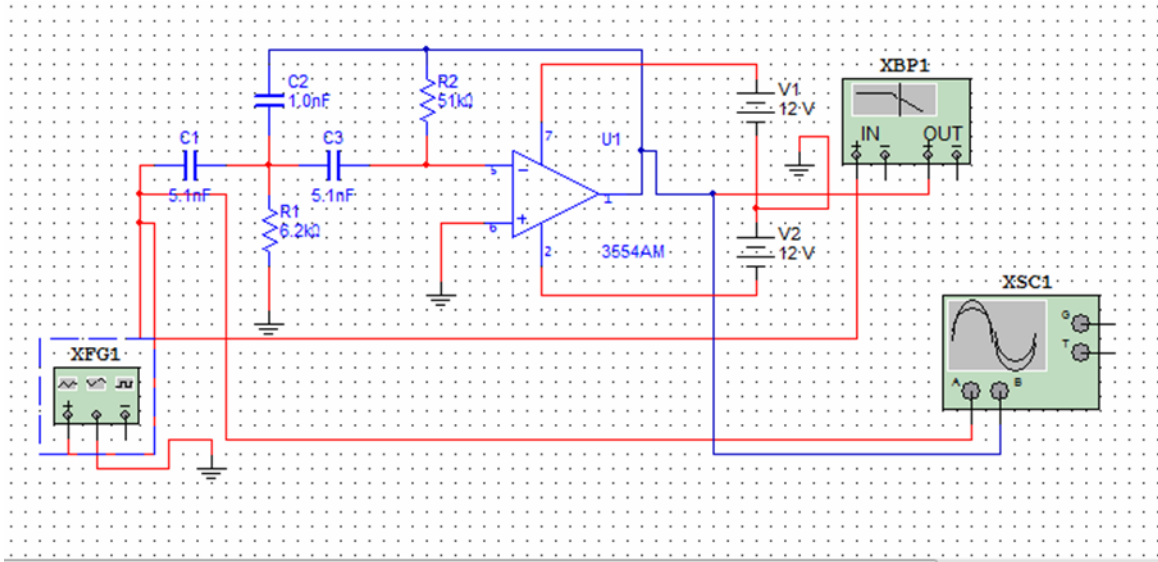


Рис. 7.9 – Модель фільтра

Результати досліджень, рис. 7.10 – 7.15:

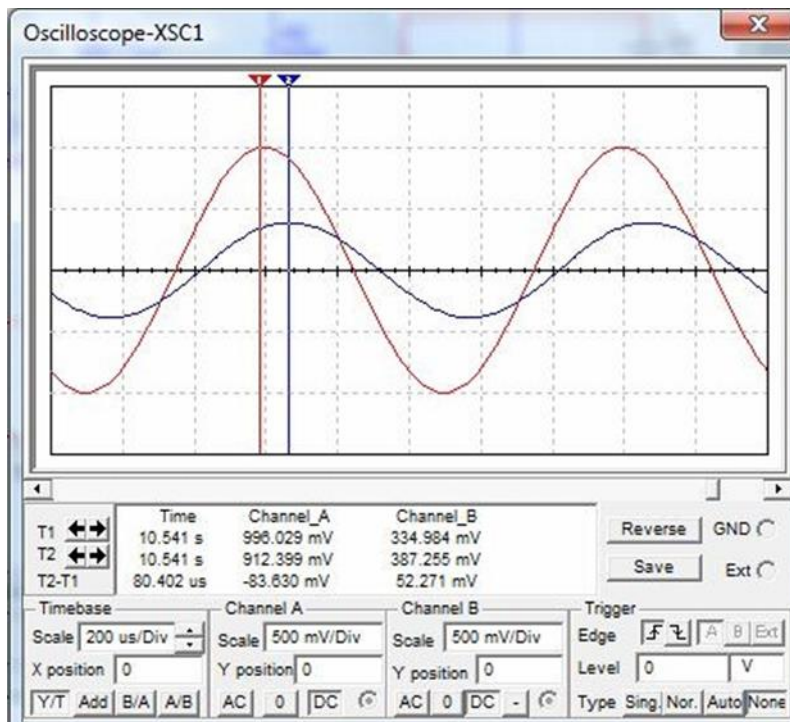


Рис. 7.10 – Осцилограми при частоті 1 кГц

Співвідношення амплітуд  $996/387=2,57$  – менше заявленого коефіцієнта посилення. Сигнал послаблюється.

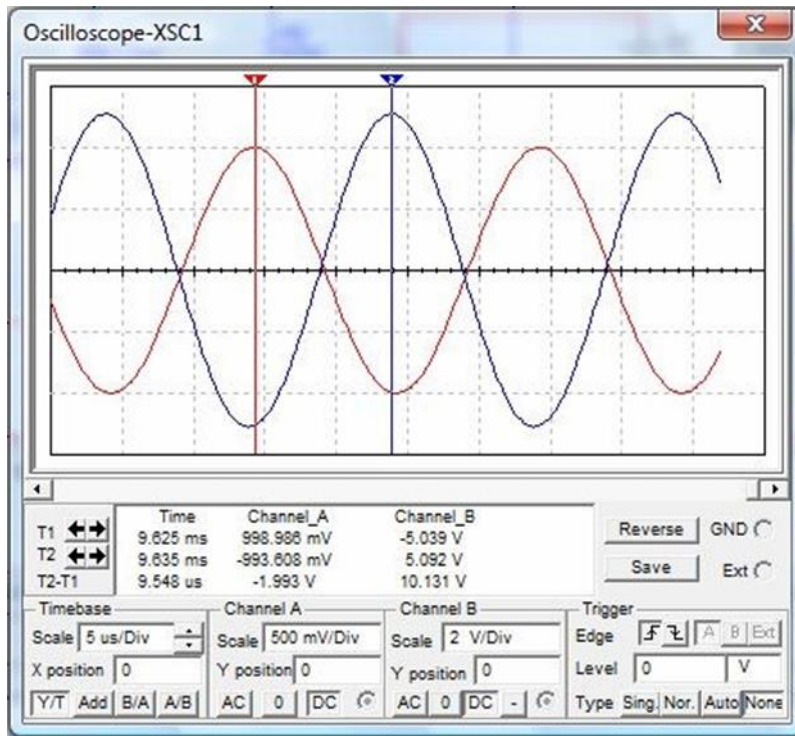


Рис. 7.11 – Осцилограми при частоті 50 кГц

Співвідношення амплітуд  $5,092/0,999 = 5,097$ , що приблизно відповідає розрахунковому коефіцієнту посилення фільтра  $K_0 = 5$ .

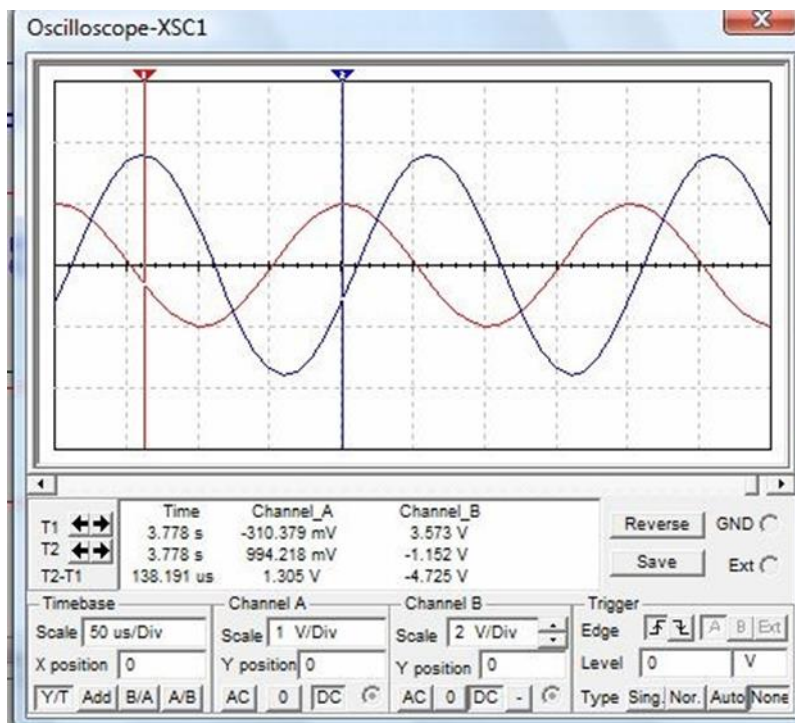


Рис. 7.12 – Осцилограми при частоті 5 кГц

Співвідношення амплітуд  $3,571/0,994 = 3,59$  – менше заявленого коефіцієнта посилення в 1,39 раз. Теоретично сигнал повинен послабитися в  $\sqrt{2}$  раз.

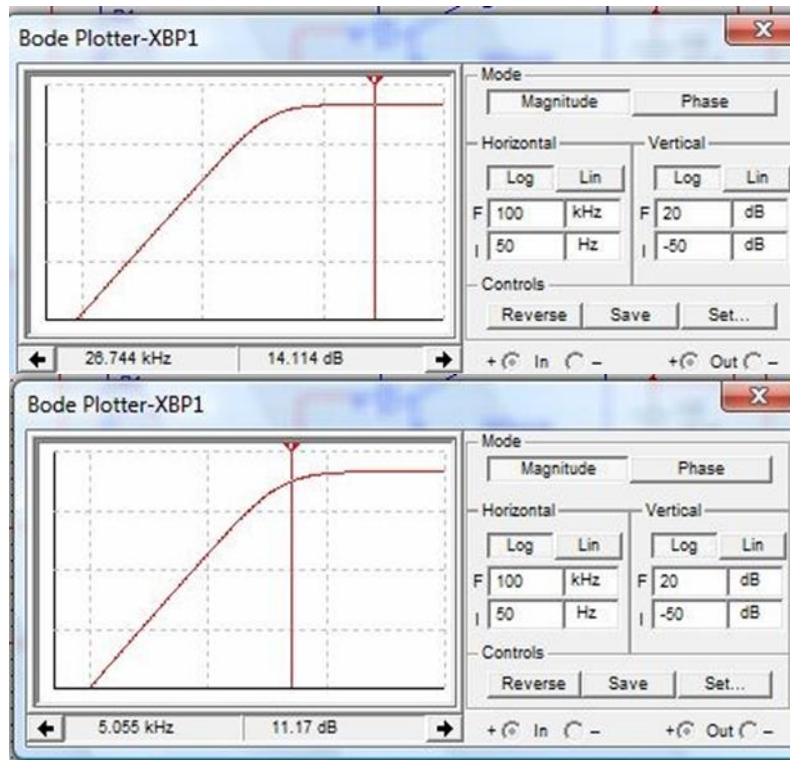


Рис. 7.13 – АЧХ фільтра

АЧХ не має коливань, на характеристиці 14,1 дБ, приблизно відповідає заявленому коефіцієнту посилення  $20 \lg 5 = 13,97$ . На частоті зрізу ослаблення приблизно  $\cong 14,1 - 11,17 = 2,93$  дБ. Нахил характеристики 40 дБ / дек.

Затримка сигналу в смузі пропускання змінюється від 105 до 180 градусів.

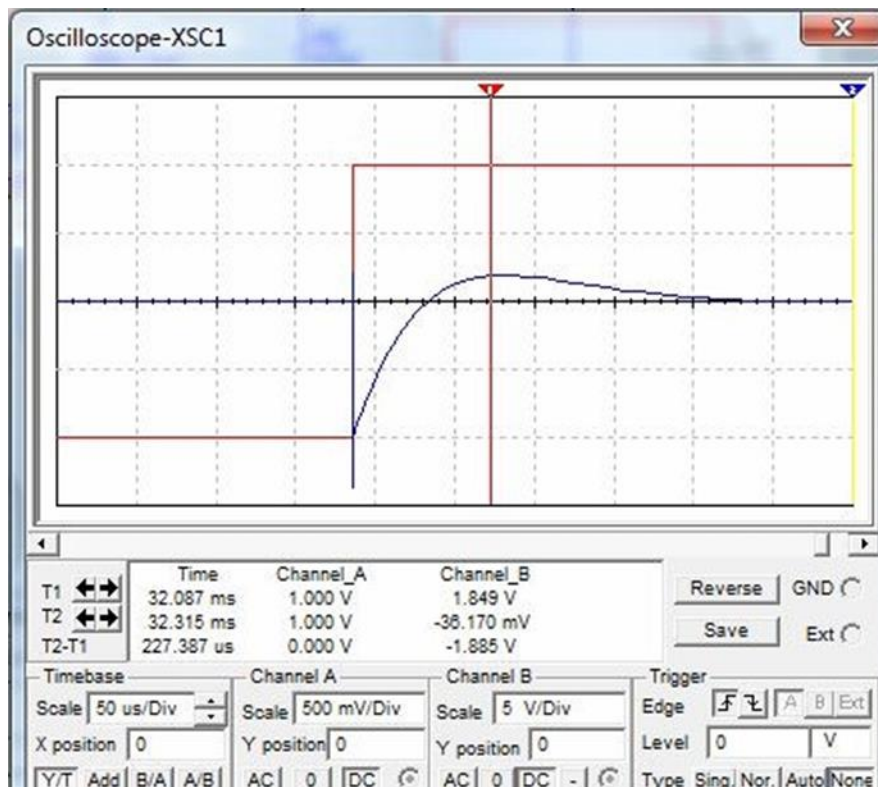


Рис. 7.14 – Перехідна характеристика фільтра



Перехідний процес має одне коливання; перерегулювання 18,5%, час переходного процесу 150 мкс.

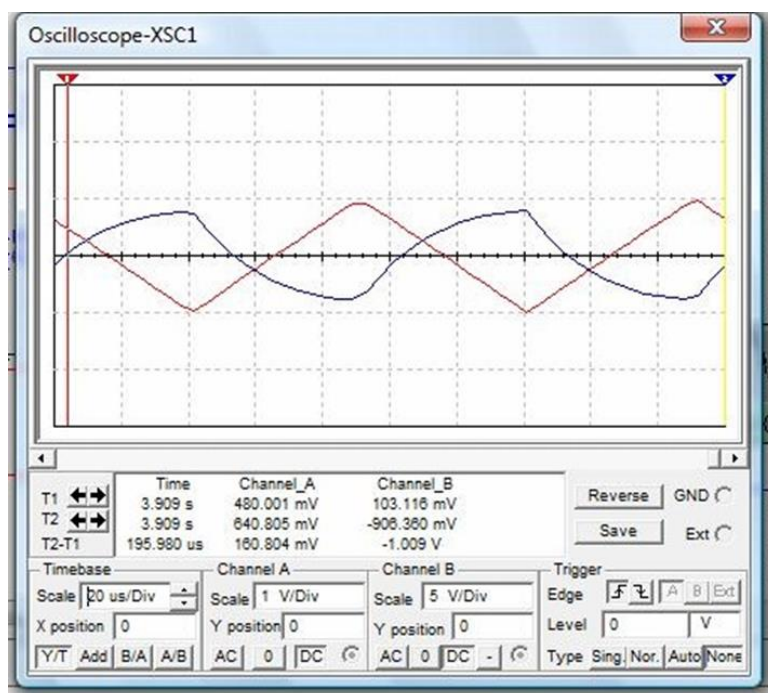


Рис. 7.15 – Реакція фільтра на трикутний сигнал частотою 10 кГц

При проходженні через фільтр трикутний сигнал спотворюється за рахунок відмінних фазових зрушень різних гармонік [5].

## 8 Порядок захисту курсового проєкту

1. Подати на перевірку розрахунково-пояснювальну записку та графічну частину курсового проєкту. Отримавши позитивну оцінку, перейти до другого етапу.

2. Надати правильні відповіді на всі контрольні питання, що наведені у методичних вказівках до виконання курсового проєкту. Далі переходимо до третього етапу.

3. Виконати пряме перетворення Лапласа двох аналітично представлених функцій, які характеризують вхідний і вихідний сигнали деякої електронної схеми (фільтру) та на основі їх отриманих зображень, знайти передаточну функцію всієї схеми. Аналітичний запис функцій надає викладач.

## 9 Оцінювання

Результативність виконання курсового проєкту оцінюється за національною та ECTS шкалами по встановленим критеріям. Шкали та критерії зведені до табл. 9.1.

Таблиця 9.1 – Шкали оцінювання результатів виконання курсового проєкту

<i>ECTS/бали</i>	<i>Національна Цифра/Назва</i>	<i>Якість оформлення розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини</i>	<i>Правильність зроблених розрахунків та принципової схеми фільтра</i>	<i>Сучасність та відповідність тематиці приведеного опису з огляду науково-технічної та патентної літератури</i>	<i>Повнота та чіткість висновків за весь проєкт</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
A/(90-100)	5/(Відмінно)	Всі розділи курсового проєкту оформлені у відповідності до вимог, включаючи графічну частину.	Всі розрахунки вірні, елементи та зв'язки між ними в схемі, забезпечують потрібні характеристики та роблять її працездатною.	Опис повністю розкриває сучасний стан тематики курсового проєкту.	Висновки відповідають встановленим задачам проєкту, надані чітко та в повному об'ємі.
B/(82-89)	4/(Добре)	Всі розділи курсового проєкту окрім першого, оформлені у відповідності до вимог, включаючи графічну частину.	Всі розрахунки вірні, елементи та зв'язки між ними в схемі, забезпечують потрібні характеристики та роблять її працездатною.	Опис повністю розкриває стан тематики курсового проєкту, але представлена інформація є не досить новою.	Висновки відповідають встановленим задачам проєкту, але надані не досить чітко, хоча й в повному обсязі.
C/(74-81)		Другий розділ курсового проєкту оформлений у відповідності до вимог, а всі останні, включаючи графічну частину, мають невідповідності.	Більшість розрахунків правильні, елементи та зв'язки між ними в схемі, забезпечують її працездатність, але формують характеристики, що відрізняються від проєктних, але не значно.	Опис не повністю розкриває стан тематики курсового проєкту і представлена інформація є не досить новою.	Висновки відповідають встановленим задачам проєкту, але надані не досить чітко та не в повному обсязі.

## Продовження табл. 9.1

D/(64-73)	3/(Задовільно)	Другий розділ проекту оформлений у відповідності до вимог, а всі останні, включаючи графічну частину, мають значні невідповідності.	Половина розрахунків правильна, елементи та зв'язки між ними в схемі, забезпечують її працездатність, але формують характеристики, що значно відрізняються від проектних.	Опис не повністю розкриває стан тематики курсового проекту і представлена інформація є старою.	Висновки частково відповідають встановленим задачам проекту і надані не в повному обсязі.
E/(60-63)	3/(Задовільно)	Другий розділ проекту оформлений з незначними помилками, а всі останні, включаючи графічну частину, мають численні невідповідності.	Половина розрахунків правильна, елементи та зв'язки між ними в схемі, забезпечують її працездатність, але формують характеристики, що значно відрізняються від проектних.	Опис в своїй більшості не розкриває тематику курсового проекту і представлена інформація є застарілою.	Практично всі висновки не відповідають встановленим задачам проекту та приведені не всі.
Fx/(35-59)	2/(Не задовільно)	Всі розділи проекту оформлені з великою кількістю помилок, включаючи графічну частину.	Більшість розрахунків є неправильними, схема є працездатною, але характеристики яким повинна вона відповідати – відсутні.	Опис не розкриває тематику курсового проекту і представлена інформація є застарілою.	Висновки не відповідають встановленим задачам проекту.
F/(0-34)		Всі розділи проекту оформлені з великою кількістю помилок, включаючи графічну частину.	Більшість розрахунків є неправильними, схема не працездатна.	Опис не розкриває тематику курсового проекту, представлена інформація є застарілою, або розділ відсутній.	Висновки не відповідають встановленим задачам проекту, або взагалі не наведені.

## 10 Контрольні питання

1. Які існують основні методи реєстрації біопотенціалів, поясніть призначення кожного з них?
2. Поясніть механізм формування біопотенціалів на поверхні тканини?
3. Що розуміють під терміном електронний фільтр?
4. Види зовнішніх і внутрішніх завод та перешкод, що впливають на визначення біоелектричних сигналів тканин біомедичною апаратурою?
5. Назвіть методи боротьби з перешкодами та завадами?
6. Що таке АЧХ та ФЧХ фільтра?
7. Як поділяються фільтри за видом АЧХ?
8. Що розуміють під терміном передавальна функція фільтра?
9. Дайте визначення терміна частота зрізу вхідних сигналів фільтра?
10. Що таке перехідна функція?
11. Що таке дБ за яким виразом визначається?
12. Охарактеризуйте АЧХ різних типів фільтрів низької частоти?

### Список використаної літератури

1. Проектування біомедичної апаратури з дисципліни «Проектування біомедичної електроніки»: метод. вказівки до виконання курсового проекту для студентів ЗДІА напряму 6.050801 «Мікро та наноелектроніка» / Запорізька державна інженерна академія; уклад. А.О. Ніконова, О.Ю. Небеснюк, З.А. Ніконова, А.С. Сечин. – Запоріжжя: ЗДІА, 2011. – 58 с.
2. Зааль Р. Справочник по расчету фильтров. – М.: Радио и связь, 1983.
3. Мошиц Г., Хорн П. Проектирование активных фильтров / М.: Мир, 1984.
4. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника / М.: Мир, 1982.
5. Проектирование активных фильтров по дисциплине: «Основы электроники»: метод. указания к курсовому проекту / Вологодский государственный технический университет; сост. А.М. Водовозов, А.С. Елюков. – Вологда: ВоГТУ, 2009. – 28 с.

### Рекомендована література

1. Рябенський В.М., Буряк В.С. Практична електротехніка: посібник для виконання лабораторних і практичних робіт з курсу «Основы теорії електричних кіл та сигналів» на основі віртуальної лабораторії Multisim. Частина І. Миколаїв: НУК, 2016. 164 с.
2. Болух В.Ф., Данько В.Г. Основы електроніки і мікропроцесорної техніки: навч. посібник. Харків: НТУ «ХП», 2011. 257 с.
3. Основы проектування електронних систем: лабораторний практикум для студентів спеціальності 6.170102 Системи технічного захисту інформації; уклад.: Т.В. Мелешко, В.А. Швець, А.О. Краснопольский, Н.О. Касперович, О.О. Туз. К.: НАУ, 2014. 102 с.

4. Основи конструювання БМА та основи технології виробництва БМА для біооб'єктів: метод. вказівки до виконання лабораторної роботи №1 для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ден. та заоч. форм навч. спец.: 163 Біомедична інженерія; уклад.: Н.Г. Косуліна, М.О. Чорна, В.В. Сухін. Харків: ДБТУ, 2021. 20 с.

5. Кромвелл Л., Ардити М. Медицинская электронная аппаратура для здравоохранения. М.: Мир, 1981. 344с.

6. Мошиц Г., Хорн П. Проектирование активных фильтров. М.: Мир, 1984. 320 с.

7. Опадчий Ю.Ф. Аналоговая и цифровая электроника. М.: Горячая линия – Телеком, 2005. 768 с.

Міністерство освіти і науки України  
Державний біотехнологічний університет  
Факультет енергетики, робототехніки та комп'ютерних технологій  
Кафедра електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії та  
електротехніки

### **РОЗРАХУНКОВО-ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до курсового проекту  
з дисципліни «Основи конструювання БМА та основи технології виробництва  
БМА для біооб'єктів»  
на тему: **«РОЗРАХУНОК ЗАСОБІВ ФІЛЬТРАЦІЇ БІОСИГНАЛІВ БМА»**

Виконав:

ст. гр. 43-БМІ

Петренко С.О.

Керівники проекту:

к.т.н., доц. каф. БМІТЕ Чорна М.О.

ст. викл. каф. БМІТЕ Сухін В.В.

Дата здачі на перевірку:

Дата перевірки:

Дата захисту:

Харків 2023

Державний біотехнологічний університет  
Факультет енергетики, робототехніки та комп'ютерних технологій  
Кафедра електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії та  
електротехніки  
Основи конструювання БМА та основи технології виробництва БМА для  
біооб'єктів

Спеціальність 163

Курс IV

Група 43-БМІ

Семестр VIII

### Завдання

На курсовий проект студента  
Петренка Сергія Олександровича

1. Тема проекту: «РОЗРАХУНОК ЗАСОБІВ ФІЛЬТРАЦІЇ БІОСИГНАЛІВ БМА».
2. Термін здачі студентом закінченого проекту (роботи): 15.12.23.
3. Вихідні дані до проекту (роботи): фільтр низьких частот Чебишева,  $f_c = 83$  кГц,  $f_k = 44,86$  кГц,  $\Delta a = 0,17$  дБ,  $a_0 = 23$  дБ,  $R_z = R_n = 350$  Ом.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розглянути):
  1. Аналіз конструктивних особливостей, принципу дії та характеристик фільтру;
  2. Розрахунок та проектування пасивного та активного фільтру низьких частот;
  3. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
    1. АЧХ фільтрів Чебишева та Баттерворта (формат листа для зображення АЧХ А1) Л. 1;
    2. Електрична схема та характеристики пасивного фільтра (формат листа для зображення АЧХ А3) Л. 2;
    3. Електрична схема та характеристики активного фільтра (формат листа для зображення АЧХ А3) Л. 3.

Дата видачі завдання

01.10.2023 р.

39  
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Найменування етапів курсового проєкту	Термін виконання проєкту (роботи)	Примітка
1.	Пошук потрібної літератури	01.10-08.10	
2.	Складання плану курсового проєкту	08.10-11.10	
3.	Вступ, I розділ	11.10-18.10	
4.	II розділ	18.10-01.11	
5.	Висновки та оформлення курсового проєкту	01.11-02.11	
6.	Креслення №1	02.11-09.11	
7.	Креслення №2	09.11-16.11	
8.	Креслення №3	16.11-23.11	
9.	Захист курсового проєкту	23.11-6.12	



40  
РЕФЕРАТ

Курсовий проєкт містить: 38 с., 9 рис., 4 табл., 2 додатки, 15 джерел літератури.

Об'єкт дослідження – фільтр низьких частот Чебишева.

Мета проєкту: розрахунок та проєктування електричної схеми пасивного та активного фільтрів низьких частот Чебишева.

Завдання:

1. Проаналізувати теоретичні відомості складу та принципу дії існуючих приладів фільтрації сигналів.

2. Розрахувати значення елементів, провести моделювання та побудувати характеристики фільтру низьких частот Чебишева.

ФІЛЬТР ЧЕБИШЕВА, ФІЛЬТР БАТТЕРВОРТА, АМПЛІТУДНО-ЧАСТОТНА ХАРАКТЕРИСТИКА, ОПР, КОНДЕНСАТОР, ОПЕРАЦІЙНИЙ ПДСИЛЮВАЧ, ЧАСТОТА ЗРІЗУ, СМУГА ЗАТРИМКИ, РЕЖЕКТОРНИЙ ФІЛЬТР.

41  
Додаток Б

Таблиця – Нормовані значення фільтрів Баттерворта

N=2		
Δa, дБ	B	C
3.0	1.414214	1.00000
N=3		
3.0	1.00000	1.00000
3.0	–	1.00000
N=4		
3.0	0.765367	1.00000
3.0	1.847759	1.00000
N=5		
3.0	0.618034	1.00000
3.0	1.618034	1.00000
3.0	–	1.00000
N=6		
3.0	0.517638	1.00000
3.0	1.414214	1.00000
3.0	1.931852	1.00000
N=7		
3.0	0.445042	1.00000
3.0	1.246980	1.00000
3.0	1.801938	1.00000
3.0	–	1.00000
N=8		
3.0	0.390181	1.00000
3.0	1.111140	1.00000
3.0	1.662939	1.00000
3.0	1.961571	1.00000
N=9		
3.0	0.347296	1.00000
3.0	1.000000	1.00000

Продовження табл.

3.0	1.532089	1.00000
3.0	1.879385	1.00000
3.0	–	1.00000
N=10		
3.0	0.312869	1.00000
3.0	0.907981	1.00000
3.0	1.414214	1.00000
3.0	1.782013	1.00000
3.0	1.975377	1.00000

Таблиця – Нормовані значення фільтрів Чебишева

N=2		
Δа, дБ	В	С
0.1	2.372356	3.314037
0.5	1.425625	1.516203
1.0	1.097734	1.102510
2.0	0.803818	0.823060
3.0	0.644900	0.797848
N=3		
0.1	0.969406	1.689747
	–	0.969406
0.5	0.626456	1.142448
	–	0.626456
1.0	0.494171	0.994205
	–	0.494171
2.0	0.368911	0.886095
	–	0.368911
3.0	0.298620	0.839174
	–	0.298620
N=4		
0.1	0.528313	1.330031
	1.275460	0.622925

## Продовження табл.

0.5	0.350706	1.063519
	0.846680	0.356412
1.0	0.279072	0.986505
	0.673739	0.279398
2.0	0.209775	0.928675
	0.506440	0.221568
3.0	0.170341	0.903087
	0.411239	0.195980
N=5		
0.1	0.333067	1.194937
	0.871982	0.635920
	–	0.538914
0.5	0.223926	1.035784
	0.586245	0.476767
	–	0.362320
1.0	0.178917	0.988315
	0.468410	0.429298
	–	0.289493
2.0	0.134922	0.952167
	0.353230	0.393150
	–	0.218308
3.0	0.109720	0.936025
	0.287250	0.377009
	–	0.177530
N=6		
0.1	0.229387	1.129387
	0.626696	0.696374
	0.856083	0.263361
0.5	0.155300	1.023023
	0.424288	0.590010
	0.579588	0.156997
1.0	0.124362	0.990732

	0.339763	0.557720
	0.464125	0.124707
2.0	0.093946	0.965952
	0.250000	0.532939
	0.350613	0.099926
3.0	0.076459	0.954830
	0.208890	0.521818
	0.285349	0.088805
N=7		
0.1	0.167682	1.092446
	0.469834	0.753222
	0.678930	0.330217
	–	0.376778
0.5	0.114006	1.016108
	0.319439	0.676884
	0.461602	0.253878
	–	0.256170
1.0	0.091418	0.992679
	0.256147	0.653456
	0.370144	0.230450
	–	0.205414
2.0	0.069133	0.974615
	0.193706	0.635391
	0.279913	0.212386
	–	0.155340
5.0	0.056291	0.966483
	0.157725	0.627259
	0.227919	0.204754
	–	0.126485
N=8		
0.1	0.127960	1.069492
	0.364400	0.798894

	0.545363	0.416210
	0.643300	0.145612
0.5	0.087240	1.011932
	0.248439	0.741334
	0.371815	0.353650
	0.438586	0.088052
1.0	0.070016	0.994141
	0.199390	0.723543
	0.298408	0.340859
	0.351997	0.070261
2.0	0.052985	0.980380
	0.150888	0.709782
	0.225820	0.327099
	0.266372	0.056501
5.0	0.043156	0.974173
	0.122899	0.703575
	0.183931	0.320892
	0.216961	0.050294
N=9		
0.1	0.100876	1.054214
	0.290461	0.834368
	0.445012	0.497544
	0.545888	0.201345
	–	0.290461
0.5	0.068905	1.009211
	0.198405	0.789365
	0.303975	0.452541
	0.372880	0.156342
	–	0.198405
1.0	0.055335	0.995233
	0.159330	0.775386
	0.244108	0.438562

	0.299443	0.142364
	–	0.159330
2.0	0.041894	0.984398
	0.120630	0.764552
	0.184816	0.427727
	0.226710	0.131529
	–	0.120630
5.0	0.034130	0.979504
	0.098275	0.759658
	0.150565	0.422834
	0.184696	0.126636
	–	0.098275
N=10		
0.1	0.081577	1.043513
	0.236747	0.861878
	0.368742	0.567985
	0.464642	0.274093
	0.515059	0.092457
0.5	0.055799	1.007335
	0.161934	0.825700
	0.252219	0.531807
	0.317814	0.237915
	0.352300	0.056279
1.0	0.044829	0.996058
	0.130099	0.814423
	0.202633	0.520530
	0.255333	0.226637
	0.283039	0.045002
2.0	0.033952	0.987304
	0.098531	0.805669
	0.153466	0.511776
	0.193379	0.217883

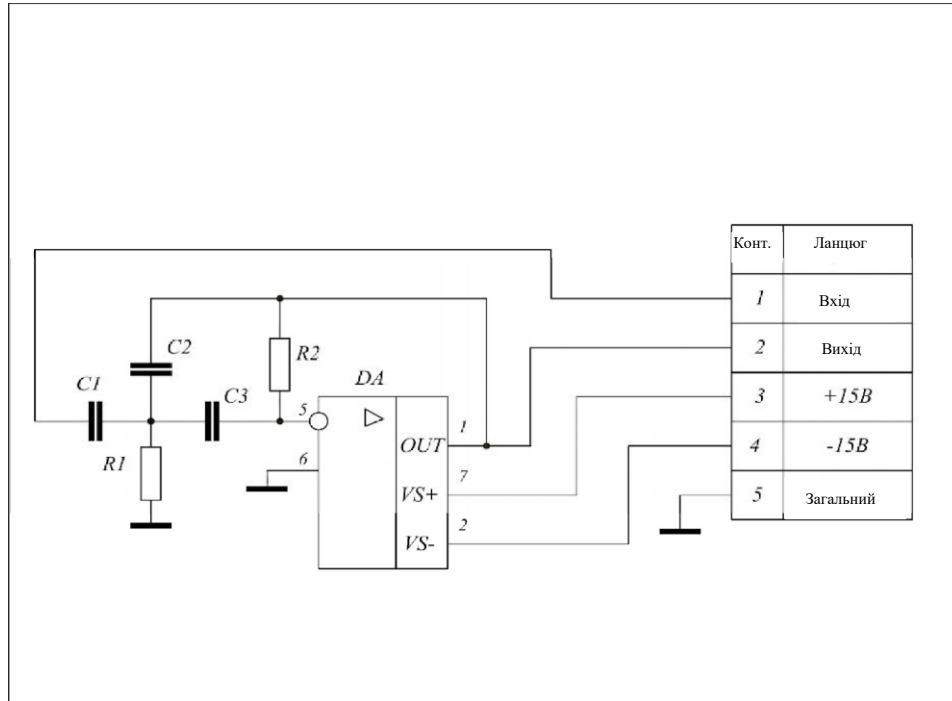
Продовження табл.

	0.214362	0.036248
5.0	0.027664	0.983346
	0.080284	0.801711
	0.125045	0.507818
	0.157566	0.213926
	0.174663	0.032290



48  
Додаток В

Приклад оформлення креслення принципової електричної схеми фільтру  
високих частот



Поз. Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
	Конденсатори К10-17Б М1500		
C1	5100 нФ 10%	1	
C2	1000 нФ 10%	1	
C3	5100 нФ 10%	1	
DA	Мікросхема 3554АМ	1	
	Резистори С2-23 – 0,125 Вт	1	
R1	51 кОм 10%	1	
R2	6,2 кОм 10%	1	
ОЕ.230101.022.001.Е3			
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис
Розроб.	Чуглов		Дата
Перевірили	Водовозов		
Н. контр.			
Затв.			
Фільтр високих частот. Схема електрична принципова		Літера	Маса
		Е)	Масштаб
		Лист 1	Листів 1
			1:1

## Приклад оформлення змісту

## ЗМІСТ

Вступ.....	8
1. Аналіз стану проблеми розпаралелювання алгоритмів програмного керування та визначення мети роботи .....	10
1.2 Аналіз перспективних методів і засобів розпаралелювання алгоритмів логічного керування.....	10
1.3 Особливості алгоритмів програмного керування об'єктами промислового призначення.....	15
1.4 Об'єктивні передумови формування нетрадиційного підходу до проблеми розпаралелювання алгоритмів обробки інформації.....	19
2. Розробка ідеології, математичної моделі і алгоритму функціонування програмованого керуючого автомата паралельної дії.....	23
2.1 Розробка ідеології підходу до розв'язання проблеми .....	23
2.3 Побудова математичної моделі функціонування паралельного керуючого автомата .....	27
2.4 Розробка універсального алгоритму функціонування паралельного керуючого автомата .....	32
3. Синтез архітектури паралельного керуючого автомата.....	36
3.1 Синтез структури асинхронного програмованого автомата.....	36
3.2 Розробка структурної організації універсального паралельного керуючого автомата .....	40
3.3 Перспективи удосконалення структури паралельних керуючих автоматів.....	46
Загальні висновки по роботі.....	50
Перелік джерел посилання .....	52
Додаток А Матеріали комп'ютерної презентації.....	55

## ВСТУП

*Актуальність роботи.* Одним із напрямків рослинництва є овочівництво в захищеному ґрунті, тобто це інтенсивне вирощування рослин в штучно створеному середовищі. Особливістю даного виду виробництва є необхідність створення оптимальних умов навколишнього середовища для нормального розвитку рослин. Сформульована задача розв'язується застосуванням електрифікованих робочих машин і механізмів. Перевагами застосування електричної енергії в теплицях є екологічність, висока ефективність та можливість автоматизації технологічного процесу.

Відповідно сучасним умовам розвитку ринку продукції овочівництва в Україні є всі підстави для його розвитку. Основною задачею на шляху розвитку тепличних господарств є підвищення ефективності використання електричної енергії в технології виробництва продукції рослинництва.

Технологічні процеси, які здійснюються в теплиці, підлягають автоматизації та електрифікації: підтримання параметрів мікроклімату (обігрів, освітлення, вентиляція, інше).

*Мета і завдання досліджень.* Метою КР є підвищення продуктивності теплиці на основі розробки і дослідження автоматизованої системи керування подачею теплоносія в систему теплопостачання теплиці з використанням перетворювача частоти. Для досягнення сформульованої мети необхідно розв'язати наступні задачі:

- проаналізувати виробничі процеси в теплиці;
- розрахувати системи електропостачання теплиці;
- розрахувати систему освітлення в теплиці;
- автоматизувати електропривод насосної установки;
- здійснити виробничі випробування насосної установки з перетворювачем частоти ПЧРТ-03-22;
- розробити заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях;
- визначити економічну ефективність застосування частотного перетворювача в системі теплопостачання теплиці.

*Об'єкт дослідження* – процес регулювання продуктивності насосної установки в залежності від температури навколишнього середовища і середовища всередині теплиці.

*Предмет дослідження* – перетворювач частоти струму електроприводу насосної установки для обігріву ґрунту в теплиці.

*Методи досліджень.* В процесі виконання КП використовувались основні положення теорії електроприводу, теорії регулювання асинхронних короткозамкнених електричних двигунів, пакет комп'ютерних програм з розрахунку економічної ефективності.

*Практичне значення одержаних результатів.* В результаті виконання КР розроблено автоматизовану систему керування продуктивністю насосної

установки в залежності від температури навколишнього середовища і температури в середині теплиці на основі серійно виготовленого перетворювача частоти типу ПЧРТ-03-22. Проведена виробнича перевірка розробленої установки підтвердила ефективність її застосування в реальному виробництві.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. На основі аналізу науково-технічної літератури та типових проектів проаналізовано технологічні процеси, які виконуються в теплиці і сформульовані вимоги до технічних характеристик електричного обладнання для виконання технологічних операцій в теплиці протягом осінньо-зимно-весняного періоду для вирощування томатів: обробка, і стерилізації ґрунту, посів насіння, вимоги до електроустаткування.

2. На основі сформульованих вимог до електрообладнання вибрано та розраховано технічні параметри робочих машин і устаткування для встановлення в теплиці, визначені технічні параметри опромінювальної установки з лампами ДРЛФ-400, водопідігрівної установки в ґрунті, установки вентиляції повітря в теплиці, пристроїв керування мікрокліматом.

3. Детально розраховано механічні характеристики електроприводу насосної установки для подачі нагрітої води в систему трубопроводів для обігріву ґрунту в теплиці і на їх основі визначені умови нагрівання і охолодження електричного двигуна та технічні параметри апаратури захисту і керування.

4. Здійснено аналіз способів регулювання частоти обертання асинхронних двигунів в системах електроприводу сільськогосподарських машин і механізмів і визначено особливості частотного керування асинхронними електричними двигунами та технічні характеристики перетворювача частоти.

5. Застосування перетворювача частоти типу ПЧРТ-03-22 в системі теплопостачання теплиці дозволяє економити до 33-50% споживання електроенергії електроприводом насосної станції і додатково отримати наступні позитивні ефекти:

- здійснити плавний пуск електроприводу із рівнем струму, що не перевищує номінальний;
- усунути пікові навантаження на електромережу та зниження напруги під час пуску електричного двигуна;
- збільшити термін служби і підвищити надійність електроприводу.

Таблиця – Приклади оформлення джерел посилання

Характеристика джерела	Приклад оформлення
Книги: Один автор	<p>1. Коренівський Д. Г. Дестабілізуючий ефект параметричного білого шуму в неперервних та дискретних динамічних системах / Коренівський Д. Г. – К.: Ін-т математики, 2006. – 111 с. – (Математика та її застосування) (Праці / Ін-т математики НАН України; т. 59).</p> <p>2. Матюх Н. Д. Що дорожче срібла-золота / Наталія Дмитрівна Матюх. – К.: Асамблея діл. кіл: Ін-т соці. іміджмейкінгу, 2006. – 311 с. – (Ювеліри України; т. 1).</p>
Два автори	<p>1. Суберляк О. В. Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / О. В. Суберляк, П. І. Баштанник. – Львів: Растр-7, 2007. – 375 с.</p>
Три автори	<p>1. Акофф Р. Л. Идеализированное проектирование: как предотвратить завтрашний кризис сегодня. Создание будущего организации / Акофф Р. Д, Магидсон Д., Эддисон Г. Д.; пер. с англ. Ф. П. Тарасенко. – Днепропетровск: Баланс Бизнес Букс, 2007. – 265 с.</p>
Чотири автори	<p>1. Методика нормування ресурсів для виробництва продукції рослинництва / [Вітвіцький В. В., Кисляченко М. Ф., Лобастов І. В., Нечипорук А. А.] – К.: НДІ «Укראгропромпродуктивність», 2006. – 106 с. – (Бібліотека спеціаліста АПК. Економічні нормативи).</p> <p>2. Механізація переробної галузі агропромислового комплексу: [підруч. для учнів проф.-техн. навч. закл.] / О. В. Гвоздев, Ф. Ю. Ялпачик, Ю. П. Рогач, М. М. Сердюк. – К.: Вища освіта, 2006. – 478, [1] с. – (ПТО: Професійно-технічна освіта).</p>
П'ять і більше авторів	<p>1. Психологія менеджмента / [Власов П. К., Липницький А. В., Луцихина И. М. и др.]; под ред. Г. С. Никифорова. – [3-е изд.]. – Х.: Гуманитар. центр, 2007. – 510 с.</p>

## Продовження таблиці

Без автора	<p>1. Історія Свято-Михайлівського Золотоверхого монастиря / [авт. тексту В. Клос]. – К.: Грані-Т, 2007. – 119 с. – (Грані світу).</p> <p>2. Проблеми типологічної та квантитативної лексикології: [зб. наук. праць / наук. ред. Каліущенко В. та ін.]. – Чернівці: Рута, 2007. – 310 с.</p>
Багатотомний документ	<p>1. Межгосударственные стандарты: каталог в 6 т. / [сост. Ковалева И. В., Рубцова Е. Ю.; ред. Иванов В. Л.]. – Львов: НТЦ «Леонорм-Стандарт», 2005. – (Серия «Нормативная база предприятия»). Т. 1. – 2005. – 277 с.</p> <p>2. Бондаренко В. Г. Теорія ймовірностей і математична статистика. Ч. 1 / В. Г. Бондаренко, І. Ю. Канівська, С. М. Парамонова. – К.: НТУУ «КПІ», 2006. – 125 с.</p>
Матеріали конференцій, з'їздів	<p>1. Кібернетика в сучасних економічних процесах: зб. текстів виступів на республік. міжвуз. наук.-практ. конф. / Держкомстат України, Ін-т статистики, обліку та аудиту. – К.: ІСОА, 2002. – 147 с.</p> <p>2. Оцінка й обґрунтування продовження ресурсу елементів конструкцій : праці конф., 6-9 черв. 2000 р., Київ. Т. 2 / відп. Ред. В. Т. Трощенко. – К.: НАН України, Ін-т пробл. міцності, 2000. – С. 559–569, XIII, [2] с. – (Ресурс 2000)</p>
Словники	<p>1. Тимошенко З. І. Болонський процес в дії: словник-довідник основ, термінів і понять з орг. навч. процесу у вищ. навч. закл. / З. І. Тимошенко, О. І. Тимошенко. – К.: Європ. ун-т, 2007. – 57 с.</p> <p>2. Українсько-німецький тематичний словник [уклад. Н. Яцко та ін.]. – К.: Карпенко, 2007. – 219 с.</p>

## Продовження таблиці

Законодавчі та нормативні документи	<p>1. Кримінально-процесуальний кодекс України: за станом на 1 груд. 2005 р. / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К.: Парлам. вид-во, 2006. – 207 с. – (Бібліотека офіційних видань).</p> <p>2. Експлуатація, порядок і терміни перевірки запобіжних пристроїв посудин, апаратів і трубопроводів теплових електростанцій: СОУ-Н ЕЕ 39.50:2007. – Офіц. вид. – К.: ГРІФРЕ: М-во палива та енергетики України, 2007. – VI, 74 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України, інструкція).</p>
Стандарти	<p>1. Графічні символи, що їх використовують на устаткуванні. Показчик та огляд (ISO 7000:2004, IDT): ДСТУ ISO 7000:2004. – [Чинний від 2006-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – IV, 231 с. – (Національний стандарт України).</p> <p>2. Якість води. Словник термінів: ДСТУ ISO 6107-1:2004 – ДСТУ ISO 6107-9:2004. – [Чинний від 2005-04-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 181 с. – (Національні стандарти України).</p>
Дисертації	<p>1. Петров П. П. Активність молодих зірок сонячної маси: дис. ... доктора фіз.-мат. наук: 01.03.02 / Петров Петро Петрович. – К., 2005. – 276 с.</p>
Автореферати дисертацій	<p>1. Новосад І. Я. Технологічне забезпечення виготовлення секцій робочих органів гнучких гвинтових конвеєрів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.02.08 «Технологія машинобудування» / І. Я. Новосад. – Тернопіль, 2007. – 20 с.</p>
Авторські свідоцтва	<p>1. А. с. 1007970 ССРСР, МКИ<sup>3</sup> В 25 J 15/00. Устройство для захвата неориентированных деталей типа валов / В. С. Ваулин, В. Г. Кемайкин (СССР). – № 3360585/25-08; заявл. 23.11.81; опубл. 30.03.83, Бюл. № 12.</p>
Патенти	<p>1. Пат. 2187888 Российская Федерация, МПК Н 04 В 1/38, Н 04 J 13/00. Приемопередающее устройство / Чугаева В. И.; заявитель и патентообладатель Воронеж. науч.-исслед. ин-т связи. – № 2000131736/09; заявл. 18.12.00; опубл. 20.08.02, Бюл. № 23 (II ч.).</p>



## Продовження таблиці

Частина книги, періодичного, продовжуваного видання	1. Козіна Ж. Л. Теоретичні основи і результати практичного застосування системного аналізу в наукових дослідженнях в області спортивних ігор / Ж. Л. Козіна // Теорія та методика фізичного виховання. – 2007. – № 6. – С. 15-18. 2. Валькман Ю. Р. Моделирование НЕ-факторов – основа интеллектуализации компьютерных технологий / Ю. Р. Валькман, В. С. Быков, А. Ю. Рыхальский // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2007. – № 1. – С. 39-42.
Електронні ресурси	1. Бібліотека і доступність інформації у сучасному світі: електронні ресурси в науці, культурі та освіті: (підсумки 10-ї Міжнар. конф. «Крим-2003») [Електронний ресурс] / Л. Й. Костенко, А. О. Чекмарьов, А. Г. Бровкін, І. А. Павлуша // Бібліотечний вісник. – 2003. – № 4. – С. 43. – Режим доступу до журн.: <a href="http://www.nbuv.gov.ua/articles/2003/03klinko.htm">http://www.nbuv.gov.ua/articles/2003/03klinko.htm</a> .

Навчальне видання

**ОСНОВИ КОНСТРУЮВАННЯ БМА ТА ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ  
ВИРОБНИЦТВА БМА ДЛЯ БІООБ'ЄКТІВ**

Методичні вказівки  
до виконання курсового проєкту

**КОСУЛІНА** Наталія Геннадіївна  
**ЧОРНА** Марія Олександрівна  
**СУХІН** Віталій Володимирович

Формат 60x84/16. Гарнітура Times New Roman  
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.

Ум. друк. арк. 3,37

Наклад 50 пр.

Державний біотехнологічний університет  
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44