

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Володимир ЄРЕМЕНКО

«__» _____ 20__ р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою

«Метрологія та вимірювальна техніка»

спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

на тему: «Віртуальний тренажер для вивчення амплітудної модуляції»

Виконав:

студент IV курсу, групи ВВ-71

Гніденко Микола Леонідович _____

Керівник:

Доцент, к.т.н., доцент

Синиця Валентин Іванович _____

Консультант з нормоконтролю:

Ст. викладач, к.т.н.

Щербань Анастасія Павлівна _____

Рецензент:

Ст. викладач, к.т.н.

Лисенко Юлія Юріївна _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2021 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет
Інформаційно-вимірювальних технологій

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

Освітньо-професійна програма «Метрологія та вимірювальна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Володимир ЄРЕМЕНКО
«___» червня 2021р.

ЗАВДАННЯ
на дипломну роботу студенту
Гніденко Миколі Леонідовичу

1. Тема роботи «Віртуальний тренажер для вивчення амплітудної модуляції сигналів», керівник роботи к.т.н., доц. Синиця Валентин Іванович, затверджені наказом по університету від «___» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом роботи 09.06.2021 р. _____

3. Вихідні дані до роботи віртуальний тренажер призначений для забезпечення вивчення ефекту накладання спектрів з використанням алгоритму Фур'є і повинен забезпечити: а) діапазон частот інформаційного та несучого сигналів від 0 до 50 кГц ; діапазон інформаційного та несучого сигналів від 0 до 20В; діапазон частоти дискретизації від 0 до 1000 кГц б) керування параметрами цифрового алгоритму; встановлення і керування контрольного (тестового) сигналу; візуалізацію окремих етапів виконання алгоритму; в) середовище проектування - LabView v. 11.

4. Зміст роботи ТЗ. Вступ. Призначення та галузь застосування. Основні характеристики. Огляд і аналіз існуючих технічних рішень. Розробка структури та програмного компоненту. Порядок виконання експериментальних досліджень на тему: «ДОСЛІДЖЕННЯ АМПЛІТУДНОЇ МОДУЛЯЦІЇ СИГНАЛІВ». Обробка результатів експериментального дослідження.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо) Блок-схема (1л). Панель інтерфейсу користувача (1л). Експериментальне дослідження алгоритму (1л).

6. Дата видачі завдання 20.02.2021 р _____

Календарний план

№	Назва етапу виконання роботи	Термін виконання
1	Розробка та затвердження технічного завдання	15.03.2021
2	Аналіз існуючих програмних комплексів та обґрунтування вибраної моделі.	21.03.2021
3	Модернізація макету	29.03.2021
4	Розробка зовнішніх специфікацій	05.04.2021
5	Розробка структури програмного комплексу	26.04.2021
6	Розробка лабораторної роботи та методичних вказівок до її виконання	02.05.2021
7	Оформлення графічних матеріалів	10.05.2021
8	Оформлення пояснювальної записки	21.05.2021
9	Кодування, тестування та налагодження програмного комплексу	29.05.2021
10	Попередній захист дипломного проекту	03.06.2021
11	Рецензування дипломного проекту	05.06.2021

Студент
Керівник

Микола ГНІДЕНКО
Валентин СИНІЦЯ

АНОТАЦІЯ

Дипломна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків. Загальний об'єм пояснювальної записки становить 71 сторінок, 27 рисунків та 8 таблиць.

Даний дипломний проект присвячений модернізації віртуального тренажеру для дослідження амплітудної модуляції, як в наукових цілях, так і студентами в якості лабораторного стенду.

Віртуальний тренажер дозволяє задавати амплітуди сигналів в межах від 0 до 30 В та частоти від 0 до 50 кГц. Даний віртуальний макет містить в собі аналізатори спектру, які дозволяють проводити дослідження сигналу в часовій та частотній областях.

В дипломному проекті був модернізований віртуальний тренажер для дослідження амплітудної модуляції. Також було розроблено методичні інструкції та вказівки по використанню імітаційної моделі.

Для модернізації віртуального тренажеру для амплітудної модуляції використано графічний редактор LabVIEW, який наочно показує дискретне перетворення Фур'є сигналу та наочно показує амплітудну модуляцію.

Для створення програмно-методичного комплексу були вирішені наступні завдання:

1. Модернізовано віртуальний інструмент.
2. Розроблено методичне забезпечення модернізованого віртуального інструменту.
3. Проведено перевірку коректності та працездатності модернізованого віртуального інструменту шляхом моделювання обраних алгоритмів програмними засобами MatLab.

ABSTRACT

The diploma project consists of an introduction, five sections and conclusions. The total length of the explanatory note is 71 pages, 27 figures and 8 tables.

This project is devoted to the modernization of a virtual simulator for the research of amplitude modulation, both for scientific purposes and for students in case of laboratory stand.

The virtual simulator allows you to set the amplitudes of signals in the range from 0 to 30 V and frequencies from 0 to 50 kHz. This virtual layout includes spectrum analyzers that allow you to study the signal in the time and frequency domains.

In the diploma project the virtual simulator for research of amplitude modulation was modernized. Methodical instructions and guidelines for the use of the simulation model were also developed.

To upgrade the virtual simulator for amplitude modulation, we used the graphic editor LabVIEW, which clearly shows the discrete Fourier transform of the signal and clearly shows the amplitude modulation.

The following tasks were solved to create a program-methodical complex:

1. Upgraded virtual tool.
2. Methodical support of the modernized virtual tool is developed.
3. The correctness and efficiency of the modernized virtual tool was checked by modeling the selected algorithms by MatLab software.

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ
ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Приладобудівний факультет
Інформаційно-вимірювальних
технологій**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Володимир ЄРЕМЕНКО

” ____ ” червня 2021 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу

«Віртуальний тренажер для вивчення амплітудної модуляції сигналів»

ВВ71.050004.001ТЗ

УЗГОДЖЕНО:

Керівник дипломної роботи:

к.т.н., доц. Синиця В. І.

” ____ ” _____ 2021 р.

Дипломник:

студент групи ВВ-71

Гніденко М.Л.

” ____ ” _____ 2021 р.

Залікова книжка _____

Київ – 2021 року

1. ВСТУП

1.1 Найменування роботи: віртуальний тренажер для вивчення амплітудної модуляції сигналів.

1.2 Галузь використання: дослідження в приладобудуванні при створенні приладів для автоматизації виробничих процесів; дослідження в вимірювальній техніці; освіта.

2. ОСНОВА ДЛЯ РОЗРОБКИ

2.1 Данна робота виконується на основі завдання на дипломну роботу на тему «Віртуальний тренажер для вивчення амплітудної модуляції сигналів» затвердженого кафедрою інформаційно-вимірювальної техніки від __ лютого 2021 р.

3. ПРИЗНАЧЕННЯ РОБОТИ

3.1 Метою роботи є створення нового програмного комплексу імітаційного моделювання та досліджень алгоритмів модуляції/демодуляції вимірювальних сигналів використовуючи програмний комплекс LabVIEW.

3.2 Розробка вирішує задачу втілення сучасних цифрових технологій створення імітаційних моделей операцій вимірювальної техніки для забезпечення зручності, гнучкості та ефективності проведення досліджень.

3.3 Робота за призначенням відноситься до дослідних робіт.

4. ВИМОГИ ДО ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ

4.1 Вимоги до функціональних характеристик.

4.1.1 Архітектура програмного комплексу повинна забезпечувати такі функції:

- імітаційне моделювання операцій модуляції вимірювальних сигналів;
- формування вимірювальних сигналів: гармонічне коливання; двох частотне коливання; коливання прямокутної форми (меандр, імпульсне);
- керування параметрами вимірювальних сигналів, які є носіями вимірювальної інформації (амплітуда, частота, фаза);
- реалізація моделі операції модуляції;
- візуальне подання сигналів (вимірювального, несучого, модульованого) імітаційної моделі в часовій області;
- сумісне візуальне подання сигналів для порівняння.

4.2 Вимоги до показників призначення.

4.2.1 Вимоги до формування вимірювальних сигналів:

- частотний діапазон від 0 Hz до 50 Hz;
- крок встановлення значення частоти 0.1 Hz;

- діапазон амплітудних значень від 0 V до 30 V;
- крок встановлення амплітудного значення 0.1 V;

4.2.2 Вимоги до формування модельного часу:

- тривалість часу формування моделі від 0 s до 1000 s;
- крок встановлення значення тривалості часу формування моделі 0.1 s;

4.2.3 Вимоги до формування візуального відображення сигналів імітаційної моделі в часовій області та частотній області встановлюються узгоджено з параметрами імітаційної моделі та параметрами модельного часу.

4.2.4 Вимоги до візуалізації зовнішніх специфікацій.

4.2.4.1 Зовнішні специфікації повинні мати функціональне групування на екрані відео монітора визначене кольором або засобами графіки, рівномірно займати його площину та використовувати вікно, яке не перевищує межі 1800 pixel по горизонталі та 900 pixel по вертикалі.

4.3 Вимоги надійності не встановлюються.

4.4 Умови експлуатації.

4.4.1 Нормальні умови відповідно до ГОСТ 22261-97 наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Нормальні умови експлуатації

Впливаюча величина	Номінальні значення та їх відхилення
Температура зовнішнього середовища, °C	20±5
Відносна вологість, %	30-80
Атмосферний тиск, kPa	84..106

4.4.2 Робочі умови експлуатації наведено в таблиці 4.2

Таблиця 4.2 - Робочі умови експлуатації

Впливаюча величина	Номінальні значення впливаючої величини
Температура навколишнього середовища:	
- нижнє значення, °C	+10
- верхнє значення, °C	+40
Відносна вологість при температурі навколишнього середовища 35 °C, %	90
Атмосферний тиск, kPa	84-106,7

4.5 Вимоги до складу та параметрів технічних засобів: процесор Intel I5-7xxx; оперативний запам'ятовуючий пристрій 16 GB; жорсткий диск 1000 GB; SSD 256 GB; монітор 24'' з роздільною здатністю 1920x1080; клавіатура 104 клавіші; маніпулятор миша 1000 dpi; принтер лазерний 1200 dpi (опція); блок резервного живлення 1000 W (опція).

4.6 Вимоги до інформаційної та програмної сумісності.

4.6.1 Вимоги до програмного забезпечення: операційна система Windows 10 32..64 bit.

4.6.2 Вимоги до інструментальних програмних засобів: створення програмного комплексу повинно виконуватись в інтерактивному середовищі візуального програмування.

4.7 Вимоги до маркування та упаковки не встановлюються.

4.8 Вимоги до транспортування та зберігання не встановлюються.

5 ВИМОГИ ДО ПРОГРАМНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

5.1 В роботі повинні розроблятися програмні документи: опис програми; керівництво користувача.

5.2 Програма повина бути розроблена в середовищі LabView.

6 СТАДІЇ ТА ЕТАПИ РОБОТИ

6.1 Етапи роботи подані в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 - Етапи роботи

№	Назва етапу виконання роботи	Термін виконання
1	Розробка та затвердження технічного завдання	15.03.2021
2	Аналіз існуючих програмних комплексів та обґрунтування вибраної моделі.	21.03.2021
3	Модернізація макету	29.03.2021
4	Розробка зовнішніх специфікацій	05.04.2021
5	Розробка структури програмного комплексу	26.04.2021
6	Розробка лабораторної роботи та методичних вказівок до її виконання	02.05.2021
7	Оформлення графічних матеріалів	10.05.2021
8	Оформлення пояснювальної записки	21.05.2021
9	Кодування, тестування та налагодження програмного комплексу	29.05.2021
10	Попередній захист дипломного проекту	03.06.2021
11	Рецензування дипломного проекту	05.06.2021

7 ПОРЯДОК КОНТРОЛЮ І ПРИЙМАННЯ

7.1 Приймання дипломної роботи виконується комісією затвердженою кафедрою інформаційно-вимірювальної техніки.

7.2 Склад документації, яка подається до приймання:

- технічне завдання – 1 прим.;

- пояснювальна записка з додатками – 1 прим.;
- блок-діаграма програмного комплексу – 1 лист формату А1;
- панель інтерфейсу користувача – 1 лист формату А1;
- експериментальне дослідження алгоритму – 1 лист формату А1.

7.3 Вимоги технічного завдання можуть бути змінені за бажанням сторін. Всі зміни повинні бути оформлені письмово і затверджені сторонами.

8 ВИМОГИ ЩОДО ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ З ОБМЕЖЕНИМ ДОСТУПОМ

8.1 Вимоги щодо технічного захисту інформації з обмеженим доступом не встановлюються.

Студент
Керівник

Микола ГНІДЕНКО
Валентин СИНИЦЯ

Пояснювальна записка
до дипломної роботи
на тему:
«Віртуальний тренажер для вивчення амплітудної модуляції сигналів»
ВВ71.050004.001ПЗ

УЗГОДЖЕНО:

Керівник дипломної роботи:

к.т.н., доц. Синиця В. І.

" ____ " _____ 2021 р.

Дипломник:

студент групи ВВ-71

Гніденко М.Л.

" ____ " _____ 2021 р.

Залікова книжка _____

Київ – 2021 року

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ	7
2 ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ.....	9
3 ОГЛЯД І АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ, ВИБІР БАЗОВОЇ АРХІТЕКТУРИ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ	10
3.1 ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕНЬ	10
3.2 ПЛАТФОРМИ МОДЕЛЮВАННЯ	12
3.2.1 MathCAD	13
3.2.2 MATLAB	14
3.2.3 LabVIEW	15
3.3 ПРИНЦИПИ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ.....	18
3.4 РІЗНИЦЯ МІЖ ЧАСОВОЮ І ЧАСТОТНОЮ ОБЛАСТЮ	20
3.5 МОДУЛЯЦІЯ.....	21
3.5.1 Амплітудна модуляція.....	23
3.5.2 Балансна модуляція.....	25
3.5.3 Односмугова модуляція.....	27
3.6 ДИСКРЕТНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУРЕ	29
3.6.1 Періодична дискретизація.....	31
4 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ТА ПРОГРАМНОГО КОМПОНЕНТУ	33
4.1 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ПРОГРАМНОГО КОМПОНЕНТУ	33
4.2 РОЗРОБКА ОКРЕМИХ МОДУЛІВ ПРОГРАМИ	35
4.2.1. Розробка інтерфейсу користувача.....	35
4.2.2 Розробка блок-діаграми програми	38
4.3 РОЗРОБКА МЕТОДИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ІНСТРУКЦІЇ ПО ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПРОГРАМНОГО КОМПОНЕНТА	42
5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ЕКСПИРЕМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З РОЗРОБЛЕНИМ ВІРТУАЛЬНИМ ПРИЛАДОМ	43
5.1 ОПИС ВІРТУАЛЬНИХ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ	43

					ВВ71.050004.001 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Віртуальний тренажер для вивчення амплітудної модуляції сигналів Пояснювальна записка	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Гніденко М.Л.					1	---
Перевір.		Синиця В.І.						
Реценз.		Лисенко Ю.Ю.						
Н. Контр.		Щербань А.П.						
Затверд.		Єременко В.С.						КПІ ім. Ігоря Сікорського

5.1.1 Технічний опис і інструкція з експлуатації.....	43
5.2 ЗАВДАННЯ ДЛЯ ДОМАШНЬОГО ВИКОНАННЯ.....	47
5.2.1 Завдання	47
5.5.2 Звіт про проведenu роботу з виконання домашнього завдання	51
5.3 ЗАВДАННЯ ДЛЯ ПРАКТИЧНОГО ВИКАНАННЯ.....	53
5.3.1 Завдання	53
5.3.2 Звіт про проведenu роботу з виконання практичного завдання.....	55
5.4 ЗАВДАННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПИРЕМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	64
5.4.1 Завдання	64
5.4.2 Звіт про проведenu роботу з обробки результатів експирементальних досліджень	66
5.5 ПОХИБКА ВИМІРЮВАННЯ	68
ВИСНОВКИ.....	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	71
Додаток А.....	72
Додаток Б	76
Додаток В.....	78

ВСТУП

Завдяки стрімкому розвитку технологій, включаючи різке зростання в останні роки, продуктивності напівпровідникових приладів та їх розмірів, широкого впровадження комп'ютерів та мікропроцесорів, розвитку стандартів зв'язку та мережевих технологій, інженери вимушені збільшувати процеси розвитку, виробництво та випробування нових продуктів. Основною складовою таких процесів було їх моделювання. Приблизно 30 років інженери та вчені використовують графічне середовище програмування National Instruments LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) для моделювання та створення автоматизованих систем збору та управління даними. Весь цей час середовище LabVIEW постійно вдосконалюється - завдяки регулярному випуску нових версій, а також випуску спеціалізованих модулів, бібліотек та доповнень. Фактично він став стандартом у низці галузей науки і техніки. Завдяки своїм ідеям використання розподіленого інтелекту LabVIEW дозволив інженерам, які не мають досвіду традиційного програмування, швидко створювати складні моделі систем вимірювання та управління та застосовувати їх на практиці. У своєму розвитку середовище надало користувачам широкий спектр інструментів, які утворюють графічну платформу для програмного забезпечення для моделювання, управління та тестування, що надає користувачам конкурентні переваги у трьох основних додатках:

1. автоматизовані системи вимірювань і випробувань;
2. системи промислового контролю та управління;
3. проектування та налагодження вбудованих систем.

Одночасно графічна платформа LabVIEW підвищує продуктивність праці інженерів та науковців. Поєднання інтуїтивно зрозумілої мови графічного програмування, підтримки широкого спектру пристроїв вводу-виводу та зростаючого співтовариства користувачів, що беруть участь у

					BB71.050004.001	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

розробці платформи LabVIEW, дозволяють створювати абсолютно нові програми.

Використовуючи програмне забезпечення з відкритим кодом LabVIEW для реалізації розроблених алгоритмів та обміну даними за допомогою інструментів візуалізації та моделювання, ви можете оновити засоби розробки та скоротити час на всіх етапах створення продукту.

LabVIEW призначена для розробки програмного забезпечення для моделювання окремих реальних фізичних об'єктів та для створення інформаційно-вимірювальних систем, а також автоматизованих та автоматичних систем управління. Перевага LabVIEW перед мовами тексту, такими як C, Java тощо, де програми складаються у вигляді рядків тексту, полягає в тому, що в LabVIEW програми створюються у вигляді графічних діаграм, у простоті сприйняття алгоритм програміста. Широкий асортимент обладнання, що постачається компанією National Instruments, дозволяє за короткий час на базі платформи LabVIEW створити різноманітне електронне обладнання з великою кількістю функціональних можливостей. Цей інструмент дозволяє досліджувати амплітудну модуляцію в часовій та частотній області.

Алгоритм, який перетворює вибірку сигналу з часової області в частотну область, є дискретним перетворенням Фур'є (DFT). Слід зазначити, що за замовчуванням DFT перетворює вихідний обмежений у часі сигнал в періодичний з періодом, рівним часу дискретизації. Фактично вихідний сигнал представлений у вигляді ряду Фур'є: набору гармонік з частотами, кратними частоті першої гармоніки, та амплітудами, визначеними перетворенням Фур'є вихідного сигналу протягом його періоду.

У графічному редакторі LabVIEW методом моделювання можна розробити віртуальний інструмент для аналізу амплітудної модуляції-демодуляції, який наочно показує сигнали в часовій та частотній областях,

					BB71.050004.001	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

а створений комплекс для дослідження може бути використаний у навчальному процесі студентів. Лабораторні заняття - це один із видів самостійної практичної роботи студентів, при якій шляхом проведення експериментів відбувається поглиблення та закріплення теоретичних знань в інтересах навчання.

					BB71.050004.001	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ

Однією з основних тенденцій розвитку мережних технологій є передача в одній мережі як дискретних, так і аналогових за своєю природою даних. Джерелами дискретних даних є комп'ютери й інші обчислювальні пристрої, а джерелами аналогових даних є такі пристрої, як телефони, відеокамери, звуко- і відеовідтворююча апаратура. На ранніх етапах розв'язання цієї проблеми в територіальних мережах усі типи даних передавалися в аналоговій формі, при цьому дискретні за своїм характером комп'ютерні дані перетворювалися в аналогову форму за допомогою модемів.

Однак в міру розвитку техніки прийому і передачі аналогових даних з'ясувалося, що передача їх в аналоговій формі не дозволяє поліпшити якість прийнятих на іншому кінці лінії даних, якщо вони істотно спотворилися при передачі. Сам аналоговий сигнал не дає ніяких вказівок ні про те, що відбулося перекручування, ні про те, як його виправити, оскільки форма сигналу може бути різною, у тому числі і такою, яку зафіксував приймач. Поліпшення ж якості ліній, особливо територіальних, потребує величезних зусиль і капіталовкладень. Тому на зміну аналоговій техніці запису і передачі звуку і зображення прийшла цифрова техніка. Ця техніка використовує так звану дискретну модуляцію вихідних неперевних у часі аналогових процесів.

Основними перевагами амплітудної модуляції є:

- вузька ширина спектра АМ сигналу;
- простота отримання модульованих сигналів.

Недоліками цієї модуляції є:

- низька завадостійкість (при впливі перешкоди на сигнал спотворюється його форма - обвідна, яка і містить передане повідомлення);

					BB71.050004.001	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- неефективне використання потужності передавача (бо найбільша частина енергії модульованого сигналу міститься в складовій несучого сигналу до 64%, а на інформаційні бічні смуги доводиться по 18%)

У радіотехніці амплітудну модуляцію застосовують для передачі інформації на відстань в радіомовленні, акустичної локації і ін. Наприклад, в радіомовленні звукові коливання перетворюються в електричний сигнал низької частоти (модуючий сигнал), який і змінює (модулює) амплітуду сигналу високої (несучої) частоти. У отриманого в результаті модульованого радіосигналу амплітуда змінюється відповідно до силою звукового сигналу.

Амплітудна модуляція знайшла широке застосування:

- в системах телевізійного мовлення (для передачі телевізійних сигналів);
- в системах звукового радіомовлення і радіозв'язку на довгих і середніх хвилях;
- в системі трьохпрограмного проводового мовлення.

					BB71.050004.001	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2 ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Використовуючи віртальний макет для вивчення амплітудної модуляції сигналів, можливо задавати такі характеристики:

- амплітуду інформаційного сигналу в діапазоні від 0 до 20В;
- амплітуду несучого сигналу в діапазоні від 0 до 20В;
- частоту інформаційного сигналу в діапазоні від 0 до 10 кГц;
- частоту несучого сигналу в діапазоні від 0 до 50 кГц;
- частоту дискретизації в діапазоні від 0 до 100 кГц;
- час моделювання від 0 до 100 с.

					BB71.050004.001	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

З ОГЛЯД І АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ, ВИБІР БАЗОВОЇ АРХІТЕКТУРИ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ

3.1 ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕНЬ

Поняття функції з'явилося ще у вісімнадцятому столітті в теорії математики як певна залежність будь-якої величини "у" від іншої величини – незалежна змінна "х" з математичним позначенням такої залежності у вигляді $y(x)$. Невдовзі математика функцій стала базовою основою теорії всіх природничі та технічні науки. Функціональна математика набула особливе значення в аудіо, відео та комунікаційних технологіях, де час функції виду $S(t)$, $V(f)$ тощо, які використовувались для опису процесу передачі інформації, стали називатися сигналами. У галузях технічних знань Термін "сигнал" часто використовується в цілому, не дотримуючись суворої термінології. Цей термін вживається в різних значеннях. Наприклад, це може бути використовується для розуміння технічних засобів передачі, перетворення та використання інформації - електричного, магнітного, оптичного сигналу; або для опису фізичного процесу, який є матеріальним втіленням інформації повідомлення - зміна будь-якого параметра носія (напруга, частота, потужність електромагнітних коливань, інтенсивність світла тощо) у часі, пробіл або залежно від зміни значень будь-яких інших аргументів (незалежні змінні); або в розумінні значення певного фізичного стану або процес, такий як світлофор, звукові попередження сигнали тощо. Усі ці поняття об'єднані кінцевою метою сигналів. У цьому у значенні сигнали - це певна інформація, повідомлення, інформація про будь-які процеси, стани або фізичні величини матеріальних об'єктів світ, виражений у формі, зручній для передачі, обробки, зберігання та використання цієї інформації. Термін "сигнал" дуже часто ототожнюють з терміни "дані" або "інформація". Дійсно, ці поняття взаємозалежні та не існують один без одного, але належать до різних категорій. Концепція інформація має безліч визначень, найширших (інформація - формалізоване відображення

					BB71.050004.001	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

реального світу) до практичного (інформаційного та дані, що є об'єктом зберігання, передачі, перетворення, сприйняття та управління). У наш час світова наука все більше схиляється до цього інформація поряд з речовиною та енергією належить до основних філософських категорій науки і є однією з властивостей об'єктивного світу, хоча і не дуже конкретні. Що стосується "даних", то це сукупність фактів результати спостережень, вимірювань будь-яких предметів, явищ або процеси матеріального світу, які представлені у формалізованому вигляді - кількісний або якісний. Це не сама інформація, а лише її атрибут - сировина для отримання інформації шляхом відповідної обробки та інтерпретації (інтерпретації). Термін "сигнал" у світовій практиці є загальним для опису форми подання даних, яка є результатом певних вимірювань параметри об'єкта дослідження у вигляді послідовності скалярних значень (аналогові, числові, графічні) залежно від змін будь-яких змінних значень (енергія, температура, просторові координати тощо). Незважаючи на це, далі термін "сигнал" у вузькому значенні цього слова буде означати певним чином впорядковане відображення зміни фізичного стану будь-якого об'єкта - матеріального носія сигналу, певних даних про характер зміни в просторі або часі. Оскільки дані містять інформацію про основну ціль об'єкта дослідження, а також різні супутні фактори та різні перешкоди, в широкому розумінні цього слова, можна вважати сигналом носій загальної вимірювальної інформації. Слід зазначити, що матеріальна форма носіїв сигналу (механічна, електрична, магнітна, акустична, оптична та будь-який інший), а також форма відображення у певних фізичних параметрах не мають значення. Інформаційний параметром сигналу може бути будь-який параметр несучого сигналу, функціонально пов'язаний із значенням інформаційних даних. Сигнал у загальному розумінні це залежність однієї величини від іншої та з математичної точки зору є функція. [2]

					BB71.050004.001	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Найпоширенішим є подання сигналів в електричній формі в у вигляді залежності напруги від часу $U(t)$. Сигнал є інформаційною функцією, яка несе повідомлення про фізичні властивості, стан чи поведінку будь-якої фізичної системи, об'єкта або середовища, і метою обробки сигналів можна вважати отримання певної інформації, яка відображена в цих сигналах (коротка - корисна або цільова інформація) та перетворення цієї інформації у форму, зручну для сприйняття і надалі використання. Коли ми говоримо про "аналіз" сигналів, мова йде не лише про суто математичні перетворення, але також і про отримання на їх основі трансформації висновків щодо конкретних особливостей відповідних процесів та об'єктів. Метою аналізу сигналу зазвичай є:

- визначення або оцінка числових параметрів сигналів (енергія, середня потужність, середнє квадратичне значення тощо);
- розкладання сигналів на елементарні компоненти, порівняння властивостей різних сигналів;
- порівняння ступеня близькості, "подібності", "спорідненості" різних сигналів, включаючи певні кількісні оцінки.

Математичний апарат аналізу сигналів досить великий і широко застосовується на практиці у всіх без винятку галузях науки і техніки.

3.2 ПЛАТФОРМИ МОДЕЛЮВАННЯ

Інформаційне моделювання і його різновиди припускають існування інформаційної моделі, що функціонує в межах функціонально детермінованого інформаційного процесу. Виготовлення макету моделі - непорушний принцип фізичного моделювання. Це пов'язано з матеріальними витратами і додатковими, іноді трудомісткими, дослідженнями.

					BB71.050004.001	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Особливістю інформаційного процесу програмних платформ моделювання є те, що, важливі для дослідника характеристики аналогових і цифрових електричних ланцюгів синтезуються у віртуальній формі і аналізуються за участю людини подібно до того, як це робиться при фізичному моделюванні.

Виняток з правил становлять демонстраційні моделі, виготовлені, наприклад, для рекламних цілей, коли результат «експерименту» передбачуваний, і виконувати його аналіз безглуздо. Існує велика група комп'ютерних програм, що утворюють повноцінні платформи комп'ютерного моделювання електронних приладів.

Інтерактивна система комп'ютерного моделювання LabVIEW займає помітне місце у віртуальній лабораторії студента, інженера, дослідника. Можливостей LabVIEW досить для розрахунку, аналізу, проектування цифрових сигналів та систем.

3.2.1 MathCAD

MathCAD - це потужне, але просте універсальне середовище для вирішення проблем у різних галузях науки і техніки, фінансів та економіки, математики та статистики, тобто воно може використовуватися скрізь, де використовуються математичні методи. MathCAD був задуманий і спочатку написаний Алленом Раздовим, співзасновником Mathsoft Inc., яка є частиною PTC (Parametric Technology Corporation) з 2006 року і випущена в 1986 році (остання оновлена версія випущена в 2015 році). MathCAD створює зручне графічне середовище для різноманітних математичних розрахунків та документування продуктивності в рамках затверджених стандартів. Це дозволяє створювати корпоративні та галузеві засоби сертифікованих платежів у різних галузях науки і техніки, що забезпечує

					BB71.050004.001	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

єдину методологію для всіх організацій корпорації чи галузі. Основною відмінністю і водночас суттєвою перевагою MathCAD є графічний, а не текстовий режим введення виразів. Тобто, можна сказати, що MathCAD - це інструмент для програмування без програмування, тобто ви можете легко (не вивчаючи додаткової інформації) зрозуміти написаний «код» програми. [7]

3.2.2 MATLAB

MATLAB - це високорівнева мова технічних розрахунків, інтерактивне середовище розробки алгоритмів та сучасний інструмент аналізу даних.

MATLAB у порівнянні з традиційними мовами програмування (C / C++, Java, Pascal, FORTRAN) дозволяє зменшити час роздільної здатності на порядок типових завдань і значно спрощує розробку нових алгоритмів.

При цьому особлива увага приділялася збільшенню швидкості розрахунків та адаптації системи для вирішення різноманітних задач користувачів.

MATLAB надає користувачеві математичні та обчислювальні системи, а також велику кількість (кілька сотень) функцій аналізу даних, які охоплюють майже всі галузі математики, зокрема: матриці та лінійна алгебра - матрична алгебра, лінійні рівняння, власні значення та вектори. Основні моменти та інтерполяція - коріння многочленів, дії над поліномами та їх диференціація, інтерполяція та екстраполяція кривих тощо.

Візуалізація даних

Пакет MATLAB містить велику кількість функцій для побудови графіків, включаючи тривимірний, візуальний аналіз та створення

					BB71.050004.001	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

анімаційних кліпів. Вбудоване середовище розробки дозволяє вам творити графічний інтерфейс користувача з різними елементами управління, такими як кнопки, поля введення тощо. Завдяки компілятору MATLAB графічні інтерфейси можуть бути перетворені в окремі програми.

Розробка алгоритмів

MATLAB надає зручні інструменти для розробки алгоритмів у тому числі високого рівня, використовуючи об'єктно-орієнтовані концепції програмування. Він має всі необхідні інструменти для інтеграції середовища розробки, включаючи дегідратор. Функції для роботи з цілими числами типами даних полегшують створення алгоритмів для мікроконтролерів та інших програми, де це необхідно.

3.2.3 LabVIEW

LabVIEW - це середовище для розробки та платформа для виконання програм, створених графічною мовою програмування "G" компанією National Інструменти (США). Перша версія LabVIEW була випущена в 1986 році для Apple Macintosh, в даний час існують версії для Unix, Linux, Mac OS тощо найбільш розробленими та популярними є версії для Microsoft Windows.

LabVIEW також використовується в системах збору та обробки даних, а також для управління технічними об'єктами та технологічними процесами. Ідеологічно LabVIEW дуже близький до систем SCADA, але на відміну від них більше зосереджені на вирішенні проблем не стільки на місцях АСУ ТП, скільки в області АСНІ.

LabVIEW - це віртуальний пристрій, який складається з двох частин:

- блок-схема, що описує логіку віртуального пристрою;

					BB71.050004.001	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- передня панель, яка описує зовнішній інтерфейс віртуального пристрою.
- Компоненти можуть використовувати віртуальні пристрої частини для побудови інших віртуальних пристроїв. Передня панель віртуального пристрою містить засоби введення-виведення: кнопки, перемикачі, світлодіоди, ноніуси, ваги, інформація табло та ін. Вони використовуються людиною для управління віртуальним пристроями, а також іншими віртуальними пристроями для обміну даними. [5]

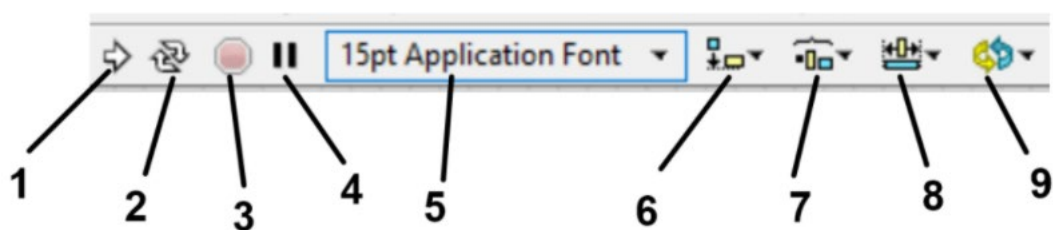


Рисунок 3.1 – Панель інструментів LabView

На передній панелі є інструменти, що містять сервісні кнопки та індикатори стану, призначені для управління віртуальними інструментами (див. рисунок 3.1):

1. кнопка запуску програми на виконання, під час роботи програми, значок змінює свій зовнішній вигляд;
2. кнопка для запуску програми в циклічному режимі, поки додаток працює, значок змінює свій вигляд;
3. коли програма запущена, ця кнопка знаходиться в активному стані, використовується для припинення виконання програми;
4. Кнопка "пауза" зупиняє виконання програми, до повторного натискання на цю кнопку;
5. меню редагування властивостей шрифту: типу, розміру, стилю та кольору;

6. меню, що дозволяє вирівняти і розташувати об'єкти, це такі варіанти, як вирівнювання виділених об'єктів по лівому краю, по правому;

7. меню, що містить команди для просторового розподілу графічних об'єктів на передній панелі;

8. меню, що містить команди для зміни розміру компонентів на передній

панелі;

9. якщо ви розміщуєте об'єкт на іншому, то нижній може бути заблокований та недоступний, за допомогою цього меню можна розмістити об'єкт зверху або під потрібним.

LabVIEW підтримує величезний асортимент обладнання від різних виробників та містить (або дозволяє додавати до базового пакету) численні бібліотеки компонентів:

- підключити зовнішнє обладнання по найпоширенішим інтерфейсам та протоколам (RS-232, GPIB-488, TCP / IP тощо);
- для дистанційного керування експериментом;
- керувати роботами та системами машинного зору;
- для генерації сигналу та цифрової обробки;
- для застосовування різних математичних методів обробки даних;
- візуалізувати дані та результати їх обробки (включаючи 3D-моделі);
- для моделювання складних систем;
- зберігати інформацію в базах даних та формувати звіти;
- взаємодіяти з іншими програмами в рамках концепції COM / DCOM /OLE.

Спеціальний компонент LabVIEW Application Builder дозволяє створити програми LabVIEW, придатні для виконання на них комп'ютерах, на яких не встановлено повноцінне середовище розвитку. Для повноцінної

					BB71.050004.001	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

роботи таких програм потрібно безкоштовно розповсюджуваний компонент "LabVIEW Runtime Engine " та, за необхідності, драйвери використовуваних зовнішніх пристроїв. [6]

3.3 ПРИНЦИПИ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ

Цифрова обробка сигналів (ЦОС — англ. digital signal processing, DSP) — перетворення сигналів, виражаються у цифровій формі.

Будь-який безперервний (аналоговий) сигнал $s(t)$ може бути дискретизований в часі і виражений у кількісній формі (цифровій формі). Якщо частота дискретизації сигналу F_d не менше, ніж подвоєна найбільша частота в спектрі сигналу $F_{\max}$ (тобто $F_d \geq 2F_{\max}$), то отриманий дискретний сигнал $s(k)$ буде дорівнювати сигналу $s(t)$ за методом найменших квадратів (МНК).

За допомогою математичних алгоритмів $s(k)$ може бути перетворено в деякий інший сигнал $s_1(k)$ з необхідними властивостями. Процес перетворення сигналів називається фільтрацією, а пристрій, що виконує фільтрацію, називається фільтр. Оскільки значення сигналів надходять з постійною швидкістю F_d , фільтр повинен встигнути обробити поточний сигнал серії до надходження наступного (частіше — до надходження наступних n відліків, де n — затримка фільтра), тобто обробити сигнал в реальному часі. Якщо обробка сигналу (фільтрація) відбувається в реальному часі, то використовують спеціальний обчислювальний пристрій — цифровий сигнальний процесор. Це стосується не тільки безперервних сигналів, але і переривчастих сигналів, а також до сигналів, записаних на пам'ятовуючих пристроях. В останньому випадку швидкість обробки не принципова, так як при повільній обробці дані не будуть втрачені.

Існують методи обробки сигналів у часовій та в частотній області. Еквівалентність частотно-часового перетворення однозначно визначається перетворенням Фур'є.

Обробка сигналів у часовій області широко застосовується в сучасних електронних осцилографах та цифрових осцилографах. Цифрові аналізатори спектра використовуються для представлення сигналів у частотній області. Пакети розширень систем комп'ютерної математики, такі як MATLAB, Mathcad, Mathematica та Maple (зазвичай їх називають обробкою сигналів), використовуються для вивчення математичних аспектів обробки сигналів. [1]

В останні роки для формування сигналів та зображень широко використовується новий математичний базис подання сигналів за допомогою «коротких імпульсів» — вейвлетів. Він може використовуватися для обробки фіксованих сигналів, сигналів з перериваннями та іншими характеристиками. Основні застосування:

- Лінійна фільтрація — вибір сигналу в частотній області; синтез сумісних з сигналами фільтрів; частотне поділ каналів; оцифровник Гільберта ($L^p(a, b)$) і диференціатор; редагування характеристик каналів.
- Спектральний аналіз — обробка мови, звуку, землетрусу та звукових сигналів; розпізнавання образів.
- Частотно-часовий аналіз — стиснення зображень, радіолокація, різні операції, що використовуються для виявлення радарів та сигналів.
- Адаптивна фільтрація — адаптивна антенна решітка для мовлення, обробка зображень, розпізнавання образів та зменшення шуму.
- Нелінійна обробка — кореляційний розрахунок, медіанний фільтр; синтез амплітудних, фазових, частотних детекторів, обробка мови, векторне кодування.

					BB71.050004.001	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- Багатошвидкісна обробка — у багатошвидкісних телекомунікаційних системах та аудіосистемах інтерполяція (збільшення) та децимація (зменшення) частоти дискретизації.
- Отримання згорток.

3.4 РІЗНИЦЯ МІЖ ЧАСОВОЮ І ЧАСТОТНОЮ ОБЛАСТЮ

Сигнал поданий в області часу являє собою набір миттєвих значень, заданих у часовому інтервалі за який було отриманно вибірку. Однак у багатьох випадках необхідно знати гармонічні компоненти сигналу, а не значення одиничних відліків у вибірці.

Теорема Фур'є стверджує, що періодичний сигнал будь-якої форми у часовій області може бути представлений сумою синусів і косинусів, а їх частота визначається періодом аналізованого сигналу. Такий ж самий сигнал може бути виражений попарно в частотній області: амплітуда і значення початкової фази кожної гармонійної складової. [9]

У частотній області можна концептуально сформувати гармонічні складові, які потрібно додати для синтезу складних сигналів у часовій області. На рис. 1.3 показані прості гармонічні складові, які є функцією часу та окремими лініями в частотній області. Висота кожної лінії – це амплітуда коливань у часі гармонічної складової. Сигнал, виражений у вигляді однієї індивідуальних гармонічних складових, є його представленням в частотній області, що дозволяє краще зрозуміти сигнал та яким чином він був згенерований.

Вибірки сигналу, отримані від пристрою DAQ (data acquisition - процес отримання цифрових даних або з АЦП, або з роз'єму цифрового введення даних), представляють подання сигналу в часовій області. На

					BB71.050004.001	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

підставі досліджень, що змінюються у часі, на екрані осцилографа, певні вимірювання (наприклад, оцінка гармонічних спотворень) важко визначити кількісно. Використовуючи БПФ-аналізатор (також званий "динамічним аналізатором сигналу") для відображення одного і того ж сигналу в частотній області, ви можете легко виміряти частоту і амплітуду гармонік та оцінити нелінійне спотворення підсилювачів.

3.5 МОДУЛЯЦІЯ

Модуляція - це процес перетворення одного або декількох інформаційних параметрів несучого сигналу відповідно до миттєвими значеннями інформаційного сигналу.

В результаті модуляції сигнали переносяться в область більш високих частот.

Використання модуляції дозволяє:

- узгодити параметри сигналу з параметрами лінії;
- підвищити стійкість сигналів;
- збільшити дальність передачі сигналів;
- організувати багатоканальні системи передачі (МСП з ЧРК).

Модуляція здійснюється в пристроях модуляторах. Умовне графічне позначення модулятора має вигляд:

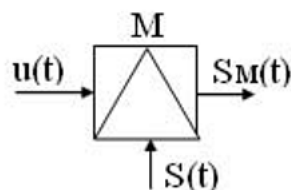


Рисунок 3.2 - Умовне графічне позначення модулятора

При модуляції на вхід модулятора подаються сигнали:

$u(t)$ - модулюючий, даний сигнал є інформаційним і низькочастотним (його частоту позначають W або F);

$S(t)$ - несучий, даний сигнал є неінформаційним і високочастотним (його частота позначається w_0 або f_0);

$S_m(t)$ - модульований сигнал, даний сигнал є інформаційним і високочастотним.

В якості несучого сигналу може використовуватися:

- гармонійне коливання, при цьому модуляція називається аналоговою або безперервною;
- періодична послідовність імпульсів, при цьому модуляція називається імпульсною;
- постійний струм, при цьому модуляція називається шумоподобного.

Так як в процесі модуляції змінюються інформаційні параметри несучого коливання, то назва виду модуляції залежить від змінного параметра цього коливання.

1. Види аналогової модуляції:

- амплітудна модуляція (АМ), відбувається зміна амплітуди несучого коливання;
- частотна модуляція (ЧМ), відбувається зміна частоти несучого коливання;
- фазова модуляція (ФМ), відбувається зміна фази несучого коливання.

2. Види імпульсної модуляції:

- амплітудно-імпульсна модуляція (АІМ), відбувається зміна амплітуди імпульсів несучого сигналу;
- частотно-імпульсна модуляція (ЧІМ), відбувається зміна частоти проходження імпульсів несучого сигналу;

					ВВ71.050004.001	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- фазо-імпульсна модуляція (ФІМ), відбувається зміна фази імпульсів несучого сигналу;
- широтно-імпульсна модуляція (ШІМ), відбувається зміна тривалості імпульсів несучого сигналу.

3.5.1 Амплітудна модуляція

У випадку амплітудної (АМ), балансної (БМ) та односмугової (ОМ) модуляції переносником є гармонічне коливання $u_{\text{пер}}(t) = A_0 \cos(2\pi f_0 t + \varphi_0)$. Модулюючий сигнал – це первинний неперервний сигнал електрозв’язку $b(t)$ з такими характеристиками:

- максимальна частота спектра сигналу F_{max} ;
- сигнал нормований так, що максимальне за модулем значення $|b(t)|_{\text{max}} = 1$;
- середнє значення сигналу $\overline{b(t)} = 0$.

У випадку АМ приріст амплітуди переносника пропорційний миттєвим значенням модулюючого сигналу, тобто амплітуда модульованого сигналу $A(t) = A_0 + \Delta A b(t)$, де ΔA – коефіцієнт пропорційності, який вибирають так, щоб амплітуда $A(t)$ не приймала від’ємних значень. Оскільки $|b(t)|_{\text{max}} = 1$, то ΔA визначає найбільший за модулем приріст амплітуди переносника, а, щоб амплітуда $A(t)$ не приймала від’ємних значень, необхідно забезпечити $\Delta A \leq A_0$. Частота і початкова фаза переносника залишаються незмінними. Зручно перейти до відносного максимального приросту амплітуди – коефіцієнта амплітудної модуляції $m_{\text{AM}} = \Delta A / A_0$. Ясно, що $0 < m_{\text{AM}} \leq 1$. [8]

Аналітичний вираз АМ сигналу у випадку довільного модулюючого сигналу має вигляд

					BB71.050004.001	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$s_{AM}(t) = A_0[1 + m_{AM}b(t)]\cos(2\pi f_0 t + \varphi_0). \quad (1)$$

Бачимо, що параметрами АМ сигналу є m_{AM} , A_0 , f_0 і φ_0 . Часову діаграму АМ сигналу наведено на рис. 3.3. Звертає на себе увагу те, що обвідна модульованого сигналу повторює форму модулюючого сигналу – амплітуда АМ сигналу $A(t)$ є обвідною високочастотного коливання $\cos(2\pi f_0 t + \varphi_0)$ (на рис. 3.3 обвідна зображена штриховою лінією).

На рис. 3.4 показані довільний амплітудний спектр модулюючого сигналу та відповідний йому амплітудний спектр АМ сигналу, що складається із гармонічного коливання частоти переносника, верхньої бокової смуги частот (ВБС) та нижньої бокової смуги частот (НБС). При цьому ВБС є масштабною копією спектра модулюючого сигналу, яка зсунута за частотою на величину f_0 . НБС є дзеркальним відображенням ВБС відносно частоти переносника f_0 .

Із рис. 3.4 випливає важливий результат: ширина спектра АМ сигналу F_{AM} дорівнює подвоєному значенню максимальної частоти спектра модулюючого сигналу, тобто $F_{AM} = 2F_{max}$.

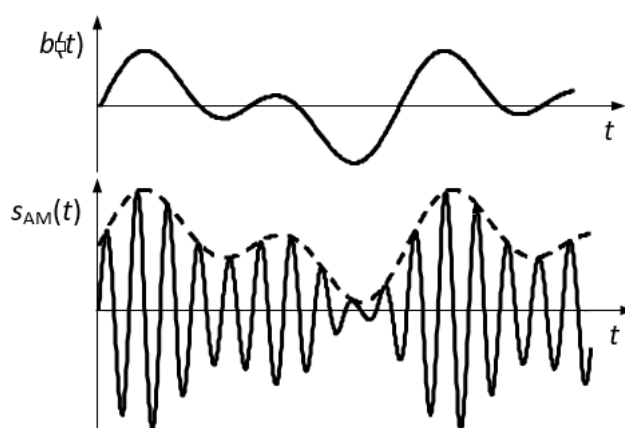


Рисунок 3.3 – Модулюючий $b(t)$ та модульований $s_{AM}(t)$ сигнал

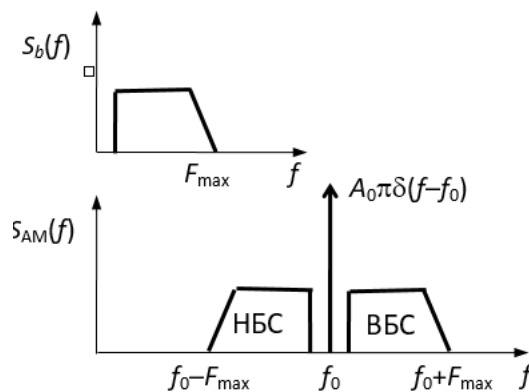


Рисунок 3.4 – Спектри модулюючого та АМ сигналів

Розрахунки показують, що, коли модулюючими сигналами є первинні сигнали електрозв'язку, то частка потужності бокових смуг складає лише кілька відсотків від потужності модульованого сигналу. Тому доцільно сформувати сигнал зі спектром, що складається лише з двох бокових смуг частот (коливання частоти переносника відсутнє), – таким сигналом є сигнал балансної модуляції. [9]

3.5.2 Балансна модуляція

Балансною називається такий вид модуляції, коли модульованим сигналом є добуток модулюючого сигналу і переносника. Аналітичний вираз сигналу БМ має вигляд:

$$s_{\text{БМ}}(t) = A_0 b(t) \cos(2\pi f_0 t + \varphi_0). \quad (2)$$

Часові діаграми модулюючого та модульованого сигналів наведені на рис. 3.5. Оскільки модулюючий сигнал діє на амплітуду переносника, то БМ вважається різновидом АМ. Із рис. 3.5 видно, що обвідна сигналу БМ $A(t) = A_0 |b(t)|$ (показана пунктирною лінією) не повторює модулюючий сигнал.

Із порівняння математичних виразів, що описують АМ сигнал (1) і БМ сигнал (2) бачимо, що спектр БМ сигналу відрізняється від спектра АМ сигналу відсутністю коливання частоти переносника. На рис. 3.6 показані довільний амплітудний спектр модулюючого сигналу та відповідний йому амплітудний спектр БМ сигналу, що складається із ВБС та НБС. Із рис. 3.6 випливає, що ширина спектра БМ сигналу $F_{\text{БМ}}$ така ж, як і ширина спектра АМ сигналу:

$$F_{\text{БМ}} = 2F_{\text{max}}.$$

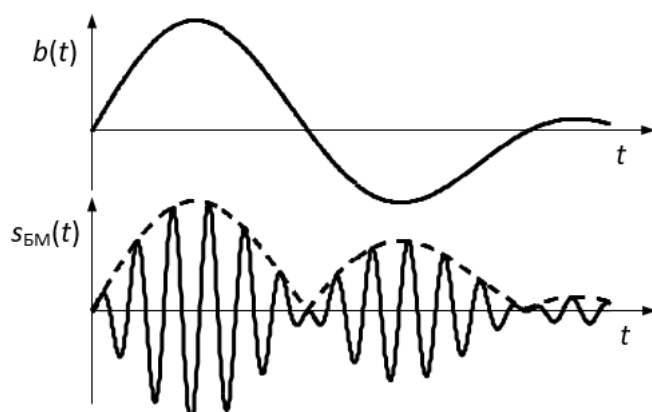


Рисунок 3.5 – Модулюючий $b(t)$ та модульований $s_{\text{БМ}}(t)$

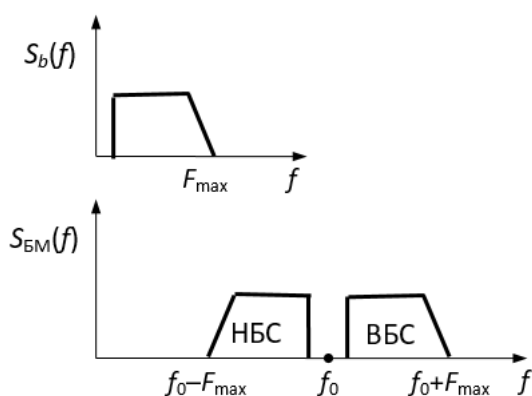


Рисунок 3.6 – Спектри модулюючого та БМ сигналів

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

BB71.050004.001

Арк.

26

3.5.3 Односмугова модуляція

Для створення однополосного сигналу, тобто сигналу, що містить тільки верхню чи нижню бічну смугу, використовуються балансові модулятори. До входу такого модулятора одночасно підводиться напруга сигналу, що передається і напруга несучої частоти. На виході модулятора зберігаються тільки верхня і нижня бічні смуги. [8]

Односмуговою називається такий вид модуляції, коли спектр модульованого сигналу співпадає зі спектром модулюючого сигналу, зсунутим на частоту переносника чи є інверсією зсунутого спектра відносно частоти переносника. Спектр сигналу ОМ містить одну бокову смугу – верхню чи нижню. Сигнал ОМ записується у вигляді

$$s_{\text{ОМ}}(t) = A_0 b(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \mp A_0 \tilde{b}(t) \sin(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (3)$$

де знак “–” відноситься до опису сигналу з верхньою боковою смугою частот, а знак “+” – з нижньою боковою смугою; $\tilde{b}(t)$ – сигнал, спряжений за Гільбертом із сигналом $b(t)$. Фізичний зміст перетворення Гільберта досить простий: сигнал $\tilde{b}(t)$ відрізняється від $b(t)$ тим, що фази всіх його складових повернуті на кут $\pi/2$. [8]

Часові діаграми модулюючого сигналу $b(t)$, спряженого за Гільбертом $\tilde{b}(t)$ та ОМ сигналу наведені на рис. 3.7. Із рис. 3.7 видно, що обвідна сигналу ОМ $A(t) = A_0 \sqrt{b^2 + \tilde{b}^2}$ (показана пунктирною лінією) не повторює модулюючий сигнал.

На рис. 3.8 показані довільний амплітудний спектр модулюючого сигналу та відповідний йому амплітудний спектр ОМ сигналу з ВБС. Із рис. 3.8 випливає, що ширина спектра ОМ сигналу $F_{\text{ОМ}}$ удвічі менша за ширину спектра АМ та БМ сигналів: $F_{\text{ОМ}} = F_{\text{max}}$.

					BB71.050004.001	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

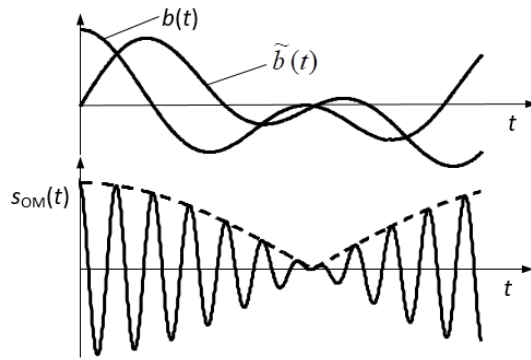


Рисунок 3.7 – Модуючий $b(t)$ та модульований $s_{OM}(t)$ сигнали

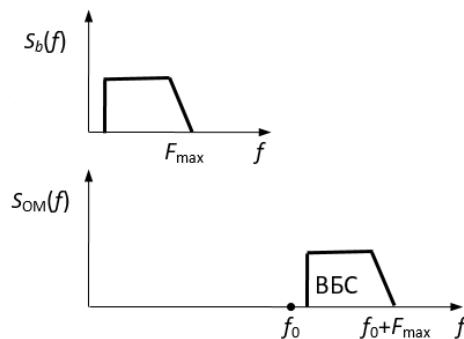


Рисунок 3.8 – Спектри модулюючого та ОМ сигналів

До числа основних переваг таких систем в порівнянні зі звичайними амплітудно-модульованими системами можна віднести:

1) усунення з спектру несучої частоти і однієї бічної смуги, для передачі яких в звичайних системах витрачається значна потужність;

2) зменшення смуги частот, займаної передавачем, що дає можливість збільшити число станцій, що працюють без взаємних перешкод в заданому діапазоні, і істотно знизити спотворення переданого сигналу, викликане селективним "завмиранням", яке є наслідком неоднаковості умов поширення різних за частотою складових спектра сигналу;

3) звуження смуги пропускання приймального пристрою, що дозволяє приблизно в два рази знизити потужність перешкод на вході приймача. [9]

До основних недоліків систем однополосної передачі слід віднести:

1. Необхідність забезпечення високої стабільності частоти передавача і генератора несучої частоти, відновлюваної на приймальному кінці. Відхилення відновленої в приймальнику несучої частоти від пригніченої в передавачі при комерційному зв'язку зазвичай не перевищує 50 - 100 Гц. Якщо різниця перевищує вказане значення, то різко знижується розбірливість передаваної мови. Хороша розбірливість мови виходить, якщо відхилення не перевищує 15 - 20 Гц. Для високоякісного прийому музичних передач допустима величина відхилення вимірюється одиницями і навіть частками герца. [3]

2. Ускладнення приймальні і передавальної апаратури, пов'язане з формуванням односмугового сигналу, а також з відновленням несучої частоти при демодуляції в приймальному пристрої.

3.6 ДИСКРЕТНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є

Дискретне перетворення Фур'є (ДПФ, [англ.](#) Discrete Fourier Transform) — це математична процедура, що використовується для визначення гармонічного, або частотного, складу дискретних сигналів. ДПФ є однією з найбільш розповсюджених і потужних процедур цифрової обробки сигналів. ДПФ дозволяє аналізувати, перетворювати і синтезувати сигнали такими способами, які неможливі при неперервній (аналоговій) обробці.

Дискретне перетворення Фур'є вимагає в якості входу дискретну функцію. Такі функції часто створюються шляхом дискретизації (вибірки значень з безперервних функцій). Дискретні перетворення Фур'є допомагають вирішувати диференціальні рівняння в приватних похідних і виконувати такі операції, як згортки. Дискретні перетворення Фур'є також активно використовуються в статистиці, при аналізі часових рядів.

					BB71.050004.001	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Дискретне перетворення Фур'є є потужним інструментом для аналізу та виміру сигналів, яке дозволяє отримувати сигнали в тимчасовій області вимірювати частотну структуру сигналу і перетворювати результати в реальному масштабі часу. [4]

Перетворення Фур'є (для сигналів з обмеженою енергією) використовується в методі дослідження сигналів в термінах області частот. Звичайні перетворення Фур'є - аналіз лінійних, інваріантних до часу систем і спектральний аналіз сигналів. Наступне рівняння визначає двостороннє пряме перетворення Фур'є, результатом якого є знаходження спектральної щільності $X(f)$:

$$X(f) = F\{x(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (4)$$

Двостороннє зворотне перетворення Фур'є визначається наступним виразом:

$$x(t) = F^{-1}\{X(f)\} = \int_{-\infty}^{\infty} X(f)e^{j2\pi ft} df \quad (5)$$

Поняття «двосторонній» означає, що математична реалізація прямого і зворотного перетворень Фур'є використовує всі негативні і позитивні частоти і тривалість дії сигналу. У той же час поняття «односторонній» означає, що математична реалізація перетворення пов'язує тільки позитивні частоти і залежність миттєвих значень сигналу від часу. При цьому розрізняють фізичний (односторонній) і математичний (двосторонній) спектри. Пара перетворень Фур'є полягає в поданні сигналу і в області частот, і в області часу. Наступне відношення зазвичай символічно означає пару перетворень Фур'є:

$$x(t) \leftrightarrow X(f) \quad (6)$$

Алгоритм, який забезпечує перетворення вибірки сигналу з області часу в область частот, є дискретним перетворенням Фур'є (ДПФ). Необхідно відзначити, що ДПФ за замовчуванням вихідний обмежений в часі сигнал

					BB71.050004.001	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

перетворює в періодичний з періодом, рівним часу отримання вибірки. Фактично вихідний сигнал представляється у вигляді ряду Фур'є: набору гармонік з частотами, кратними частоті першої гармоніки, і амплітудами, обумовленими за допомогою перетворення Фур'є вихідного сигналу в межах його періоду. ДПФ широко використовується в спектральному аналізі, медицині, при чисельному аналізі, в прикладній механіці, акустиці і т.д. На рис. 3.9 показаний результат використання ДПФ (DFT) для перетворення даних з області часу (Time Domain) в область частот (Frequency Domain). Припустимо, що отримана вибірка сигналу з N одиничних вимірювань (відрахунків) від DAQ-пристрої. Якщо застосовується ДПФ до N одиничним вимірам, що представляє сигнал в області часу, результат перетворення також з- варто з N одиничних вимірювань (відліків), але інформація, яку вони містять, має представлення в області частот

3.6.1 Періодична дискретизація

Приклад періодичної дискретизації показаний на другому графіку. В цьому випадку дані легко інтерпретувати, проте, ми знову пропущений момент падіння функції T2 і T3. Значить, періодична дискретизація сама по собі ще не гарантує збереження всіх важливих даних. До того ж, якщо з'єднати наявні відліки, то передбачувана крива буде вельми далекою від оригіналу. Отже, при дискретизації ми можемо необоротно втратити дані, але якщо вибрати більшу кількість відліків, тобто збільшити частоту дискретизації, (наприклад, додатково десять між T2 і T3), то можна уловити момент падіння функції.

					BB71.050004.001	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

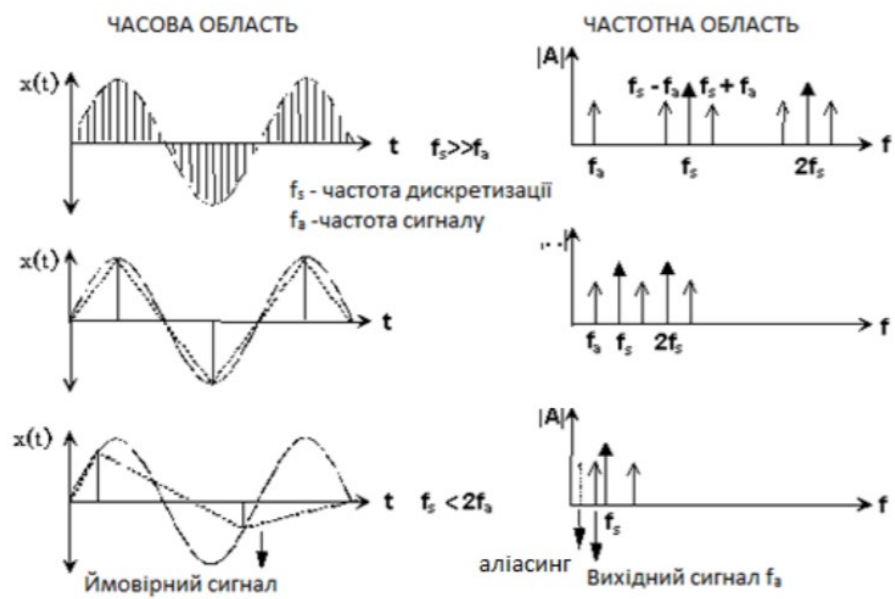


Рис. 3.9 – Графічна відмінність часової та частотної області

4 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ТА ПРОГРАМНОГО КОМПОНЕНТУ

4.1 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ПРОГРАМНОГО КОМПОНЕНТУ

Керуюча програма включає в себе шість модулів: модуль генерації інформаційного аналогового сигналу, модуль генерації несучого аналогового сигналу, модуль модулятора та модуль візуалізації розрахованих даних у вигляді осцилограм та спектрограм у часовій та частотній області відповідно. Всі модулі взаємодіють між собою та мають графічне супроводження.

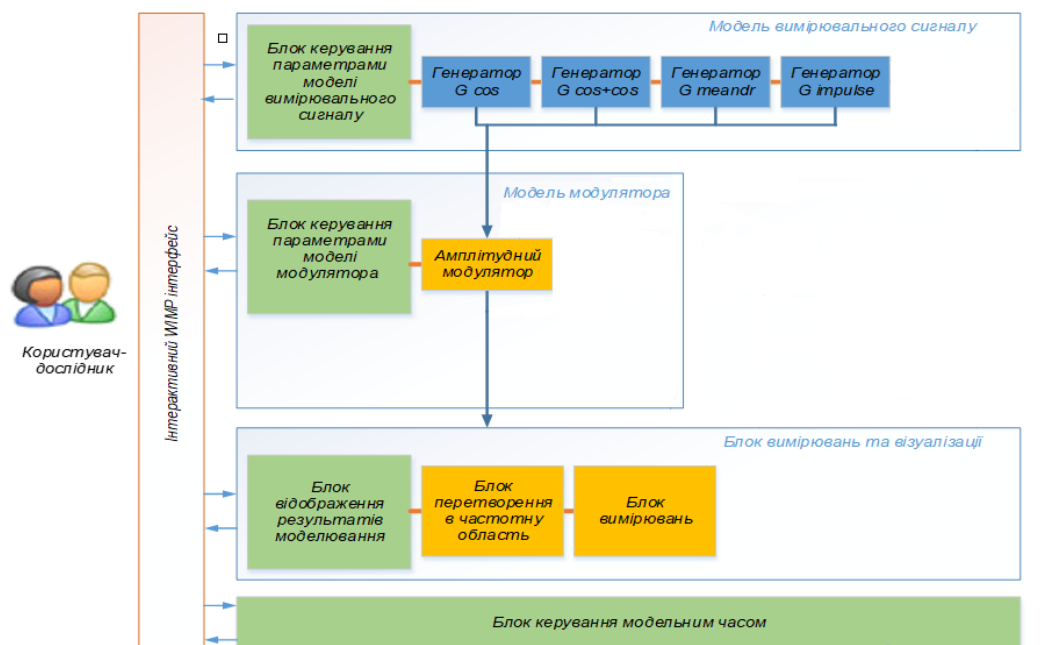


Рисунок 4.1 – Блок-схема програмного комплексу

Модуль введення параметрів інформаційного сигналу приймає на себе функцію взаємодії користувача з програмним компонентом через зовнішній інтерфейс. В залежності від введених даних, модуль резервує необхідну кількість пам'яті під масив, в який потім будуть збережені розраховані параметри інформаційного сигналу.

Модуль введення параметрів несучого сигналу приймає на себе функцію взаємодії користувача з програмним компонентом через зовнішній

інтерфейс. В залежності від введених даних, модуль резервує необхідну кількість пам'яті під масив, в який потім будуть збережені розраховані параметри несучого сигналу.

Модуль модулятора, напряду не взаємодіє з користувачем через зовнішній інтерфейс, тому що розраховує необхідні значення через амплітуди та частоти інформаційного і несучого сигналів. Цей модуль також резервує необхідну кількість пам'яті під масив, в який потім будуть збережені розраховані характеристики.

Модуль візуалізації отриманих та розрахованих даних зображує необхідні нам дані на екран у вигляді графіків на екрані осцилографа.

Генератор інформаційного сигналу створює сигнал з заданою амплітудою в діапазоні від 0 до 20 В та частотою від 0 до 10 кГц.

$$u_m(t) = A(t)\cos[2\pi f_c t + \varphi(t)] \quad (7)$$

Генератор несучого сигналу створює сигнал з заданою амплітудою в діапазоні від 0 до 20 В та частотою від 0 до 50 кГц.

$$u_c = U_c \cos(\omega_c t) \quad (8)$$

Генератор модульованого сигналу формує сигнал за амплітудою та частотою дискретизації використовуючи дискретне перетворення Фур'є.

$$u_{am}(t) = U_c \left[1 + m \frac{u_{am}(t)}{|u_{am}(t)|_{max}} \right] \cos(\omega_c t) \quad (9)$$

Аналізатор спектра використовує дискретне перетворення Фур'є з алгоритмом швидкого перетворення Фур'є і обчислює спектр відповідно до формули:

$$X_m = \sum_{n=0}^{M-1} x_{2n} a_M^{nm} + \exp\left(-2\pi i \frac{m}{N}\right) \sum_{n=0}^{M-1} x_{2n+1} a_M^{nm} \quad (10)$$

4.2 РОЗРОБКА ОКРЕМИХ МОДУЛІВ ПРОГРАМИ

Математична модель взагалі – це математичний опис якого-небудь процесу. Таким чином, правильність дії моделі і правильність отриманих з її допомогою висновків забезпечується настільки точно, наскільки вірно створена модель.

Провідну роль в процесі в створенні математичної моделі та програмно-методичного комплексу в цілому відіграє програмне забезпечення, оскільки саме програмне забезпечення визначає кінцеву якість, зручність і ефективність використання тієї чи іншої комп'ютерної вимірювальної системи. В якості інструменту було використано програмне середовище LabVIEW, одним з основних переваг графічного програмування є те, що вихідний код дуже схожий на принципові схеми, тому це дуже проста мова для інженерів електроніки / електроніки. Це одна з причин того, що Змін. Лист № докум. Підпис Дата Арк. ВМ61.050004.001 26 LabVIEW став настільки популярний в області збору даних і автоматизації. Ще одна перевага - це швидкість розробки. Користувач збирає свій графічні інтерфейси з палітри доступних елементів управління на передній панелі. Також перевагою є повна сумісність з програмним середовищем MATLAB - найпотужнішою системою комп'ютерної математики.

4.2.1. Розробка інтерфейсу користувача

Створення програмного компоненту у середовищі LabView розпочинається зі створення інтерфейсу користувача.

Для економії місця на екрані і компактного розташування усіх вихідних даних було прийнято рішення розмістити дисплеї з графіками на шести робочих вкладках. Перша вкладка це графік інформаційного сигналу,

					ВВ71.050004.001	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

який ми досліджуємо. Друга вкладка це графік спектру інформаційного сигналу. Третя вкладка графік несучого сигналу. Четверта вкладка це графік спектру несучого сигналу. П'ята вкладка це графік модульованого сигналу. Шоста вкладка це графік спектру модульованого сигналу.

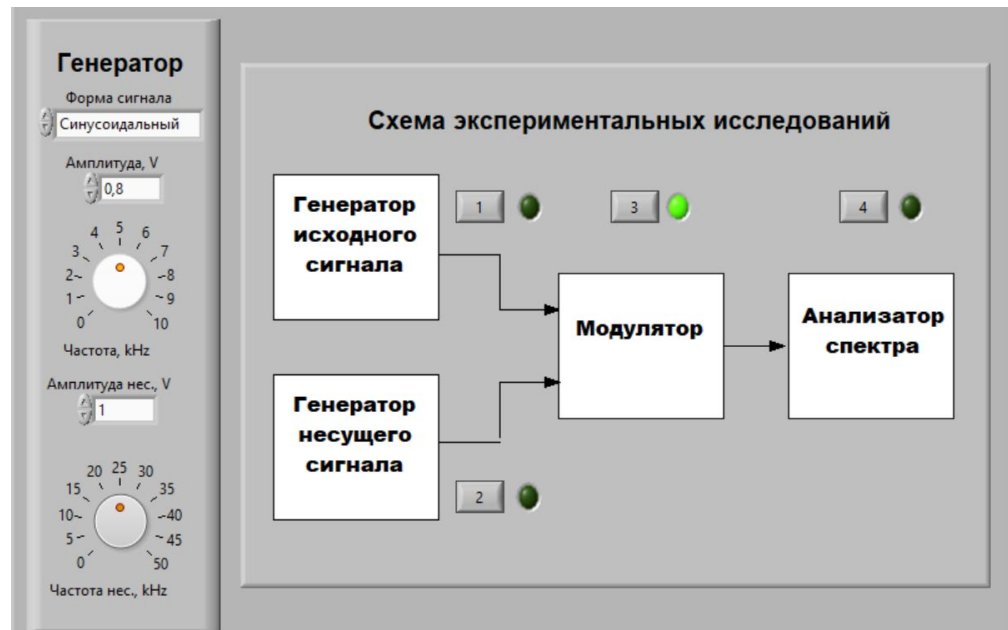


Рисунок 4.2 - Вигляд лицьової панелі керування віртуального приладу.

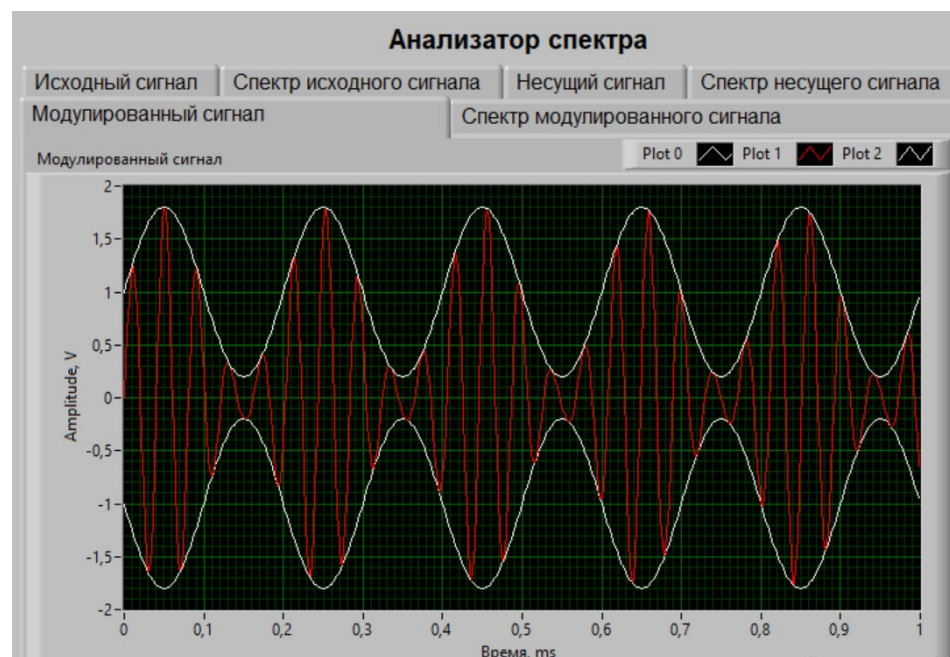


Рисунок 4.3 – Вигляд графічного дисплея вимірювальних сигналів та їх спектрів

На рис. 4.3 зображено дисплей з графіками дослідження сигналу.

На рис. 4.2 зображено панель керування лабораторним стендом. За допомогою панелі керування задається форма сигналу та здійснюється введення параметрів інформаційного та несучого сигналів: амплітуда та частота.

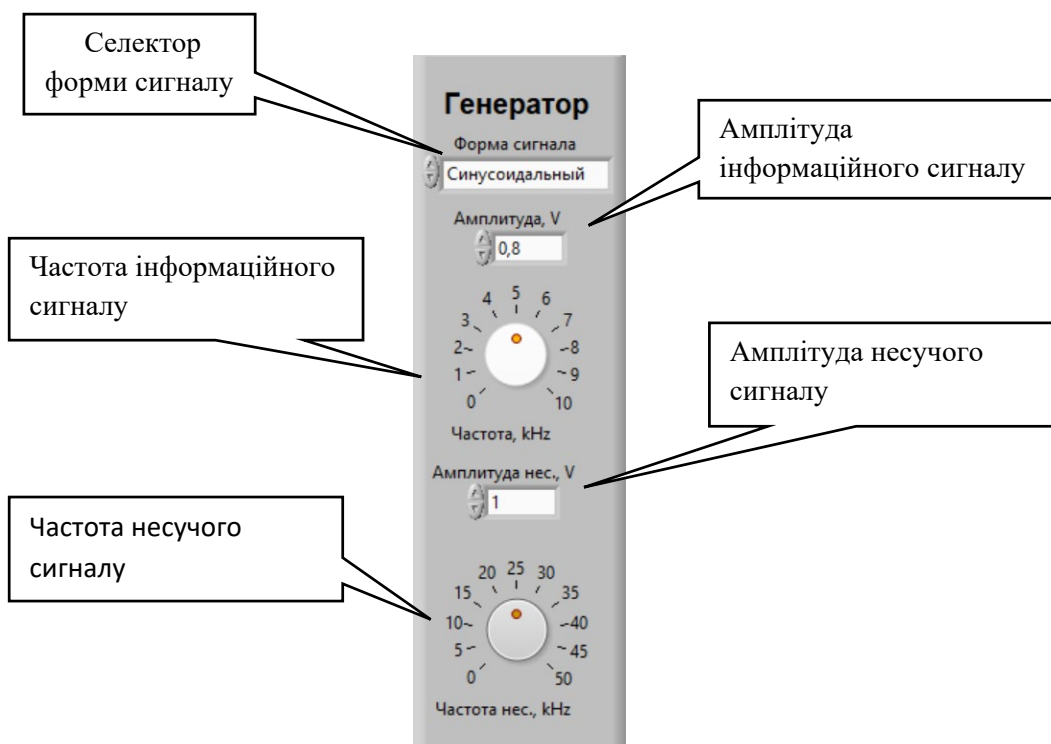


Рисунок 4.4 - Панель керування (частина 1)

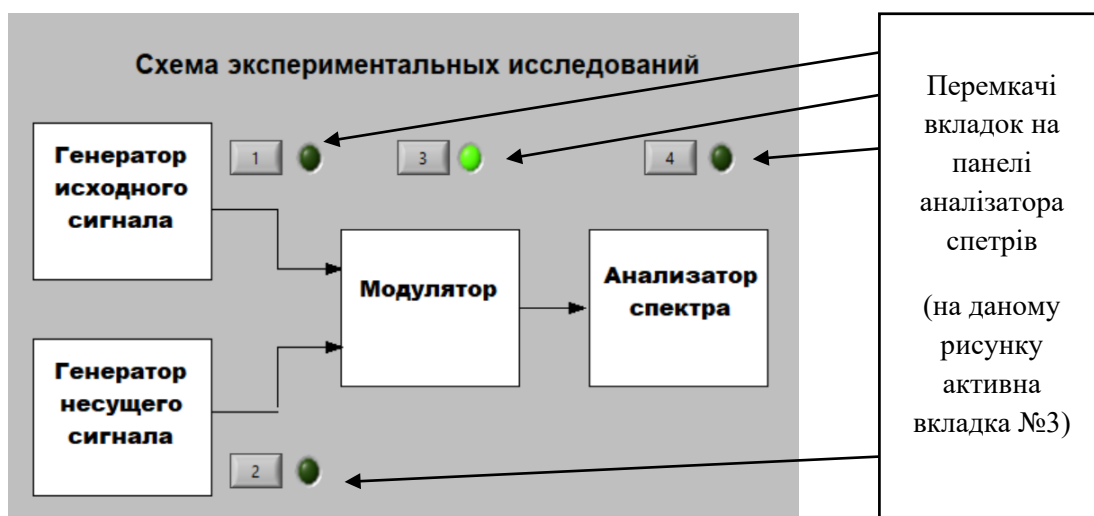


Рисунок 4.5 - Панель керування (частина 2)

4.2.2 Розробка блок-діаграми програми

Покроково розробляємо блок-схему програми відповідно до сформованого інтерфейсу користувача.

Для створення необхідних програмних блоків в даній роботі було використано такі компоненти програмного комплексу LabVIEW:

- числові константи та дисплеї палітри numeric з індикаційним управлінням;
- варіативну структуру палітри Structures, яка містить один або випадків, саме один із яких виконується під час виконання структури. Значення, підключене до селектора задач, визначає, яку задач виконати;
- функції множення, ділення та взаємну функцію ($1/x$) палітри numeric;
- генератор сигналів (синусоїдального та прямокутного) палітри Signal Generation Vis;
- функція побудови сигналу (аналогової форми сигналу) палітри Waveform VIs and Functions;
- функція злиття сигналів палітри Signal Manipulation Express Vis;
- масив значень з палітри Array;
- віртуальний графічний осцилограф;
- формувач сигналів, який по амплітуді і частоті дискретизації реалізує дискретне перетворення Фур'є для візуального відображення спектру (Spectral Measurements Express VI) з палітри Signal Analysis Express VIs.

Загальний вид блок-схеми представлено на рисунку 4.4.

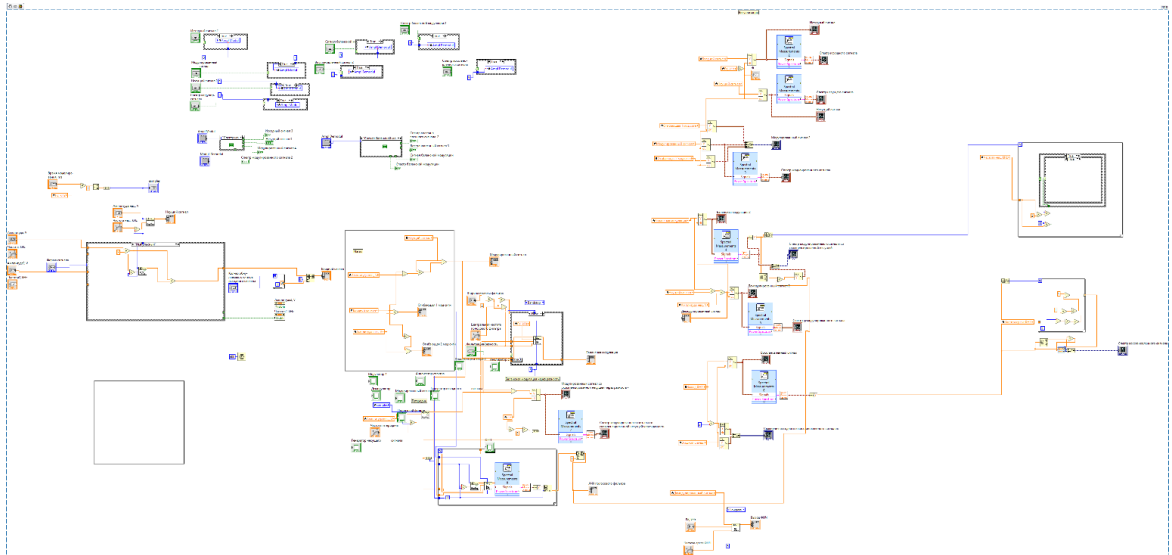


Рисунок 4.4 – Блок-діаграма програмного компоненту

Панель керування, через яку надходять вхідні дані, складається з інформаційного та несучого сигналу, для яких користувач задає амплітуду і частоту, представлена на рисунку 4.5.

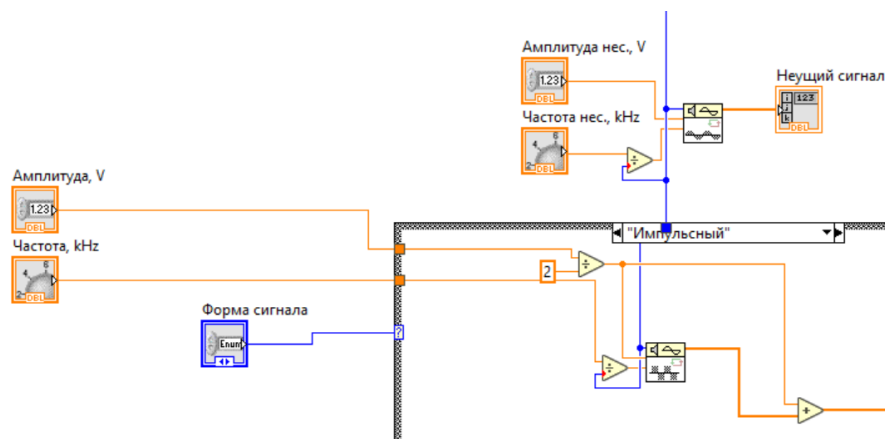


Рисунок 4.5 – Блок-діаграма панелі керування

На вхід подаються амплітуди та частоти інформаційного і несучого сигналів, це все пропускається через селектор форми сигналу.

Для відображення розрахованих даних у вигляді, який буде зручний для користувача, тобто, відображення графіків отриманих сигналів у окремих вкладках розроблено окремі блоки візуалізації для кожного завдання відповідно до назви вкладки.

Відповідно до заданих вхідних амплітуд і частот сигналу, а, також частоти

дискретизації реалізація блоків візуалізації, інформаційного та несучого сигналів представлені на рисунку 4.6 та 4.8.

Блок, що відповідає за реалізацію візуального представлення для користувача спектра сигналу наведено на рисунку 4.6 та 4.8. На вхід у цьому блоці ми подаємо інформаційний та несучий цифрові сигнали і частоту, з якою ці сигнали будуть дискретизовані алгоритмом дискретного перетворення Фур'є. Завдяки цьому користувач, по отриманій спектрограмі на виході, оцінює коректність заданої частоти дискретизації.

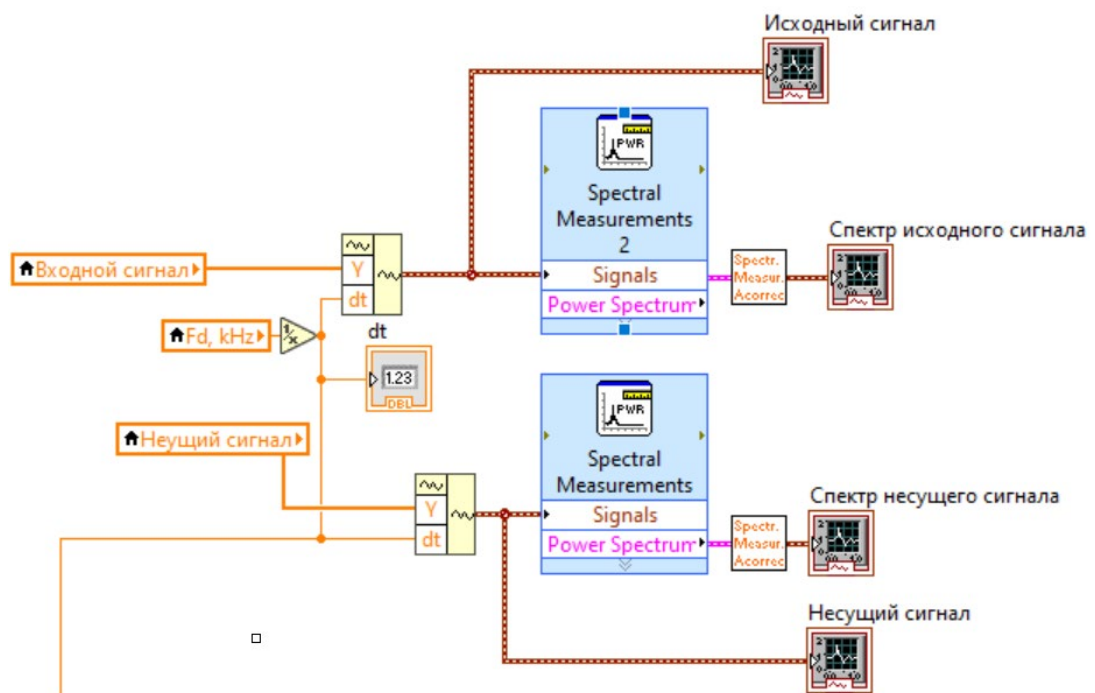


Рисунок 4.6 – Блок-діаграма візуалізації інформаційного сигналу та несучого сигналів

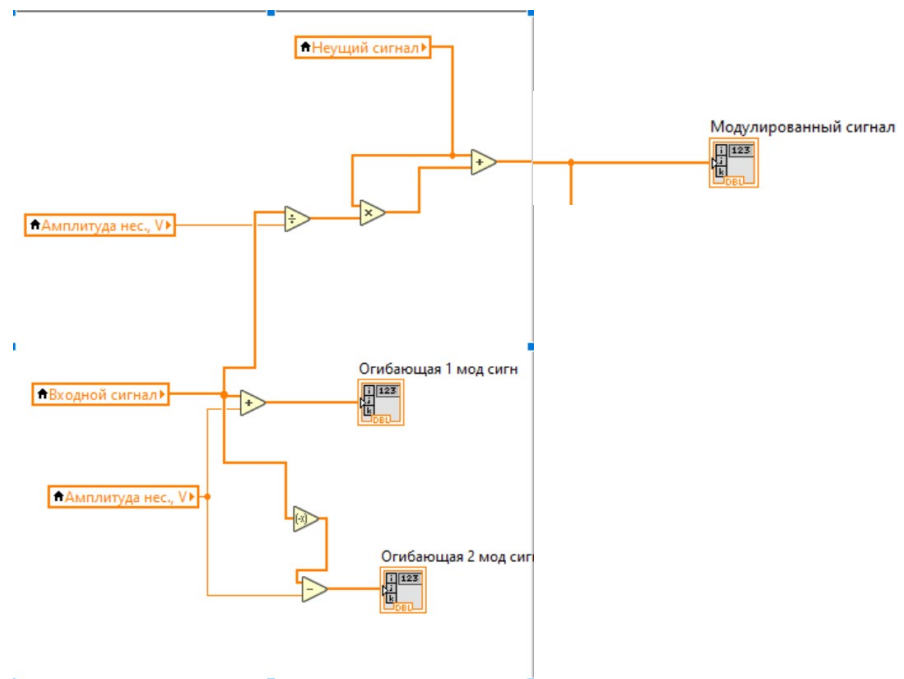


Рисунок 4.7 – Блок-діаграма генерації модульованого сигналу

На рис. 4.7 відбувається генерація модульованого сигналу через характеристики інформаційного та несучого сигналів, а також генерація обвідних за допомогою вхідного сигналу та амплітуди несучого сигналу використовуючи функція програмного компоненту LabVIEW.

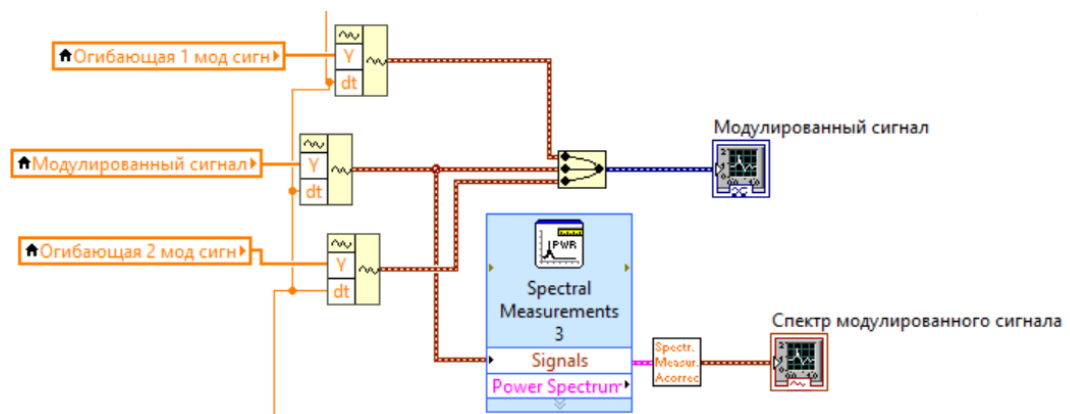


Рисунок 4.8 – Блок-діаграма візуалізації сигналу на виході модулятора

4.3 РОЗРОБКА МЕТОДИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ІНСТРУКЦІЇ ПО ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПРОГРАМНОГО КОМПОНЕНТА

В наш час на перший план виступає потреба в підготовці не просто освічених фахівців, які володіють тим чи іншим багажем знань, а насамперед людей, які вміють творчо мислити, здатні швидко реагувати на будь-які нестандартні ситуації, постійно вдосконалюють свої знання та використовують їх на практиці. Тому тільки наявність сучасної навчальнолабораторної бази та техніки дає можливість підготувати висококласних фахівців, які відповідають сучасним запитам роботодавців. А власне якісне навчально-лабораторне обладнання допомагає викладацькому складу будувати належним чином освітній процес. Також перевагою лабораторного стенду є те, що студенти набувають в роботі з сучасним програмним забезпеченням відкритої платформи LabView компанії National Instrument, яка вважається найпотужнішою системою комп'ютерної математики в світі. З'являється можливість попереднього моделювання досліджуваних фізичних процесів в електроенергетичних системах, що робить процедуру експериментального пошуку більш осмисленою і продуктивною. Можна досліджувати як статичні, так і динамічні показники об'єктів у режимах багатоканального керування з досить складними алгоритмами. Лабораторні роботи проводяться з метою закріпити теорію лекційного курсу та отримати навички та вміння, які будуть необхідні в майбутній професії.

Висновки

В даному розділі було описано шлях розробки програмного забезпечення від створення попередньої структури програми, до безпосередньо готового робочого компонента, що може бути застосований для вивчення ефекту накладання спектрів.

					BB71.050004.001	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З РОЗРОБЛЕНИМ ВІРТУАЛЬНИМ ПРИЛАДОМ

5.1 ОПИС ВІРТУАЛЬНИХ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Віртуальні засоби вимірювальної техніки в даному випадку складаються з комп'ютера і програмного забезпечення, які в комплексі утворюють систему, ідентичну традиційним приладам. Віртуальні прилади дозволяють використовувати всю обчислювальну потужність, продуктивність, графічні і мережні можливості сучасних персональних і промислових комп'ютерів.

5.1.1 Технічний опис і інструкція з експлуатації

Лабораторні роботи виконуються за допомогою персонального комп'ютера (ПК) на віртуальному лабораторному стенді, розробленому в середовищі програмування LabVIEW. Лабораторний стенд відображається на екрані монітора у вигляді інтерактивної панелі управління (ІПУ), при цьому його вигляд максимально наближений до зовнішнього вигляду реального лабораторного стенду. Робота реальних вимірювальних приладів і проходження сигналів через ланцюги змодельовані математичними методами з використанням алгоритмів цифрової обробки сигналів за допомогою засобів LabVIEW.

На ІПУ лабораторного стенду присутні наступні прилади та елементи:

Генератор вихідного сигналу:

Генератор вихідного сигналу (рис. 5.1) генерує синусоїдальний сигнал з відповідними характеристиками, які задані на ІПУ.

					BB71.050004.001	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

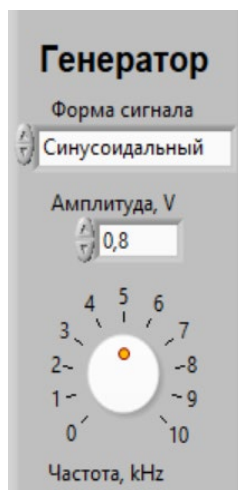


Рисунок 5.1 – ППУ генератора інформаційного сигналу

На ППУ генератора вихідного сигналу розташовані регулятори:

- «Амплітуда, V», який дозволяє змінювати амплітуду сигналу від 0 до 20 В з кроком 1, або задавати значення вручну до однієї соті частини;
- «Частота, kHz», який дозволяє змінювати частоту сигналу в діапазоні від 0 до 10 кГц з кроком 0.5.

Крім того, на ППУ розташований перемикач форми сигналу

- «Форма сигналу» з наступними режимами:
 - Синусоїдальний
 - Прямокутний
 - Меандр
 - Сума двох синусоїд

Генератор несучого сигналу:

Генератор несучого сигналу (рис. 5.2) несучий сигнал з відповідними характеристиками, які задані на ППУ.

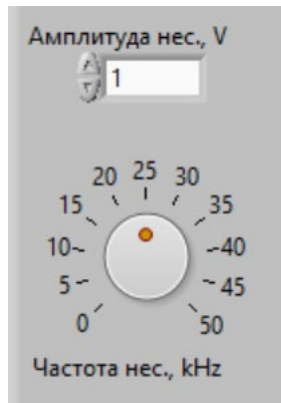


Рисунок 5.2 – ПУ генератора несучого сигналу

На ПУ генератора несучого сигналу розташовані регулятори:

- «Амплітуда нес, V», який дозволяє змінювати амплітуду сигналу від 0 до 30 В з кроком 1, або задавати значення вручну до однієї соті частини;
- «Частота нес, kHz», який дозволяє змінювати частоту сигналу в діапазоні від 0 до 50 кГц з кроком 0.5.

Службова інформація:

Панель службової інформації (рис. 5.3) слугує для того, щоб задавати загальні характеристики моделювання сигналів.

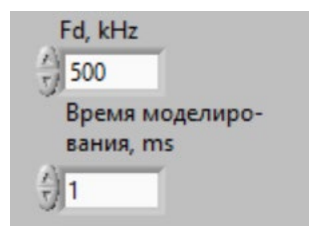


Рисунок 5.3 – ПУ службової інформації

На ПУ службової інформації розташовані регулятори:

- «Fd, kHz», який дозволяє змінювати частоту дискретизації від 0 до 1000 кГц з кроком 1, або задавати значення вручну до однієї соті частини;

					BB71.050004.001	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- «Час моделювання, ms», який дозволяє змінювати час моделювання в діапазоні від 0 до 10000 з кроком 1, або задавати значення вручну до однієї соті частини.

Навігаційна панель:

Навігаційна панель (рис. 5.4) слугує для зручного перемикання між відповідними часовими і спектральними характеристиками сигналу.



Рисунок 5.4 – ПУ навігаційної панелі

На ПУ навігаційної панелі розташовані регулятори:

- «Селектор», який дозволяє перемикатися між часовими і спектральними графіками аналізатора сигналів та спектрів;
- «Індикатор», який підсвічує елемент, що на даний момент відображається в аналізаторі сигналів та спектрів (на рис. 5.4 активний індикатор №1);
- «Схема», яка дозволяє отримати мінімальне представлення процесу роботи програми, а також слугує для навігації відповідного селектора;

Аналізатор сигналів та спектрів:

На ПУ аналізатор сигналів та спектрів (рис. 5.5) слугує для дослідження сигналів в часовій та спектральній областях.

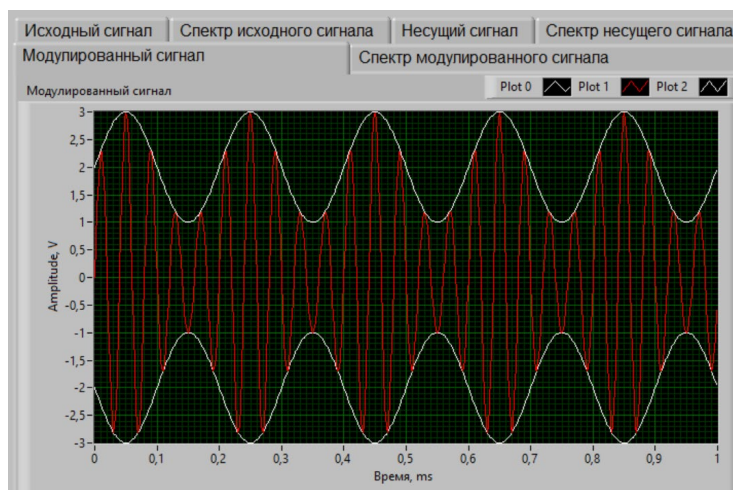


Рисунок 5.5 – ППУ анализатора сигналов та спектров

Для зручності дослідження у верхній частині аналізатора сигналів та спектрів розташовані вклади за допомогою яких можна переключатися між осцилограмами та спектрограмами.

На ППУ аналізатора сигналів та спектрів розташовані такі вклади:

- вихідний сигнал;
- спектр вихідного сигналу;
- несучий сигнал;
- спектр несучого сигналу;
- модульований сигнал;
- спектр модульованого сигналу.

5.2 ЗАВДАННЯ ДЛЯ ДОМАШНЬОГО ВИКОНАННЯ

5.2.1 Завдання

Перед початком будь-якого експериментального дослідження необхідно про-вести теоретичний (розрахунково-практичний) аналіз передбачуваних результатів - здійснити математичне та імітаційне моделювання для подальшого порівняння з ним даних реальних експериментів і оцінки

					ВВ71.050004.001	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		47

придатності отриманих практичних результатів в порівнянні з результатами моделювання.

Послідовність виконання домашнього завдання:

1.**Вивчити** методику подання амплитудно-модульованих сигналів (розділ «Лінійні параметричні кола») за конспектом лекцій і рекомендованою літературою та підготувати бланк звіту про виконання.

2.**Скласти** математичну модель амплитудно-модульованих сигналів. Изучение и анализ Надати необхідні пояснення.

3.**Сформувати** вихідні дані відповідно до варіанта. Проаналізувати наявні вихідні дані на відповідність складеної математичної моделі, та обчислити відсутні параметри. Вихідні дані занести до таблиці.

4.**Здійснити** формування складеної моделі для подальших досліджень, шляхом встановлення наявних та визначених параметрів моделі.

5.**Сформувати** програмну модель — здійснити імітаційне моделювання складених математичних моделей модульованих сигналів зазначеної форми для визначеного значення коефіцієнта модуляції в програмному середовищі MatLab – розробити код, який дозволить виконати:

- Розрахунок спектральних характеристик та потужність спектра складових АМ сигналу;
- Розрахунок амплітуд вхідного та несучого сигналів для коефіцієнтів модуляції в діапазоні $m_{AM} = [0.2; 1.8]$ з кроком 0,2;
- Графічну побудову змодельованих сигналів у часовий та спектральній площині.

6.**Зафіксувати** графічні (часові та спектральні діаграми) і числові результати моделювання;

					BB71.050004.001	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

7.Підготувати і скласти звіт про проведену роботу з виконання домашнього завдання.

8.Ознайомитись з роботою віртуального стенду, методикою експериментальних досліджень і порядком виконання даної лабораторної роботи, вивчити схему макета і принцип його роботи.

9.Підготувати і скласти протокол досліджень відповідно до завдань експериментальної частини, запропонувати форму таблиць для запису експериментальних даних та оброблених результатів вимірювання.

10. Підготуватись до обговорення за ключовими питаннями.

- 1) З якою метою використовується модуляція в системах електрозв'язку?
- 2) Дати визначення амплітудної модуляції.
- 3) Що таке коефіцієнт амплітудної модуляції? Які значення він може приймати?
- 4) Що таке перетворення Гільберта? Яка його фізична суть?
- 5) Нарисувати часову діаграму АМ сигналу, коли модулюючим сигналом є гармонічне коливання.
- 6) Зобразити спектр АМ сигналу, коли модулюючим сигналом є гармонічне коливання.
- 7) Зобразити спектр АМ сигналу, коли заданий довільний спектр модулюючого сигналу.

Завдання 1

Вивчити метод отримання амплітудно-модульованих коливань. Вивчення та аналіз математичних моделей сигналів з амплітудною модуляцією.

Завдання 2

Сформувати вихідні дані відповідно до варіанта і занести до таблиці.

					BB71.050004.001	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Для цього потрібно:

- а)** відповідно до варіанта записати аналітичний вираз амплітудно-модульованого коливання з коефіцієнтом модуляції M ;
- б)** зобразити якісно графіки модулюючого і модульованого-го сигналів АМ (часові діаграми коливань);
- в)** побудувати амплітудно-частотний спектр АМ коливання.

$$y(t) = \sum_1^n A_n \cos(\omega_n t + \varphi_n) \quad (11)$$

Завдання 3

Здійснити імітаційне моделювання складених математичних моделей сигналів зазначеної форми в програмному середовищі MatLab і дослідити їх поведінку у часовій області.

3.1.1 Розробити код і зафіксувати в протоколі графічні і числові результати моделювання сигналу. (Вихідні дані для моделювання вибрати і погодити з викладачем).

3.1.2 Розрахувати основні енергетичні характеристики змодельованих сигналів, а також характеристик форми кривої обраних сигналів (вибрати і погодити з викладачем).

3.1.3 Дослідити поведінку моделей сигналів різних форм у часовій області, якщо відбувається зміна параметрів, значення яких рекомендується вибирати в діапазоні від 0 до 1 і проаналізувати отримані результати.

Таблиця 1 – Результати розрахунків коефіцієнта модуляції

Коефіцієнт модуляції m_{AM}	Амплітуда A_1, B	Амплітуда A_0, B
0.2		
...		
1.8		

Таблиця 2 – Розрахунок потужності спектра складових АМ сигналу

Коефіцієнт модуляції m_{AM}	Потужність P_{AM} , Вт	Потужність P_0 , Вт	Потужність P_H , Вт	Потужність P_B , Вт
0.2				
...				
1.8				

5.2.2 Звіт про проведену роботу з виконання домашнього завдання

Вихідними даними для виконання домашнього завдання є вихідні дані до експериментальних досліджень відповідно 1 варіанта робочого завдання

Відповідно до домашнього завдання проведена наступна робота:

1. **Вивчено** основні положення АМ, ознайомлено з практичними прикладами, зрозумів технологію моделювання сигналів, незрозумілих теоретичних і практичних положень не виявлено.

2. На підставі аналітичного опису **складено** математичну модель амплітудно-модульованих сигналів, яка представляє собою добуток гармонійних сигналів з різними значеннями амплітуд, частот і фазових кутів, формула (11).

Несуче коливання:

$$u(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi), B \quad (12)$$

Модульований сигнал:

$$s(t) = S_0 \cos(\Omega t + \psi), B \quad (13)$$

де U_0 - амплітуда несучого коливання;

ω_0 - частота несучого коливання;

φ - початкова фаза несучого колювання;

S_0 - амплітуда модульованого сигналу;

Ω - частота модульованого сигналу;

Ψ - початкова фаза модульованого сигналу.

3. **Сформовано** вихідні дані до моделювання відповідно 1 варіанта робочого завдання, числові значення яких занесені до таблиці 3.

Таблиця 3 - Вихідні дані 1 варіанта

Варіант	A_1, B	$f_1, \text{кГц}$	A_2, B	$f_2, \text{кГц}$	A_3, B	$f_3, \text{Гц}$	A_0, B	$f_0, \text{кГц}$
1	4	5	5	5	4	5	8	25

Виявлено, що коефіцієнт модуляції, наявний в математичній моделі, у вихідних даних відсутній, але його можна вирахувати за допомогою наявних даних за формулою (13).

4. Відповідно до розроблених математичних моделей для аналітичного опису однотоного модульованого сигналу **розроблені** програмні моделі в середовищі MathLab. Розроблений код наведено у Додатку А.

5. **Зафіксовані** графічні результати (часові та спектральні діаграми) у вигляді Screenshot та числові результати роботи програми (середня потужність спектральних складових, коефіцієнт модуляції) зведені у таблиці 5-6 відповідно і наведені у Додатку Б і Додатку В відповідно.

6. **Ознайомлено** з принципом роботи віртуального стенду за Інструкцією по експлуатації, методикою експериментальних досліджень і порядком виконання даної лабораторної роботи. Незрозумілих положень не виявлено.

					BB71.050004.001	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

5.3 ЗАВДАННЯ ДЛЯ ПРАКТИЧНОГО ВИКАНАННЯ

5.3.1 Завдання

1. Ознайомитись із віртуальним макетом на робочому місці. Для цього після завантаження програми LabView відкрити файл D:/Ampl_Modul v0.10 Му. Усі лабораторні завдання виконуються, працюючи з панеллю макета.

2. Провести дослідження АМ сигналу у випадку одотонального модулюючого сигналу у часовій та частотній областях. Для цього:

- установити значення A_1 , F_1 , A_0 та частоту f_0 такі ж, як і в домашньому завданні;
- встановити вид модуляції АМ, обрати синусоїдальну форму сигналу та запустити програму на виконання;
- зробити Screenshot осцилограми та спектрограми первинного сигналу на вході і на виході модулятора та додати до протоколу;
- зняти дані з віртуального макета та занести результати до таблиці 4.

Таблиця 4 – Результат амплітудної модуляції

Screenshot спектрограма моделі первинного/модульованого сигналу	Характеристика	Значення за даними віртуальних приладів
	Амплітуда A_1 , В	
	Частота F_1 , кГц	
	Амплітуда A_0 , В	
	Частота f_0 , кГц	
	Амплітуда A_v , В	
	Амплітуда A_n , В	

3. Провести дослідження залежності спектра сигналу АМ від коефіцієнта модуляції. Для цього:

- задати характеристики, вид модуляції та форму сигналу відповідно до п. 2;
- змінювати коефіцієнт модуляції m_{AM} в діапазоні $[0.2;1.8]$ з кроком 0.2 (тобто змінювати амплітуду вхідного сигналу A_{1Pc} відносно амплітуди несучого A_0);
- зробити Screenshot спектрограми на виході модулятора;
- зняти дані спектрограми з віртуально макета та занести результати до таблиці 5.

Таблиця 5 – Результати спектрограм з різним коефіцієнтом модуляції

Screenshot спектрограма моделі модульованого сигналу	Спектральні характеристики	Значення за даними віртуальних приладів
	m_{AM}	

4. Провести дослідження спектрів модульованих сигналів у разі зміни частоти інформаційного сигналу. Для цього:

- задати характеристики, вид модуляції та форму сигналу відповідно до п. 2;
- змінювати частоту інформаційного сигналу в діапазоні $[5;20]$ кГц, обравши 5 довільних значень на вибір;
- зробити Screenshot спектрограми на виході модулятора;
- зняти дані спектрограми з віртуально макета (ширину смуги спектра АМ сигналу) та занести результати до таблиці 6.

Таблиця 6 - Результати спектрограм при зміні частоти інформаційного сигналу

Screenshot спектрограма моделі модульованого сигналу	Характеристики	Значення за даними віртуальних приладів
	F_1 , кГц	
	Δf , кГц	

5. Провести дослідження спектрів модульованих сигналів у разі зміни частоти несучого коливання. Для цього:

- задати характеристики, вид модуляції та форму сигналу відповідно до п. 2;
- змінювати частоту несучого коливання в діапазоні [10;50] кГц з кроком 10 кГц;
- зробити Screenshot спектрограми на виході модулятора ;
- зняти дані спектрограми з віртуально макета (частоти несучого та бічних коливань) та занести результати до таблиці 7.

Таблиця 7 - Результати спектрограм при зміні частоти несучого сигналу

Screenshot спектрограма моделі модульованого сигналу	Спектральні характеристики	Значення за даними віртуальних приладів
	Частота f_0 , кГц	
	Частота f_n , кГц	
	Частота f_b , кГц	

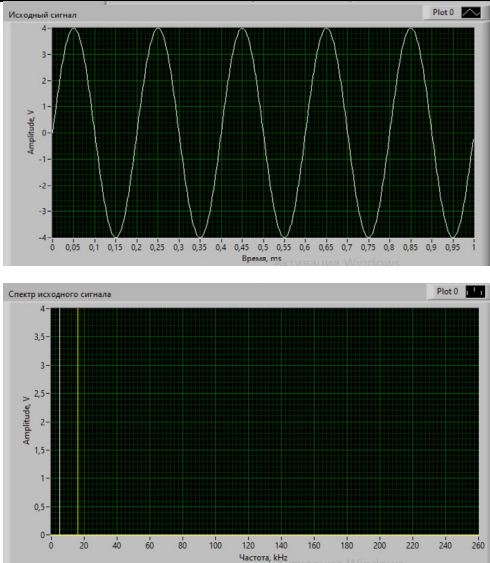
5.3.2 Звіт про проведену роботу з виконання практичного завдання

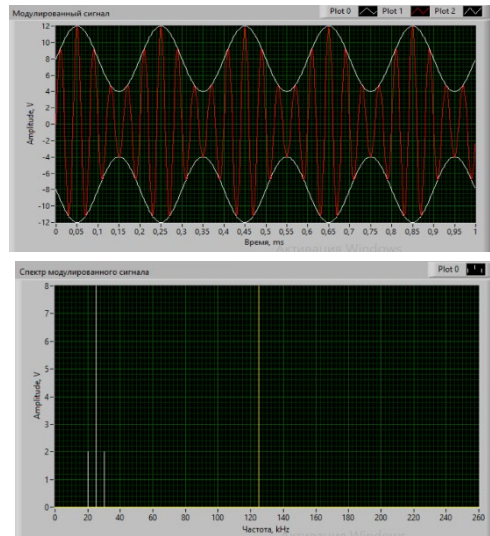
Експериментальні дослідження проводились шляхом імітаційного моделювання за допомогою віртуального макету, згідно рекомендованої

програми досліджень і відповідно до складених моделей вимірювальних сигналів.

1. Результати досліджень, проведених відповідно до робочого **Завдання 2** експериментальної частини зведені у таблиці 4.

Таблиця 4 – Результат амплітудної модульції

Screenshot спектрограма моделі первинного сигналу	Характеристика	Значення за даними віртуальних приладів
	Амплітуда A_1 , В	4
	Частота F_1 , кГц	5

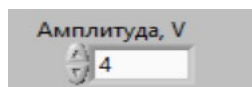
Screenshot спектрограма моделі модульованого сигналу	Характеристика	Значення за даними віртуальних приладів
	m_{AM}	0.5
	Амплітуда A_1 , В	4
	Частота F_1 , кГц	5
	Амплітуда A_0 , В	8
	Частота f_0 , кГц	25
	Амплітуда A_B , В	2
	Амплітуда A_H , В	2

В таблиці 4 наведені Screenshots осцилограми та спектрограми складених моделей вхідного та модульованого сигналів, які отримані експериментальним шляхом, а також результати вимірювань, визначені відповідно до показів віртуальних приладів - числові значення спектральних характеристик зазначеної форми сигналу

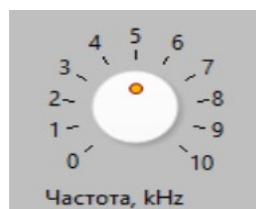
2. Результати досліджень, проведених відповідно до робочого **Завдання 3** експериментальної частини зведені у таблиці 5.

Характеристики сигналу:

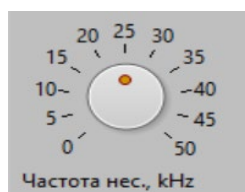
- Встановити $A_1 = 4$ В, використовуючи поле:



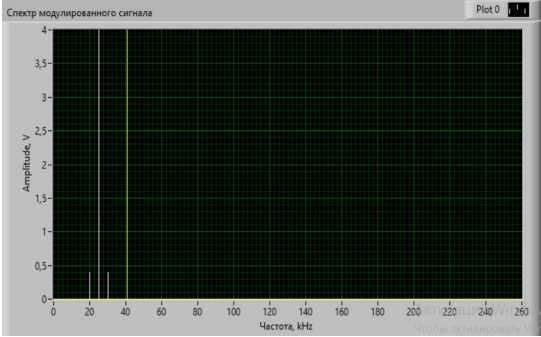
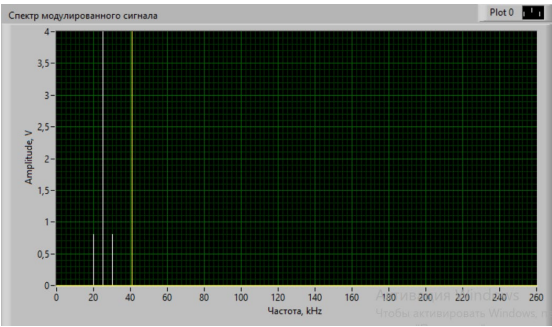
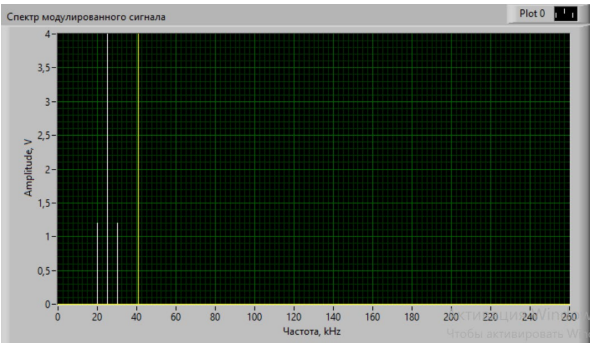
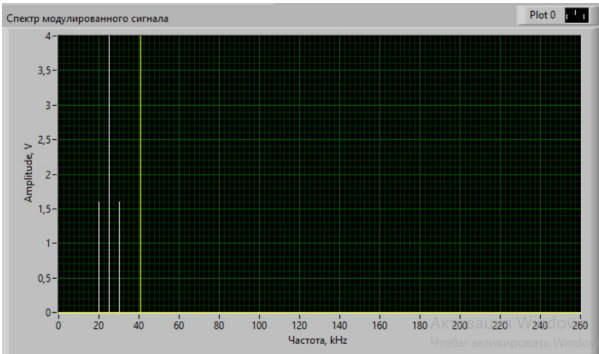
- Встановити $F_1 = 5$ кГц, використовуючи елемент:

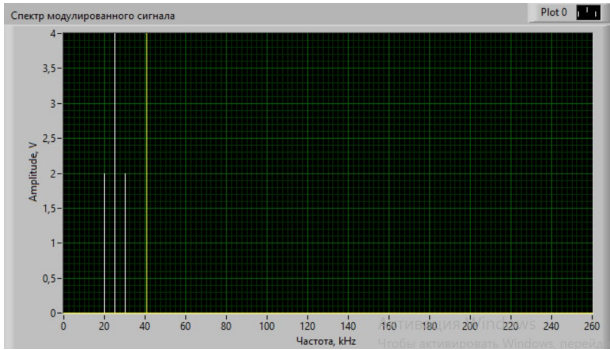


- Встановити $f_0 = 25$ кГц, використовуючи елемент:



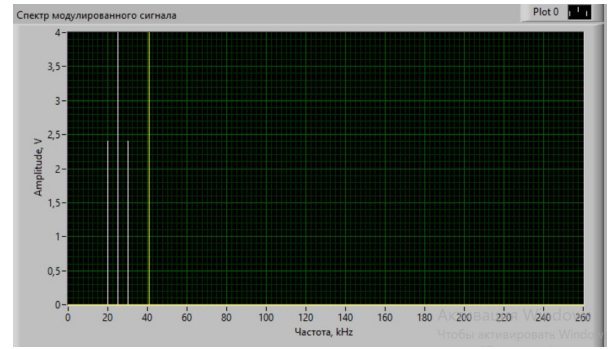
Таблиця 5 – Результати спектрограм з різним коефіцієнтом модуляції

Screenshot спектрограма моделі модульованого сигналу	Характеристика	Значення за даними віртуальних приладів
	m_{AM}	0.2
	m_{AM}	0.4
	m_{AM}	0.6
	m_{AM}	0.8



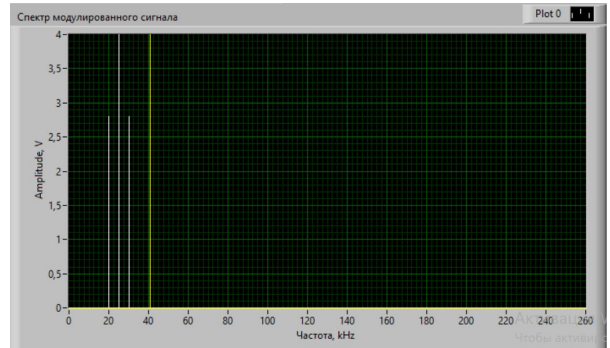
m_{AM}

1.0



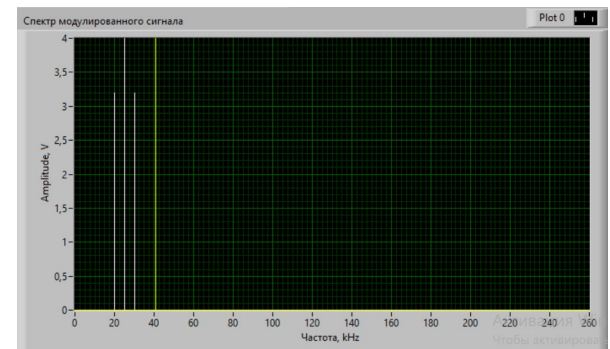
m_{AM}

1.2



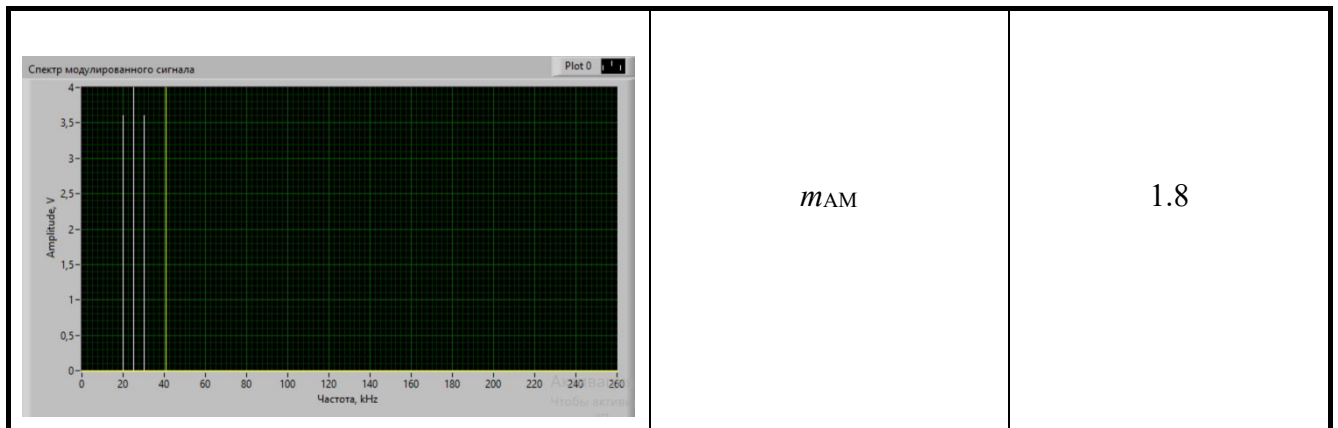
m_{AM}

1.4



m_{AM}

1.6



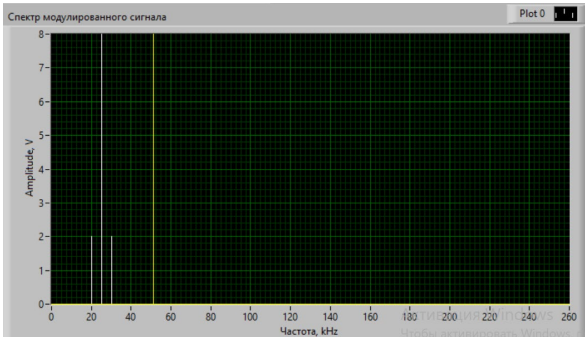
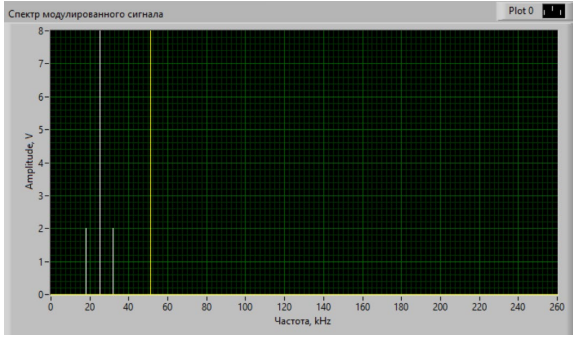
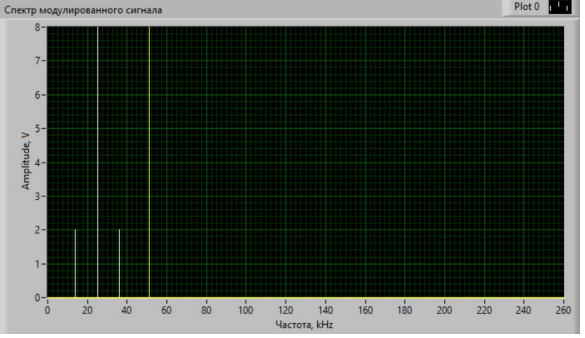
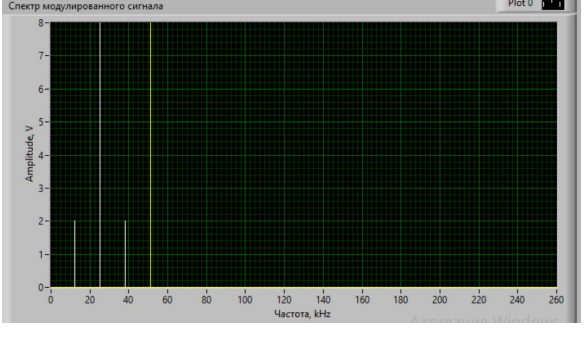
В таблиці 5 наведені Screenshots спектрограми складеної моделі модульованого сигналу, при зміні коефіцієнта модуляції в діапазоні [0.2;1.8] (тобто зміні амплітуди несучого сигналу відносно амплітуди вхідного), які отримані експериментальним шляхом, а також результати вимірювань, визначені відповідно до показів віртуальних приладів - числові значення спектральних характеристик зазначеної форми сигналу.

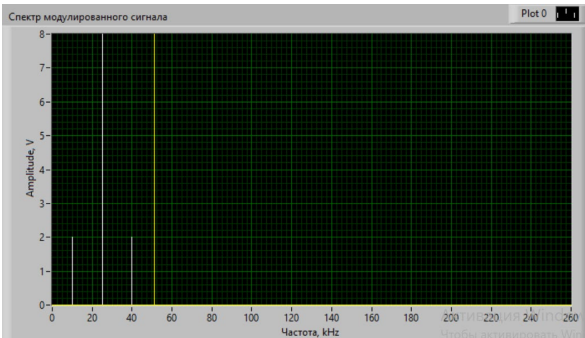
4. Результати досліджень, проведених відповідно до робочого **Завдання 4** експериментальної частини зведені у таблиці 6.

Характеристики сигналу:

- $A_1 = 4 \text{ В}$
- $A_0 = 8 \text{ В}$
- $f_0 = 25 \text{ кГц}$
- $m_{AM} = 0.5$

Таблиця 6 - Результати спектрограм при зміні частоти інформаційного сигналу

Screenshot спектрограма моделі модульованого сигналу	Характеристика	Значення за даними віртуальних приладів
	F_1 , кГц	5
	Δf , кГц	10
	F_1 , кГц	7
	Δf , кГц	14
	F_1 , кГц	11
	Δf , кГц	22
	F_1 , кГц	13
	Δf , кГц	26

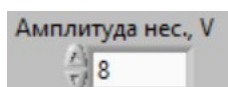
	F_1 , кГц	15
	Δf , кГц	30

В таблиці 4 наведені Screenshots спектрограми складеної моделі модульованого сигналу, при зміні частоти інформаційного сигналу в діапазоні [5;15] кГц, які отримані експериментальним шляхом, а також результати вимірювань, визначені відповідно до показів віртуальних приладів - числові значення спектральних характеристик зазначеної форми сигналу.

3. Результати досліджень, проведених відповідно до робочого **Завдання 5** експериментальної частини зведені у таблиці 7.

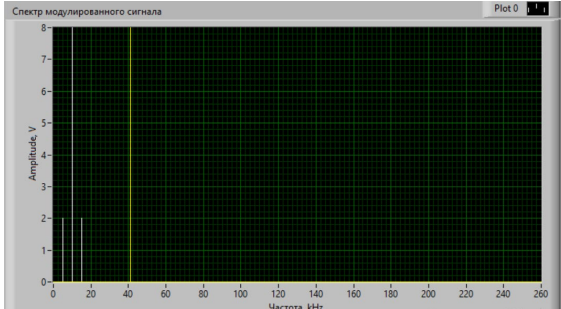
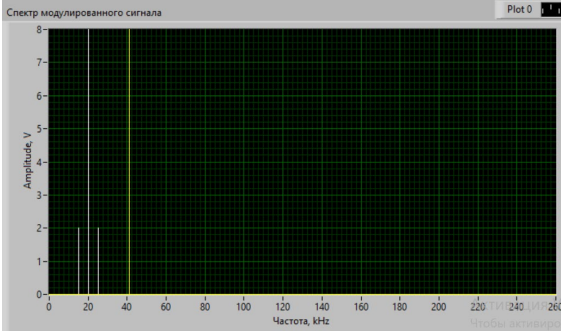
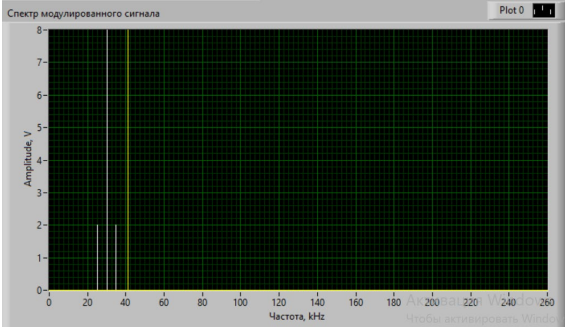
Характеристики сигналу:

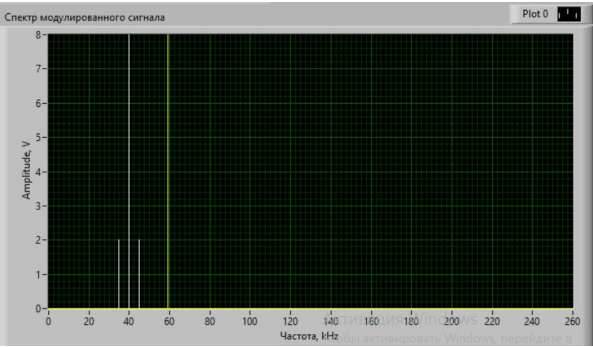
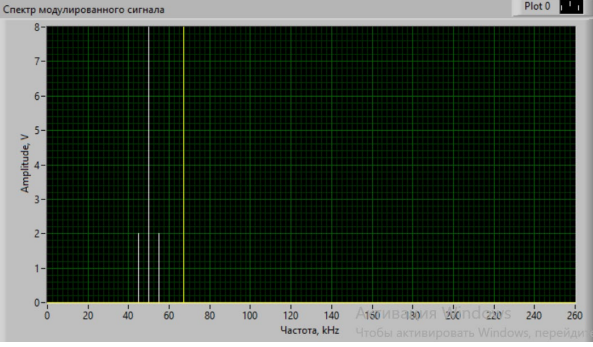
- $A_1 = 4$ В
- $F_1 = 5$ кГц
- $A_0 = 8$ В, використовуючи елемент:



- $m_{AM} = 0.5$

Таблиця 7 - Результати спектрограм при зміні частоти несучого сигналу

Screenshot спектрограма моделі модульованого сигналу	Характеристика	Значення за даними віртуальних приладів
	f_0 , кГц	10
	f_H , В	5
	f_B , В	15
	f_0 , кГц	20
	f_H , В	15
	f_B , В	25
	f_0 , кГц	30
	f_H , В	25
	f_B , В	35

	f_0 , кГц	40
	f_H , В	35
	f_B , В	45
	f_0 , кГц	50
	f_H , В	45
	f_B , В	55

В таблиці 3 наведені Screenshots спектрограми складеної моделі модульованого сигналу, при зміні частоти несучого коливання в діапазоні [10;50] кГц, які отримані експериментальним шляхом, а також результати вимірювань, визначені відповідно до показів віртуальних приладів - числові значення спектральних характеристик зазначеної форми сигналу.

5.4 ЗАВДАННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПИРЕМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.4.1 Завдання

Використовуючи експериментальні дані, отримані шляхом імітаційного моделювання за допомогою віртуального макету, згідно рекомендованої програми досліджень і відповідно до складених моделей вимірювальних сигналів, необхідно розрахувати відповідні характеристики.

					BB71.050004.001	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		64

1. Для робочого завдання 3 «Дослідження залежності спектра сигналу АМ від коефіцієнта модуляції» необхідно:

- побудувати графік залежності потужності АМ сигналу від зміни коефіцієнта модуляції m_{AM} ;
- розрахувати ефективність (%) потужності для кожного випадку та занести результати до таблиці 8;
- Проаналізувати отримані характеристики.

Таблиця 8 – Результати ефективності потужності

Коефіцієнт модуляції m_{AM}	Ефективність (%)	Потужність P_{AM} , Вт
0.2		
...		
1.8		

2. Для робочого завдання 4 «Дослідження спектрів модульованих сигналів у разі зміни частоти несучого коливання» необхідно:

- проаналізувати отримані спектрограми та зробити відповідні висновки.

3. Для робочого завдання 5 «Дослідження спектрів модульованих сигналів у разі зміни частоти інформаційного сигналу» необхідно:

- проаналізувати отримані спектрограми та зробити відповідні висновки;
- побудувати графік залежності зміни ширини смуги спектра Δf від зміни частоти інформаційного сигналу.

5.4.2 Звіт про проведену роботу з обробки результатів експериментальних досліджень

Використовуючи експериментальні дані, отримані шляхом імітаційного моделювання за допомогою віртуального макету, згідно рекомендованої програми досліджень і відповідно до складених моделей вимірювальних сигналів, розраховані відповідні характеристики.

1. Для робочого завдання 3 «Дослідження залежності потужності спектра АМ сигналу від зміни коефіцієнта модуляції»:

1.1 Побудований графік залежності зміни потужності АМ сигналу від зміни коефіцієнта модуляції m_{AM} за допомогою програмного комплексу MATLAB.

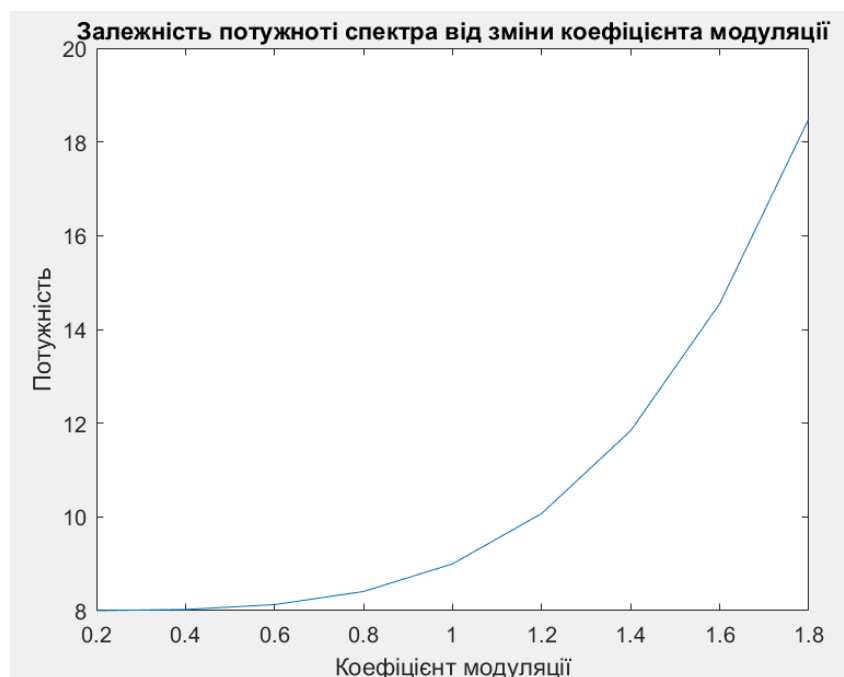


Рисунок 5.6 – графік залежності потужності спектра від зміни коефіцієнта модуляції

1.2 Розраховано ефективність (%) потужності для кожного випадку. Результати занесені до таблиці 8.

Таблиця 8 – Результати ефективності потужності

Коефіцієнт модуляції m_{AM}	Ефективність (%)	Потужність P_{AM} , Вт
0.2	0.020	8.0016
0.4	0.319	8.0256
0.6	1.594	8.1296
0.8	4.870	8.4096
1.0	11.111	9.0000
1.2	20.585	10.0736
1.4	32.442	11.8416
1.6	45.031	14.5536
1.8	56.751	18.4976

Висновки: досліджено, що при збільшенні коефіцієнта модуляції, потужність спектра АМ сигналу збільшується. Розраховано ефективність потужності спектра. По отриманим результатам отримано, що при збільшенні коефіцієнта модуляції, ефективність потужності спектра АМ сигналу збільшується.

2. Для робочого завдання 4 «Дослідження спектрів модульованих сигналів у разі зміни частоти інформаційного сигналу» необхідно:

2.1 Побудовано графік залежності зміни ширини смуги спектра Δf від зміни частоти інформаційного сигналу.

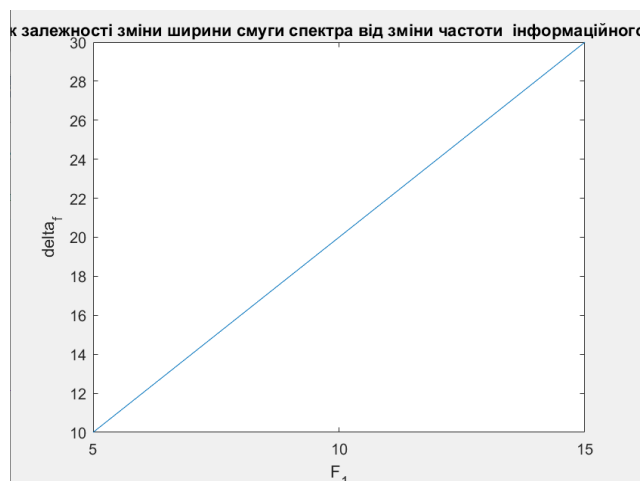


Рисунок 5.7 – графік залежності зміни ширини смуги спектра Δf від зміни частоти

Висновок: за отриманими експериментальними результатами бачимо, що при збільшенні частоти інформаційного сигналу, збільшується ширина смуги спектру, а саме $\Delta f = 2F_1$.

3. При виконанні робочого завдання 5 «Дослідження спектрів модульованих сигналів у разі зміни частоти несучого коливання» досліджено, що при зміні частоти несучого коливання потужність спектру залишається сталою, а складові частоти переносяться вгору по спектру.

5.5 ПОХИБКА ВИМІРЮВАННЯ

Оцінка точності вимірювання віртуального приладу за допомогою (осцилографа) графічного індикатора. Похибка вимірювання (методична похибка) безпосередньо по осцилограмам розраховується за похибками вимірювання довжин відрізків a і b :

Δa , Δb – абсолютні похибка вимірювання відрізків a і b .

Можна вважати максимально можливою похибкою один малий поділ шкали осцилографа.

Довжина відрізка $a = 3.793 \text{ pixels} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}$

Довжина відрізка $b = 7.586 \text{ pixels} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}$

$$\Delta a = \pm 0.001 \text{ (м)}$$

$$\Delta b = \pm 0.002 \text{ (м)}$$

Візуальна похибка вимірювання відрізка по ДСТУ на електронно-променеві осцилографи складає:

$$\delta A = \frac{0,4q}{A}$$

$$\delta B = \frac{0,4q}{B}$$

де q – товщина променя на екрані в мм,

A та B – виміряні відрізки в мм.

$$\delta A = \frac{0,4 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-3}} = \pm 12\%$$

$$\delta B = \frac{0,4 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3}} = \pm 6\%$$

ВИСНОВКИ

В дипломній роботі виконано модернізацію пакета в частині графічного редактора LabVIEW. Представлені розрахунки амплітудно-модульованого сигналу, який відповідає поставленим вимогам. Також модульований сигнал відповідає показникам і графікам отриманих в середовищі MATLAB.

Отже, розроблена модель задовольняє всі вимоги і може використовуватись для навчальних цілей та для навчання персоналу, який працює з амплітно-модульованими сигналами та потребує їх візуального представлення.

					BB71.050004.001	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНІХ ДЖЕРЕЛ

1. Солонина А. И., Клионский Д. М., Меркучева Т. В., Перов С. Н., Цифровая обработка сигналов и MATLAB, 2013 г
2. ГОСТ 17168-82 ФИЛЬТРЫ ЭЛЕКТРОННЫЕ ОКТАВНЫЕ И ТРЕТЬОКТАВНЫЕ. Общие технические требования и методы испытаний
3. Bruel&Kejr. Частотний аналізатор спектру. Режим доступу <http://www.bkvibro.com>
4. Гольденберг Л.М. и др. Цифровая обработка сигналов: Справочник/ Л.М. Гольденберг, Б.Д. Матюшкин, М.Н. Поляк// -М.: Радио и связь, 1985. – 312 с.; ил.
5. National Instruments (апаратні засоби, програмне забезпечення). Режим доступу <http://www.ni.com>
6. LabView. Режим доступу <https://ru.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>
7. Андреевская Т. М. Основы радиоэлектроники и связи. Амплитудно-модулированные радиосигналы. — МГИЭМ, 2004
8. А. Б. Сергиенко "Цифровая обработка сигналов" (второе издание) СПб, Питер, 2006. - 751 с.: ил.
9. В. И. Журавлев, А. Н. Руднев Амплитудная модуляция сигналов, Радиотехника, 2021 – 208 с.: ил.

					<i>BB71.050004.001</i>	Арк. 71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Код програмного комплексу MATLAB

```

%-----
% Розрахунок потужності
%-----

% Очищуємо пам'ять, робочу область і вікно коду
clear all; clc;

A_0=8; % несуча амплітуда
A_n=2; % нижня бічна амплітуда
A_v=2; % верхня бічна амплітуда
M_am=0.5; % коефіцієнт модуляції

P_0=power(A_0,2)/2; % потужність несучої смуги
P_n=(power(A_n,2)*power(M_am, 2))/8; % потужність нижньої бічної
% смуги
P_v=(power(A_v,2)*power(M_am, 2))/8; % потужність верхньої бічної
% смуги
P_am=P_0 + P_n + P_v; % середня потужність модульованого сигналу


```

P_0	32
P_am	32.2500
P_n	0.1250
P_v	0.1250

```

%-----
% Розрахунок коефіцієнта модуляції
%-----

% Очищуємо пам'ять, робочу область і вікно коду
clear all; clc;

A_1=4; % вхідна амплітуда
A_0 =8; % несуча амплітуда

M_am=A_1/A_0; % коефіцієнт модуляції

```

 M_am 0.5000

```
%-----  
% Амплітудна модуляція  
%-----  
  
clc;  
close all;  
clear all;  
  
m = 1;  
  
Am = 4; % Амплітуда інформаційного сигналу  
fa = 5000; % Частота інформаційного сигналу  
Ta = 1/fa;  
t = 0:Ta/999:6*Ta;  
ym = Am*sin(2*pi*fa*t);  
figure(1)  
subplot(411)  
plot(t,ym)  
xlabel('Час (с)');  
ylabel('Амплітуда (В)');  
title('Модульований сигнал')  
  
% Несучий сигнал  
  
Ac = Am/m;  
fc = fa*5;  
Tc = 1/fc;  
yc = Ac*sin(2*pi*fc*t);  
subplot(412)  
plot(t,yc)  
grid on;  
xlabel('Час (с)');  
ylabel('Амплітуда (В)');  
title('Несучий сигнал')  
  
% АМ сигнал
```

					BB71.050004.001	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

```

y = Ac + (1+m*sin(2*pi*fa*t)).*sin(2*pi*fc*t);

subplot(413)
plot(t,y)
envelope(y,5,'peak')
legend('АМ сигнал','Обвідна')
title('Амплітудно-модульований сигнал')
xlabel('Час (с)');
ylabel('Амплітуда (В)');
grid on;

% Спектр АМ сигналу
am_spectrum=fft(y);
subplot(414);
stem(t,fftshift(abs(am_spectrum)))
xlabel('Частота (кГц)');
ylabel('Амплітуда (В)');
title('Спектр АМ сигналу');

%-----
% Графік залежності X від Y
%-----
% Очищуємо пам'ять, робочу область і вікно коду
clear all; clc;

x_values=[0.2,0.4,0.6,0.8,1.0,1.2,1.4,1.6,1.8]; % Задаємо значення X
y_values=[8.0016,8.0256,8.1296,8.4096,9,10.0736,11.8416,14.5536,18.4
976]; % Задаємо значення Y

plot(x_values,y_values) % Будуємо графік
title('Залежність потужності спектра від зміни коефіцієнта
модуляції')
xlabel('Коефіцієнт модуляції')
ylabel('Потужність')

```

```

%-----
% Розрахунок ефективності потужності
%-----
% Очищуємо пам'ять, робочу область і вікно коду
clear all; clc;

P_am=14.5536; % потужність АМ сигналу
P_n=3.2768; % потужність нижньої бічної смуги
P_v=3.2768; % потужність верхньої бічної смуги

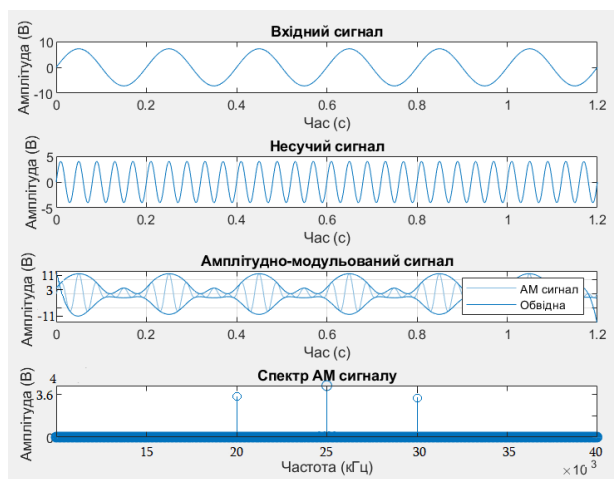
efficiency=(P_n+P_v)*100/P_am;

```

					BB71.050004.001	Арк.
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Графічні результати (часові та спектральні діаграми) у вигляді Screenshot

$$m_{AM} = 1.8$$



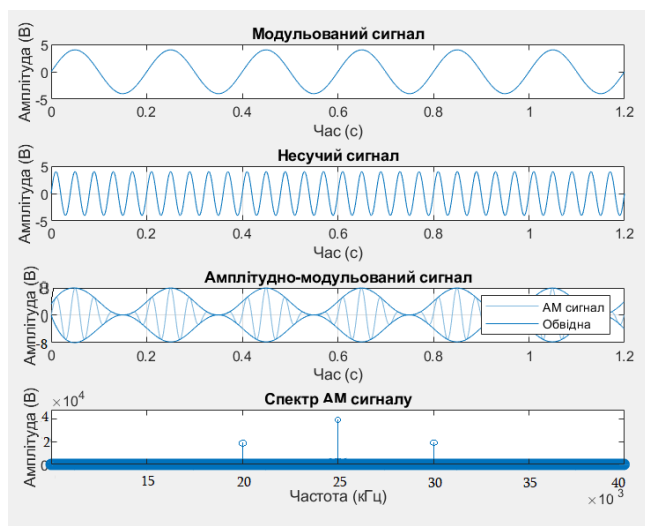
На діаграмах зображено
вихідний сигнал (7.2В),
несучий сигнал (4В),
модульований сигнал
(11В) та спектр АМ
сигналу з

$$A_0 = 4, A_H = A_B = 3.6 \text{ В}$$

$$f_0 = 25 \text{ кГц}, f_H = 20 \text{ кГц},$$

$$f_B = 30 \text{ кГц}$$

$$m_{AM} = 1$$



На діаграмах зображено
вихідний сигнал (4В),
несучий сигнал (4В),
модульований сигнал (8В)

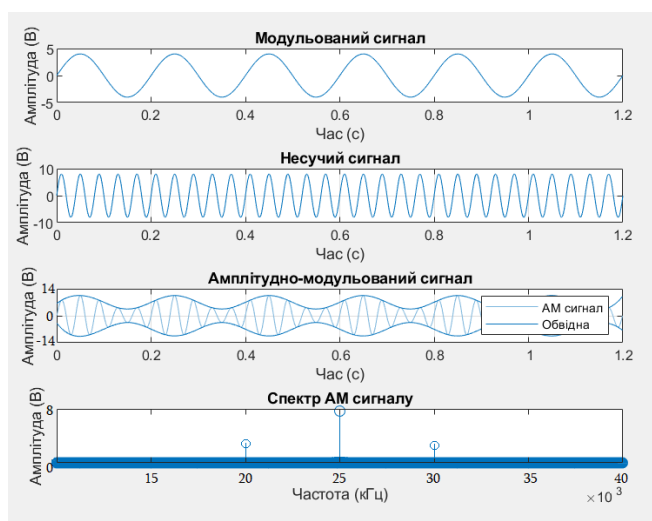
та спектр АМ сигналу з

$$A_0 = 4, A_H = A_B = 2 \text{ В};$$

$$f_0 = 25 \text{ кГц}, f_H = 20 \text{ кГц},$$

$$f_B = 30 \text{ кГц}$$

$$m_{AM} = 0.5$$



На діаграмах зображено
вихідний сигнал (4В),
несучий сигнал (8В),
модульований сигнал
(12В) та спектр АМ
сигналу з

$$A_0 = 8, A_H = A_B = 2 \text{ В}$$

$$f_0 = 25 \text{ кГц}, f_H = 20 \text{ кГц},$$

$$f_B = 30 \text{ кГц}$$

Числові значення потужності спектра АМ сигналу

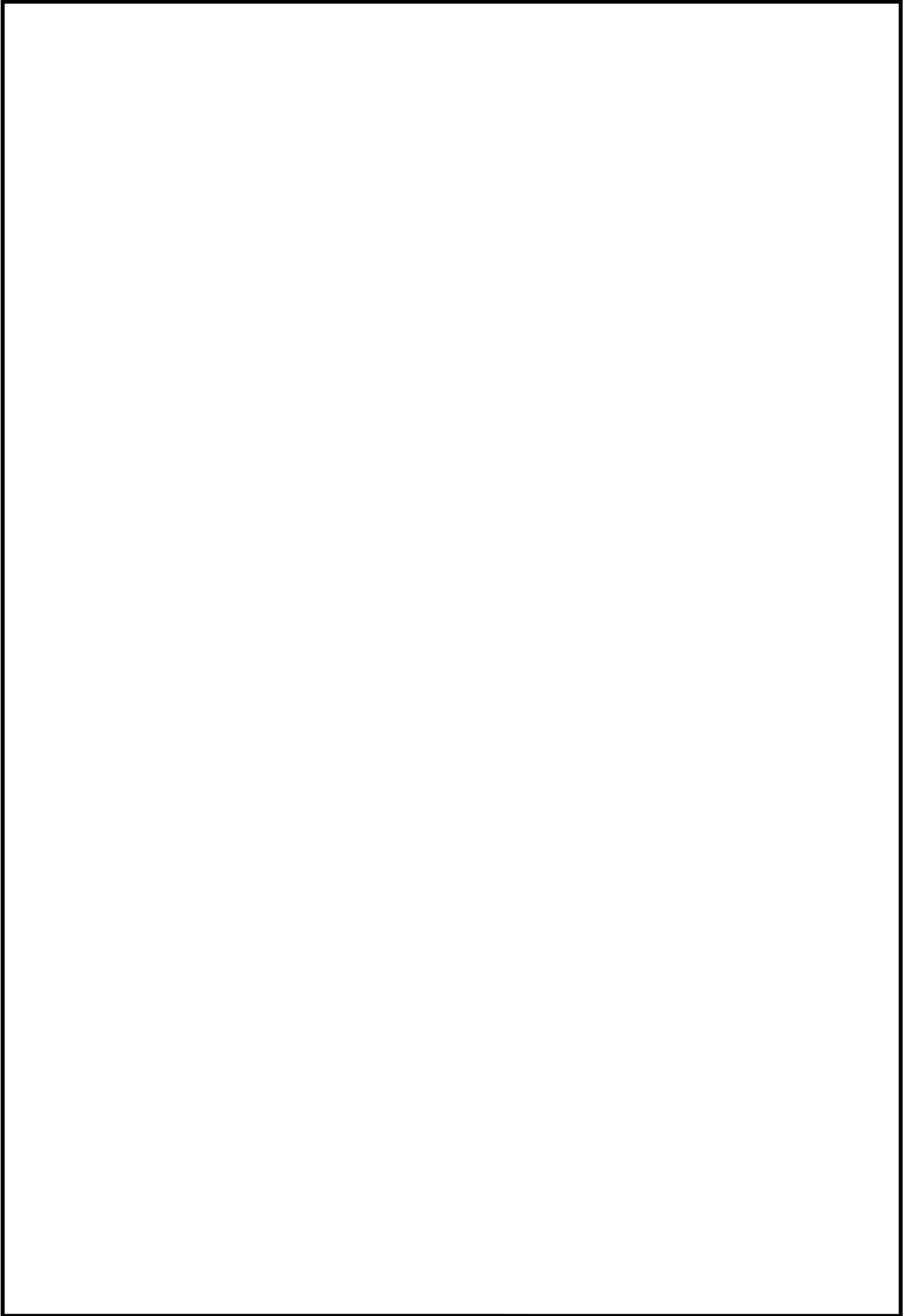
Таблиця 6

Коефіцієнт модуляції m_{AM}	Потужність P_{AM} , Вт	Потужність P_0 , Вт	Потужність P_H , Вт	Потужність P_B , Вт
0.2	8.0016	8.00	0.0008	0.0008
0.4	8.0256	8.00	0.0128	0.0128
0.6	8.1296	8.00	0.0648	0.0648
0.8	8.4096	8.00	0.2048	0.2048
1.0	9.0000	8.00	0.5000	0.5000
1.2	10.0736	8.00	1.0368	1.0368
1.4	11.8416	8.00	1.9208	1.9208
1.6	14.5536	8.00	3.2768	3.2768
1.8	18.4976	8.00	5.2488	5.2488

Числові значення коефіцієнту модуляції АМ сигналу

Таблиця 5

Коефіцієнт модуляції m_{AM}	Амплітуда A_1 , В	Амплітуда A_0 , В
0.2	0.8	4.00
0.4	1.6	4.00
0.6	2.4	4.00
0.8	3.2	4.00
1.0	4.0	4.00
1.2	4.8	4.00
1.4	5.6	4.00
1.6	6.4	4.00
1.8	7.2	4.00



					BB71.050004.001	Арк.
						79
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		