

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ПРИЛАДОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

«На правах рукопису»

УДК 004.891:004.946:681.518.5

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
_____ В.С. Єременко

“ _ ” _____ 2019р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»
на тему: «Метод та система відтворення зразкових сигналів»

Виконав: студент VI курсу, групи ВВ-81мп

Шуба Богдан Миколайович

Науковий керівник

завідувач кафедри ІВТ, д.т.н., професор, Єременко В.С.

Консультант з розділу «Розробка стартап-проектів»

д.с.н., доцент Бояринова К.О.

Рецензент

завідувач кафедри АЕД, д.т.н., професор, Туз Ю.М.

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

Київ – 2019 року

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 130 с., 70 рис., 29 табл., 1 додаток, 24 джерел.

Сучасні композиційні матеріали (КМ) за своїми основними параметрами, таким як питома міцність, надійність, жаро- і ерозійна стійкість, значно перевершують метали і сплави з них. КМ широко використовує авіаційна промисловість. Дуже високі вимоги пред'являються до надійності продукції з КМ, оскільки аварійність авіаційного транспорту може залежати від їх технічного стану. Внаслідок неоднорідності, КМ мають багато можливих типів дефектів, крім того, при різних навантаженнях однакові дефекти можуть поводитися по-різному.

Мета роботи – розробка методу та системи відтворення зразкових сигналів.

Об'єкт дослідження – процес аналізу, формування та синтезу зразкових сигналів.

Для досягнення поставленої мети передбачається вирішення наступних задач:

1. Проаналізувати ефективність використання даної системи як складової налаштування дефектоскопів та систем діагностики.
2. Удосконалити метод аналізу вхідних сигналів.
3. Розробити метод відтворення зразкових сигналів на основі вхідних сигналів.

Предмет дослідження – методи та моделі аналізу, формування та синтезу інформаційних сигналів.

Методи дослідження – методи комп'ютерного моделювання, методи статистики, методи обробки сигналів, методи прямого синтезу.

Наукова новизна:

1. Вперше розроблено метод аналізу сигналів з використанням перетворення Хартлі, яке дає змогу пошуку найбільш інформативних спектральних складових заданої кількості.

2. Вперше розроблено метод синтезу сигналів на основі сплайн-інтерполяції спектральних складових певної кількості сигналів, що дає можливість отримати інформаційний сигнал проміжної форми.

Практична значущість розробленої системи полягає у тому, що виключає потребу проведення експериментів на реальних зразках та їхнє виготовлення, що призводить до зменшення часових, технічних та економічних витрат.

За даною темою магістерської дисертації наявні дві публікації:

1. Стаття «ВИРТУАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА МОНОИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ», яка була опублікована у збірнику праць XIV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні».

2. Стаття «СИСТЕМА АНАЛІЗУ І СИНТЕЗУ СИГНАЛІВ ІЗ ЗАДАНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ», яка була опублікована у збірнику праць XII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування».

Ключові слова: *віртуальний інструмент, відтворення сигналів, дефектність, інформаційний сигнал, дискретне перетворення Хартлі, синтез, спектральні складові, сплайн-інтерполяція, LabVIEW.*

ABSTRACT

Report on research: 130 pages, 70 drawings, 29 tab., 1 additional, 24 sources.

Modern composite materials (KM) in their basic parameters, such as specific strength, reliability, heat and erosion resistance, are far superior to metals and alloys. KM is widely used by the aviation industry. Very high demands are placed on the reliability of products from KM, since the accident of aviation transport may depend on their technical condition. Due to the heterogeneity, CMs have many possible types of defects, in addition, under different loads, the same defects may behave differently.

The purpose of the work is to develop a method and system for reproducing sample signals.

The object of study is a the process of analysis, formation and synthesis of sample signals.

To achieve this goal, the following tasks are envisaged:

1. To analyze the efficiency of using this system as a component of tuning of flaw detectors and diagnostic systems.
2. Improve the method of analysis of input signals.
3. Develop a method of playing sample signals based on the input signals.

The subject of research are methods and models of analysis, formation and synthesis of information signals.

Research Methods are Computer simulation methods, statistics methods, signal processing methods, direct synthesis methods.

Scientific novelty:

1. For the first time, a method of signal analysis using the Hartley transform has been developed, which makes it possible to find the most informative spectral components of a given number.

2. A method of signal synthesis based on spline interpolation of spectral components of a certain number of signals was developed for the first time, which makes it possible to obtain an intermediate information signal.

The practical significance of the developed system is an elimination of using experiments on real samples and their production, which reduces time, technical and economic costs.

There are two publications on the topic of the master's thesis:

1. Article "VIRTUAL INSTRUMENT FOR ANALYSIS AND SYNTHESIS OF MONO IMPULSE SIGNALS", which was published in the Proceedings of the XIV All-Ukrainian Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduate Students and Young Adults.

2. The article "SYSTEM OF ANALYSIS AND SYNTHESIS OF SIGNALS WITH SPECIFIED CHARACTERISTICS", which was published in the Proceedings of the XII All-Ukrainian Scientific-Practical Conference of Students, Graduate Students and Young Scientists "Looks into the Future."

Keywords: *defect, Hartley discrete transformation, information signal, LabVIEW, signal reproduction, spectral components, spline interpolation, synthesis, virtual instrument.*

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	9
ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ	12
1.1. Загальний огляд будови систем збору даних та генераторів сигналів довільної форми	12
1.2. Огляд існуючих методів синтезу сигналів із заданими характеристиками	17
1.3. Огляд приладів для формування сигналів з заданими характеристиками	
1.4. Огляд програмних компонентів приладів для синтезу сигналів заданої форми	19
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1	25
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА МЕТОДУ СИНТЕЗУ СИГНАЛІВ З ЗАДАНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ	37
2.1. Вибір базису перетворення моноімпульсних сигналів	
2.2. Інтерполяція спектральних складових	38
2.3. Розроблений метод синтезу зразкових сигналів	45
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2	53
РОЗДІЛ 3 СИСТЕМА ВІДТВОРЕННЯ ЗРАЗКОВИХ СИГНАЛІВ	55
3.1. Структурна схема системи відтворення зразкових сигналів	56
3.2. Апаратні засоби системи відтворення зразкових сигналів	56
3.3. Програмне забезпечення системи відтворення зразкових сигналів	57
3.4. Результати експериментальних досліджень	64
3.5. Аналіз метрологічних характеристик системи відтворення зразкових сигналів	83
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3	93
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «СИСТЕМА ВІДТВОРЕННЯ ЗРАЗКОВИХ СИГНАЛІВ»	97
4.1. Опис ідеї проекту	98

4.2. Технологічний аудит ідеї проекту	98
4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту	100
4.4. Розроблення ринкової стратегії проекту	101
ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 4	109
ВИСНОВКИ	116
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	117
ДОДАТОК А	118
	121

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

ВІ – віртуальний інструмент

КМ– композиційні матеріали

МНУ – метод низькошвидкісного удару

ОМР – одиниці молодшого розряду

ПК – персональний комп'ютер

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач

DAQ – Data Acquisition

ВСТУП

Сучасні композиційні матеріали (далі КМ) значно перевершують метали і сплави з їх використання за своїми основними параметрами, таким як питома міцність, надійність, жаро- і ерозійна стійкість. В авіаційній промисловості широко використовуються КМ. Дуже високі вимоги пред'являються до надійності продукції з КМ, оскільки аварійність авіаційного транспорту може залежати від їх технічного стану [1]. Через неоднорідності, КМ мають багато можливих типів дефектів, крім того, при різних навантаженнях однакові дефекти можуть вести себе по-різному.

Синтезовану міру для оцінювання характеристик досліджуваних об'єктів можна розглядати як образ сигналу або сигнального поля, отриманого з використанням програмного компоненту, побудованого на основі апріорної інформації про закономірності зміни характеристик інформаційного сигналу при відповідній зміні стану досліджуваного об'єкта. Знання про характер змін інформаційних сигналів можуть бути отримані або експериментальним шляхом з використанням еталонних зразків (фізичних мір) або на основі математичного моделювання - побудови функціональної залежності зміни інформативної ознаки від зміни стану. Для побудови таких мір, було розроблено метод та систему відтворення зразкових сигналів.

Метою роботи є розробка методу та системи відтворення зразкових сигналів для налаштування дефектоскопів та систем діагностики.

Для досягнення поставленої мети передбачається вирішення наступних завдань:

1. Проаналізувати ефективність використання даної системи як складової налаштування дефектоскопів та систем діагностики.
2. Удосконалити метод аналізу вхідних сигналів.
3. Розробити метод відтворення зразкових сигналів на основі вхідних сигналів.

Об'єктом дослідження є процес аналізу, формування та синтезу інформаційних сигналів.

Предметом дослідження виступають методи та моделі аналізу, формування та синтезу інформаційних сигналів.

Для досягнення поставлених цілей у роботі використано методи комп'ютерного моделювання, методи статистики, методи обробки сигналів, методи прямого синтезу.

Під час виконання роботи було вперше розроблено метод аналізу сигналів з використанням перетворення Хартлі, яке дає змогу для пошуку найбільш інформаивних спектральних складових заданої кількості. Також було вперше розроблено метод синтезу сигналів на основі лінійної інтерполяції спектральних складових двох сигналів, що дає можливість отримати інформаційний сигнал проміжної форми.

Практична значущість розробленої системи полягає у тому, що виключає потребу проведення експериментів на реальних зразках та їхнє виготовлення, що призводить до зменшення часових, технічних та економічних витрат.

В задачах діагностики виробів з КМ за умови обмеженої кількості еталонних зразків, наявності інструмента, за допомогою якого відбувається синтез інформаційних сигналів дефектоскопа, характерних для об'єктів з різними типами дефектів або ступенями пошкодженості, має велике значення, оскільки дає змогу вирішити одночасно декілька задач. По-перше, існування такого інструмента дозволяє побудувати множину інформаційних сигналів, які відповідають можливим дефектам композитів, а отже вони можуть бути використані для налаштування дефектоскопів та діагностичних систем без фізичного виготовлення еталонних зразків. По-друге, розроблений інструмент для синтезу інформаційних сигналів може використовуватись для вибору граничного значення чутливості дефектоскопа, оцінки його дієздатності і коригування основних параметрів, для визначення достовірності контролю та класифікації.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД І АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

1.1. Загальний огляд будови систем збору даних та генераторів сигналів довільної форми

1.1.1. Системи збору даних

Збір даних - це процес вибірки сигналів, що вимірюють фізичні умови реального світу та перетворення отриманих вибірок у цифрові числові значення, якими може керувати комп'ютер. Системи збору даних, часто позначаються як DAQ (Data Acquisition), зазвичай перетворюють аналогові сигнали в цифрові значення для подальшої обробки [2].

Компоненти систем збору даних включають в себе (рис. 1.1):

- датчики для перетворення фізичних параметрів в електричні сигнали;
- схеми нормування та фільтрації для приведення сигналу з датчика в форму, яка може бути перетворена в цифрові значення;
- аналого-цифрові перетворювачі для перетворення пронормованих та відфільтрованих сигналів датчика в цифрові значення.

Додатки для збору даних зазвичай управляються програмами, розробленими з використанням різних мов програмування загального призначення, таких як Assembly, BASIC, C, C++, C #, Fortran, Java, LabVIEW, Lisp, Pascal і та інші.

Існують також пакети програмного забезпечення з відкритим кодом, що надають усі необхідні інструменти для збору даних з різного устаткування. Ці інструменти походять від наукового співтовариства, де складний експеримент вимагає швидкого, гнучкого та адаптивного програмного забезпечення. Ці пакети зазвичай підганяються під замовлення, але більш загальні пакети DAQ, як-от Максимально інтегрована система збору даних, можна легко підганяти та застосовувати в кількох експериментах з фізики у всьому світі.

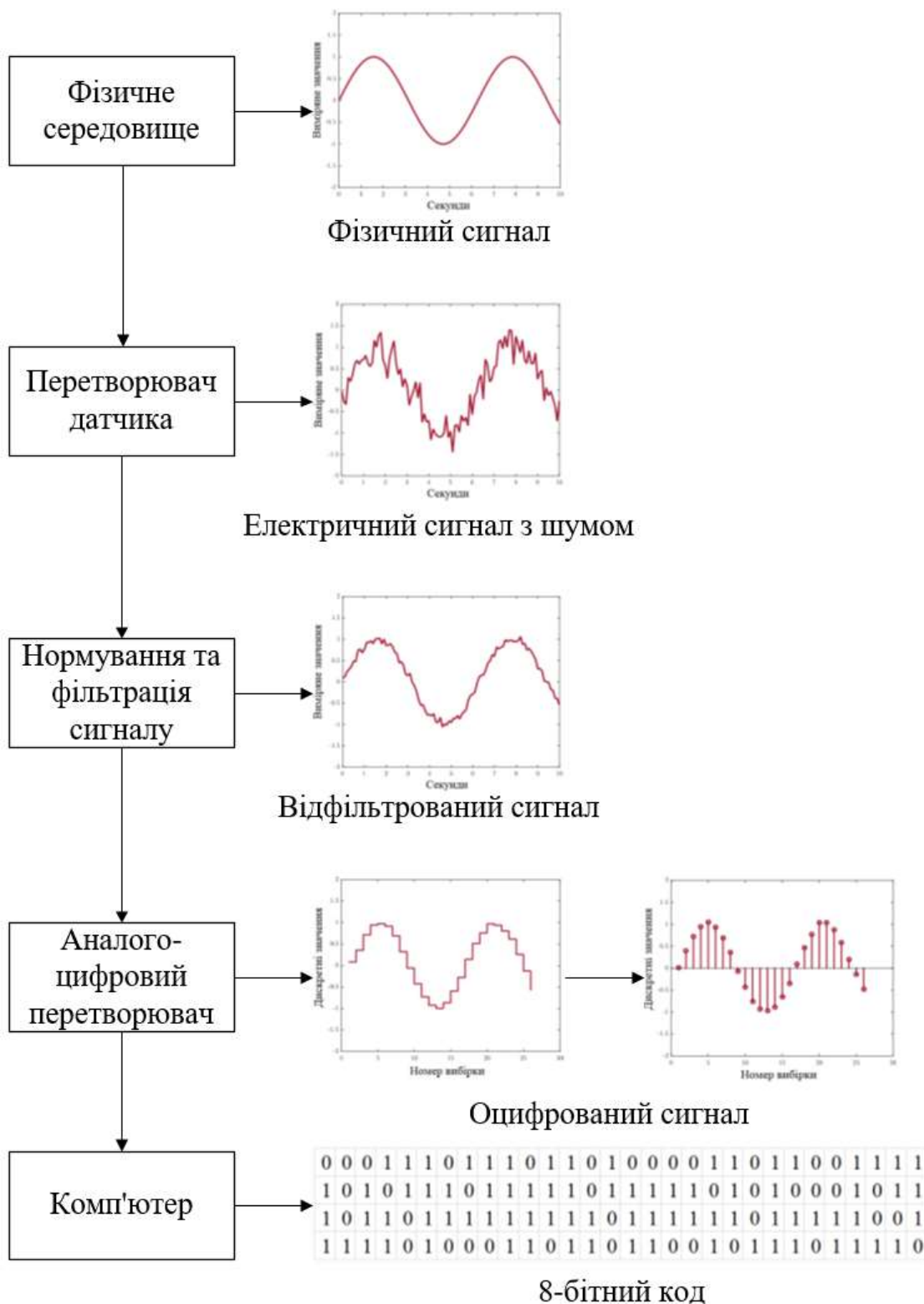


Рис. 1.1 Блок-схема системи збору цифрових даних

Апаратне забезпечення DAQ - це те, що зазвичай взаємодіє між сигналом та ПК. Воно може бути у вигляді модулів, які можна підключити до портів комп'ютера (паралельний, послідовний, USB) або у вигляді карт, підключених до

слотів материнської плати (шина S-100, AppleBus, ISA, MCA, PCI, PCI-E). Зазвичай місця на задній панелі PCI-картки не вистачає для всіх необхідних підключень, тому потрібне зовнішнє комутаційний блок. Кабель між цією коробкою та ПК може бути дорогим завдяки безлічі проводів та необхідності екранування.

Карти DAQ часто містять декілька компонентів (мультиплексор, АЦП, ЦАП, транзисторно-транзисторна логіка вводу-виводу, високошвидкісні таймери, оперативна пам'ять). Вони доступні через шину з допомогою мікроконтролера, який може працювати невеликі програми. Контролер є більш гнучким, ніж жорстка провідна логіка, але при цьому дешевший, ніж процесор, так що допустимо блокувати його простими петлями опитування. Наприклад: Очікування тригера, запуск АЦП, пошук часу, очікування закінчення АЦП, переміщення значення в оперативну пам'ять, перемикання мультиплексора, отримання вводу TTL, нехай DAC переходить до пандуса напруги.

1.1.2. Будова генераторів сигналів довільної форми

Генератори сигналів довільної форми (англ. - Arbitrary Waveform Generator (AWG)) є найбільш гнучкими серед всіх генераторів. Ці прилади можуть генерувати будь-які математично описані сигнали, включаючи синусоїдальні, імпульсні, модульовані, багатотональні, поляризовані сигнали. Генератор сигналів довільної форми є досить універсальними, оскільки може виконувати функції генераторів будь-якого іншого типу [3]. Типова структурна схема генератора сигналів довільної форми показана на рисунку 1.2.

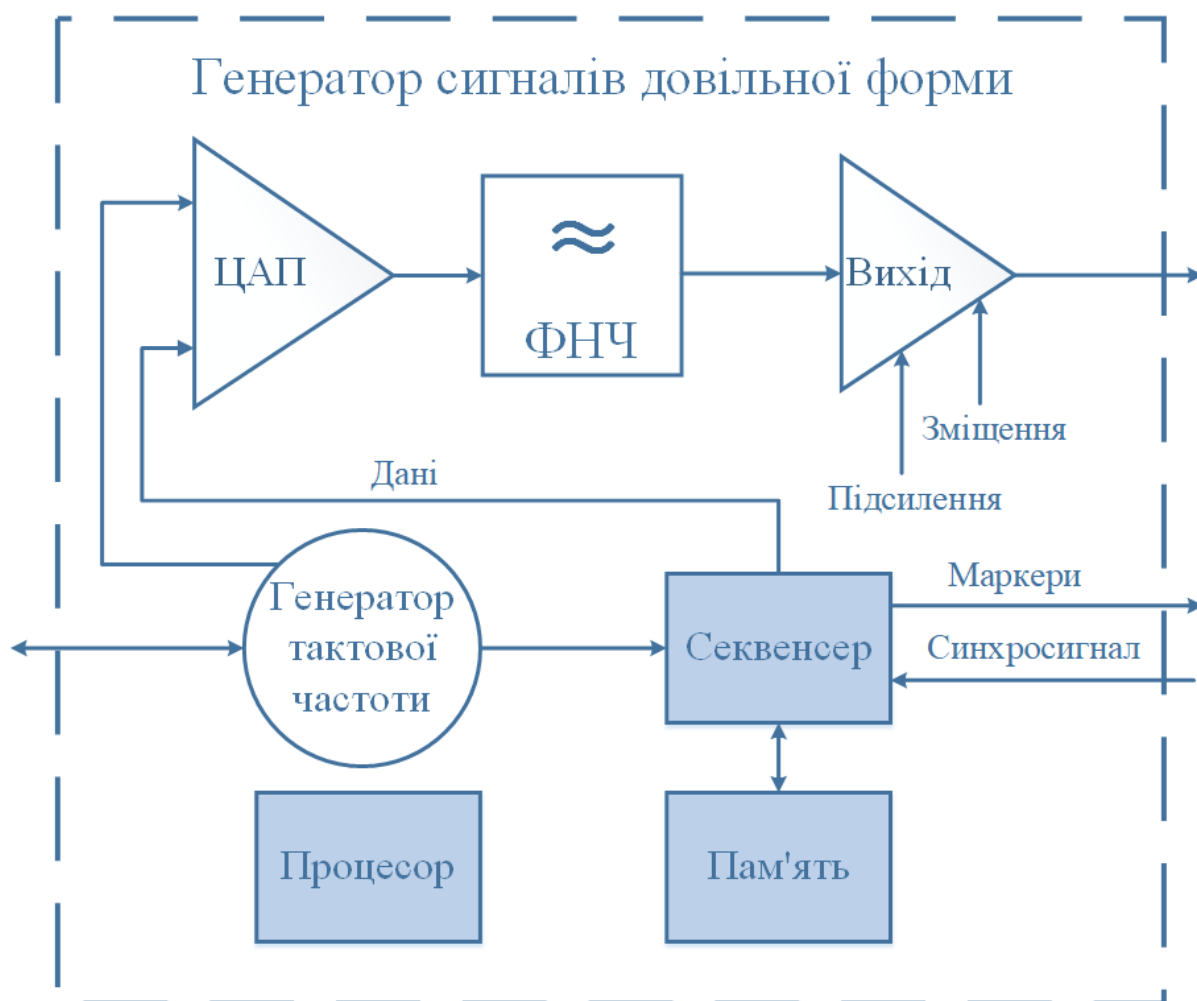


Рис. 1.2 Типова структурна схема генератора сигналів довільної форми

Спочатку цифровий опис сигналу витягується з пам'яті. Потім вибірки сигналу надходять на цифро-аналоговий перетворювач, фільтруються, підсилюються і виводяться у вигляді аналогового сигналу.

Більш детально про роботу функціональних блоків генератора сигналів довільної форми

Розпочнемо з блоку пам'яті. Сигнал у цифровому вигляді може завантажуватися в пам'ять генератора сигналів довільної форми з різних програмних додатків, таких як MATLAB, LabView, Visual Studio Plus, IVI і SCPI. Пам'ять тактується з максимальною частотою дискретизації, яку підтримує генератор. Об'єм пам'яті визначає максимальний час відтворення сигналу. Для визначення часу відтворення можна скористатися простим правилом: потрібно

розділити обсяг пам'яті на частоту дискретизації. Чим вища частота дискретизації, тим швидше буде витрачатися пам'ять.

Секвенсер може вирішити проблему обмеженого обсягу пам'яті, дозволяючи будувати сигнал з окремих сегментів. Для цього секвенсеру потрібно витягувати з пам'яті тільки ключові фрагменти сигналу, а не зчитувати її постійно. Секвенсер зчитує з пам'яті тільки переходи сигналу, і не звертається до неї, коли сигнал не змінюється. Синхронізація підтримується генератором синхросигналу, який вмикає відтворення в потрібні моменти. Синхроподія може бути внутрішньою, зовнішньою або надходити з іншого генератора.

Виходи маркерів потрібні для синхронізації зовнішнього обладнання. Входи синхросигналів використовуються для зміни режиму роботи секвенсера, що призводить до подачі на ЦАП сигналу потрібної форми. У додатках, що вимагають точної синхронізації (наприклад, для створення широкосмугових лінійночастотномодульованих сигналів) можуть використовуватися апаратні або програмні синхроподії. Крім того, їх можна використовувати для синхронізації декількох генераторів, які треба запускати одночасно.

Генерація сигналу виконується під управлінням внутрішнього або зовнішнього джерела тактової частоти. Контролер пам'яті зберігає елементи сигналу в пам'яті, а потім подає їх в потрібному порядку на ЦАП. Контролер пам'яті економить місце, зациклюючи повторювані елементи, що дозволяє записувати такі елементи в пам'ять сигналу лише одноразово. Генератор тактової частоти керує роботою і ЦАП і секвенсера.

Вміст пам'яті сигналу зчитується в ЦАП. Тут цифрові значення напруги перетворюються в аналогові напруги. Розрядність ЦАП безпосередньо характеризує вертикальну роздільну здатність генератора сигналів довільної форми. Чим вище розрядність ЦАПа, тим більше вертикальна роздільна здатність, і тим більше деталей може містити вихідний сигнал. Для досягнення більшої швидкості оновлення сигналу в порівнянні зі швидкістю читання пам'яті, ЦАП можуть використовувати інтерполяцію.

Оскільки сигнал на виході ЦАП являє собою послідовність ступенів напруги, він багатий гармоніками і вимагає фільтрації для отримання згладженого синусоїдального аналогового сигналу.

Після фільтра сигнал надходить на підсилювач. Підсилювач контролює коефіцієнт посилення і зміщення. Це дає гнучкість, необхідну для налаштування амплітуди і зсуву вихідного сигналу в залежності від конкретного додатка. Наприклад, може знадобитися широкий динамічний діапазон для сигналів радіолокаційних станцій і супутникового обладнання або широка смуга для високошвидкісних і когерентних оптичних рішень.

1.2. Огляд існуючих методів синтезу сигналів із заданими характеристиками

До найбільш близьких методів синтезу сигналів із заданими характеристиками можна віднести спосіб формування сигналів довільної форми. Спосіб заснований на відновленні аналогового сигналу по його дискретним відлікам шляхом апроксимації його локальною сплайн-функцією ступеня n . У зазначеному способі M сусідніх значень вихідних відліків, що відповідають миттєвим значенням формованого сигналу, множать на відповідні постійні коефіцієнти, підсумовують і результат підсумовування перетворюють в аналогову форму за допомогою цифро-аналогового перетворювача. Отриманий на виході ЦАП ступінчастий аналоговий сигнал послідовно і безперервно інтегрують n раз. Число M і значення постійних коефіцієнтів визначаються відомим чином відповідно до конкретного методом апроксимації. Наведено варіант реалізації зазначеного способу з використанням локального сплайна другого ступеня. Для цього варіанту наведені значення постійних коефіцієнтів і число m [4].

На рисунку 1.3 представлений процес формування вихідного сигналу даним способом, а на рисунку 1.4 варіант пристрою, що реалізує запропонований спосіб на прикладі локального сплайна другого ступеня В2.

Як приклад сплайном другого ступеня відновлюється функція виду $\sin(x)/x$ (рис. 1.2). Формована функція представлена своїми вихідними дискретними відліками f_k , які перетворюються в поточні значення $H_{(k)}^{(2)}(f)$, нижче зображені сигнали U_0 , U_1 і U_2 на виходах відповідно цифро-аналогового перетворювача, першого і другого інтегратора.

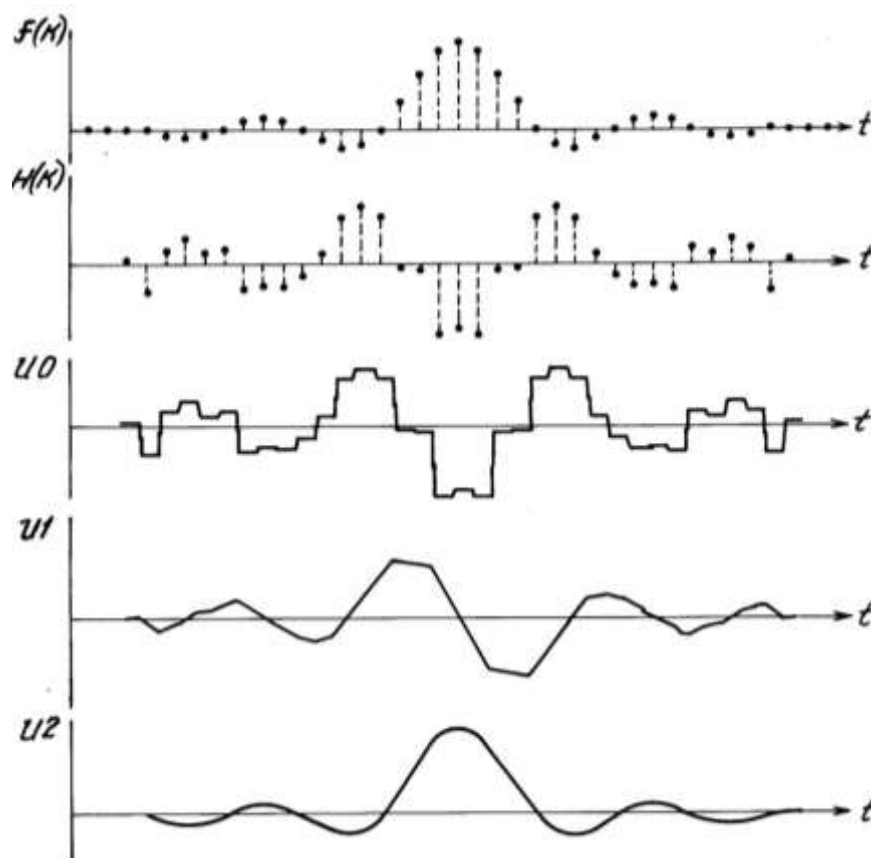


Рис. 1.3 Процес формування вихідного сигналу

Пристрій, що реалізує цей спосіб, містить пристрій 1, чотири пристрої 2.1-2.4 затримки, суматор 3, цифро-аналоговий перетворювач 4 і два інтегратора 5.1 і 5.2.

Як приклад наведено алгоритм формування сигналів, що використовує локальний сплайн другого ступеня (рис. 1.4). В даному випадку h_k знаходяться з умови точності відновлення апроксимуючою функцією многочлена ступеня не менше 2 і визначаються співвідношенням $h_k - 1/16f_{k-1} + 10/16f_k - 1/16f_{k+1}$, а

поточні значення на вході цифро-аналогового перетворювача обчислюються по п'яти вихідним відлікам.

Амплітудно-частотна характеристика пристрою має триразові нулі на частотах, кратних частоті дискретизації, що забезпечує високу ступінь зменшення шуму дискретизації. При цьому спотворення в смузі формованого сигналу незначні.

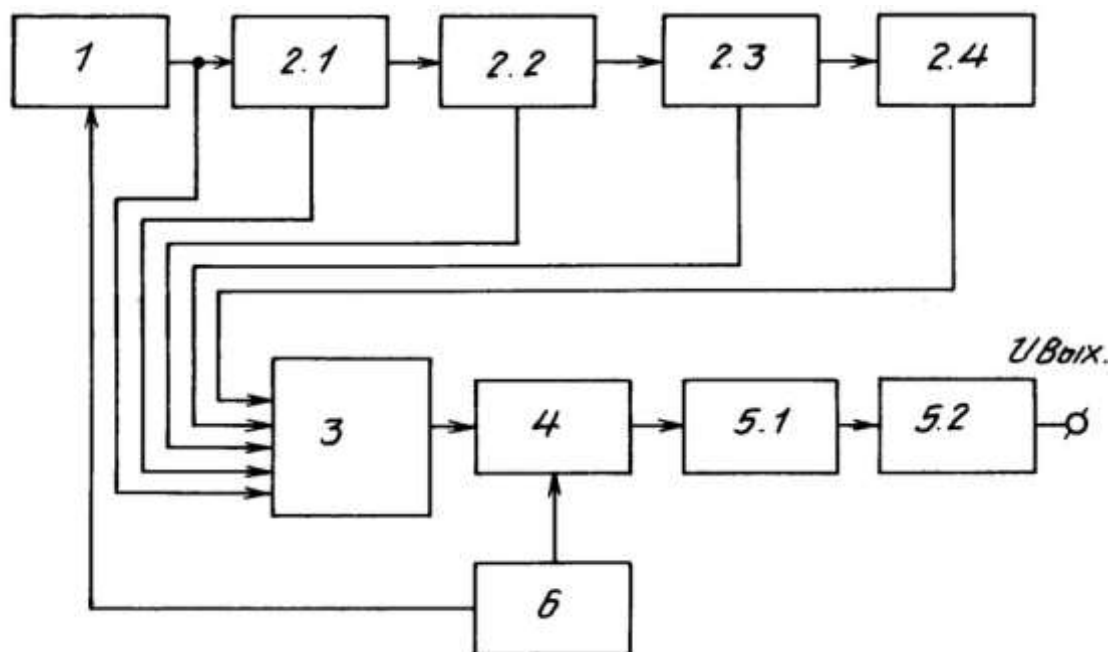


Рис. 1.4 Алгоритм формування сигналів, що використовує локальний сплайн другого ступеня

Недоліком цього способу являється мала функціональність, обмежена кількість встановлюваних параметрів синтезу інформаційних сигналів.

1.3. Огляд приладів для формування сигналів з заданими характеристиками

1.3.1. Багатофункціональні карти ADLINK серії DAQ-2500

Широкий спектр модулів збору даних ADLINK на базі ПК підтримує аналоговий вхід, вимір тензодатчиками, аналоговий вихід, цифрові входи/виходи, релейні виходи і таймер/лічильник плат. Призначені для широкого спектру застосувань і доступні в різних форм-факторах, включаючи USB, PCI, PCI Express, PXI, CompactPCI, PC/104 + і ISA, модулі збору даних ADLINK охоплюють більше ста модулів DAQ і DIO. Всі плати ADLINK підтримують NI

LabVIEW, MATLAB Data Acquisition Toolbox, Microsoft Visual Studio . і надають готові до запуску програми, що забезпечують швидкий запуск модулів збору даних ADLINK без будь-яких вимог програмування [5].

ADLINK DAQ-2501 та DAQ-2502 - це високошвидкісні та високопродуктивні багатофункціональні карти DAQ з аналоговим виходом. Пристрої здатні одночасно оновлювати до 8-канальних 12-розрядних аналогових виходів одночасно при швидкості 1 Мвиб/с (рис. 1.5). Опорні джерела та вихідні полярності програмуються для кожного каналу, в поєднанні з архітектурою помножуючого ЦАП, картки DAQ серії ADLINK DAQ-2500 можуть генерувати складні модульовані аналогові сигнали. Апаратна генерація сигналу довільної форми відбувається без втручання центрального процесора навіть тоді, коли всі аналогові виходи оновлюються на повній швидкості, а довжини сигналів обмежені лише системною пам'яттю. Серія DAQ-2500 об'єднує до 8-канальних, 400 квиб/с, 14-розрядних односторонніх аналогових входів з програмованою полярністю, 24-канальних програмованих ліній цифрового вводу-виводу і 2-канального 16-розрядного таймера/лічильники загального призначення.



Рис. 1.5 Зовнішній вигляд DAQ-2500

1.3.2. Функціональний генератор PCGU1000

Аналогічним пристроєм є PCGU1000 (рис. 1.6) - цифровий функціональний генератор для підключення до ПК через USB порт. Прилад генерує сигнали стандартної форми: синус, трикутник, меандр і ін. Форма сигналів створюється за допомогою комп'ютера і створюється в генераторі за допомогою прямого цифрового синтезу (DDS) [6].

Частотний діапазон до 2 МГц. Генератор має 2 виходи і TTL вихід що синхронізує. Діапазон вихідної напруги від 1 мВ до 10 В при 600 Ом. Всі виходи гальванічно відокремлені від ПК, щоб уникнути проблем з вимірюванням.



Рис. 1.6 Зовнішній вигляд PCGU1000

Технічні характеристики генератора:

- діапазон частот: від 0,01 Гц до 2 МГц;
- стабільність на основі кристалів;
- виходи гальванічно ізольовані від ПК;
- низьке спотворення синусоїдальної хвилі;
- два паралельних вихідних роз'єми для сигналів;

- вихід синхронізації рівня TTL;
- зберігає до 8192 точок сигналу;
- стандартні форми сигналів: синусоїдальний, прямокутний і трикутний;
- можна створити власні форми сигналів за допомогою інтегрованого редактора сигналів;
- діапазон частот розгортки від 0,0001Hz до 25MHz;
- час розгортки від 1 мс до 10 годин;
- ширина смуги в режимі шуму 25 МГц;
- розширена опція сюжетного коду разом із областю ПК;
- автоматизована генерація послідовностей хвиль, використовуючи файловий або комп'ютерний вхід RS232.

Курування PCGU1000 відбувається через програму, що встановлюється на комп'ютер. Інтерфейс програми управління генератором зображено на рисунку 1.7.

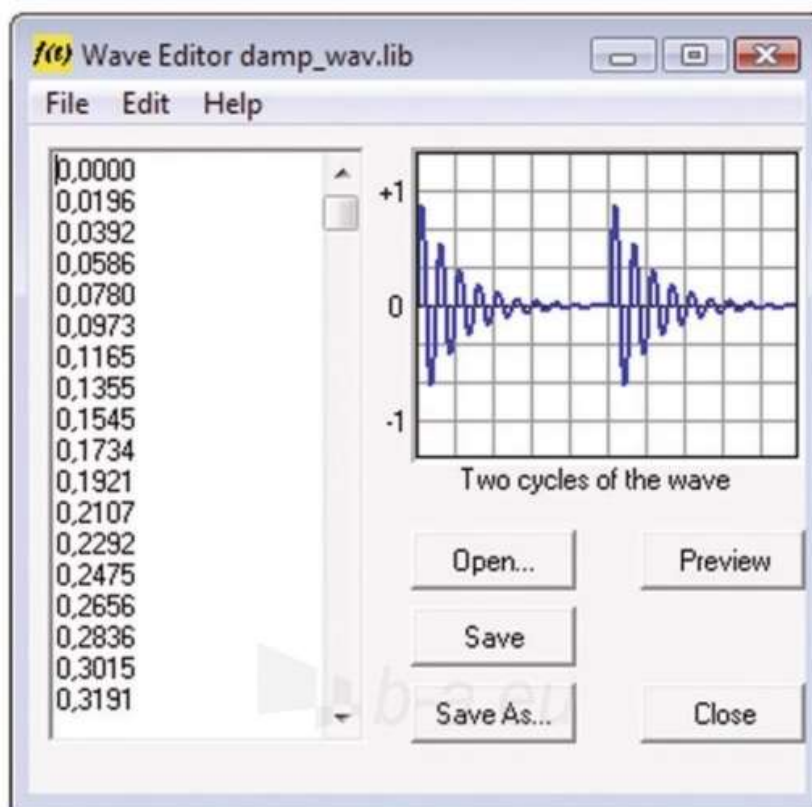


Рис. 1.7 Інтерфейс програмного забезпечення PCGU1000

Головним недоліком даного генератора є обмежена функціональність програмного забезпечення.

1.3.3. Генератори серії Tektronix AFG31000

Генератори серії Tektronix AFG31000 - це прилади, які об'єднують можливості класичного генератора стандартних функцій (AFG), можуть формувати 12 стандартних сигналів, підтримують 5 видів модуляції і містять вбудований генератор сигналів довільної форми (AWG) з великим об'ємом пам'яті на канал (рис. 1.8). На кожному генераторі вже встановлена потужна програма ArbBuilder, яка дозволяє створювати сигнали довільної форми прямо на екрані приладу [7]. Також генератори серії AFG31000 містять запатентовану функцію InstaView, яка включається окремою кнопкою на передній панелі приладу і показує реальну форму сигналів на виходах генератора з урахуванням спотворень через неузгодженість імпедансу навантаження (фактично це вбудований осцилограф).



Рис. 1.8 Зовнішній вигляд AFG31000

Основні технічні характеристики:

- моделі з 1 або 2 каналами;

- амплітуда вихідного сигналу від 1 мВ_{пк} до 10 В_{пк} при навантаженні 50 Ом;
- базовий режим (AFG):
 - синусоїдальний сигнал 25 МГц, 50 МГц, 100 МГц, 150 МГц або 250 МГц;
 - частота вибірки 250 Мвиб./с, 1 Гвиб/с або 2 Гвиб/с;
 - роздільна здатність по вертикалі 14 біт;
 - вбудовані сигнали: синусоїдальний, прямокутний, імпульсний, лінійно змінюється, шумовий і інші часто використовувані сигнали;
 - режими свіпіння, пакетний і модуляції (АМ, ЧМ, ФМ, ЧМН і ШІМ).
- розширений режим (послідовність):
 - безперервний режим (опціональні режими роботи по послідовності, з запуском або стробований);
 - пам'ять для сигналів довільної форми до 16 млн точок в кожному каналі (128 млн точок опціонально);
 - послідовність до 256 кроків з циклами сигналів, переходами і очікуванням;
 - змінна частота вибірки від 1 мквиб/с до 2 Гвиб/с.

Області застосування:

- перспективні дослідження;
- формування тактової частоти і системна синхронізація;
- відтворення реальних сигналів;
- вимірювання характеристик і перевірка компонентів і схем;
- розробка і тестування вбудованих систем;
- генерування сигналів для загальних цілей тестування.

1.4. Огляд програмних компонентів приладів для синтезу сигналів заданої форми

1.4.1. Програмне забезпечення ArbExpress

ArbExpress - це інструмент для створення та редагування сигналів для пристроїв Tektronix AWG та AFG. Він забезпечує простий у використанні та ефективний спосіб створення та редагування форми сигналів, передачу сигналів до та з генераторів довільної форми сигналів (AWG) та генераторів довільних / функціональних (AFG) та віддаленого керування AWG та AFG. Він може імпортувати форми хвиль з осцилоскопів Tektronix та конвертувати їх у формати файлів AWG / AFG [8].

При створенні форми сигналу застосовується простий графічний редактор (рис. 1.9).

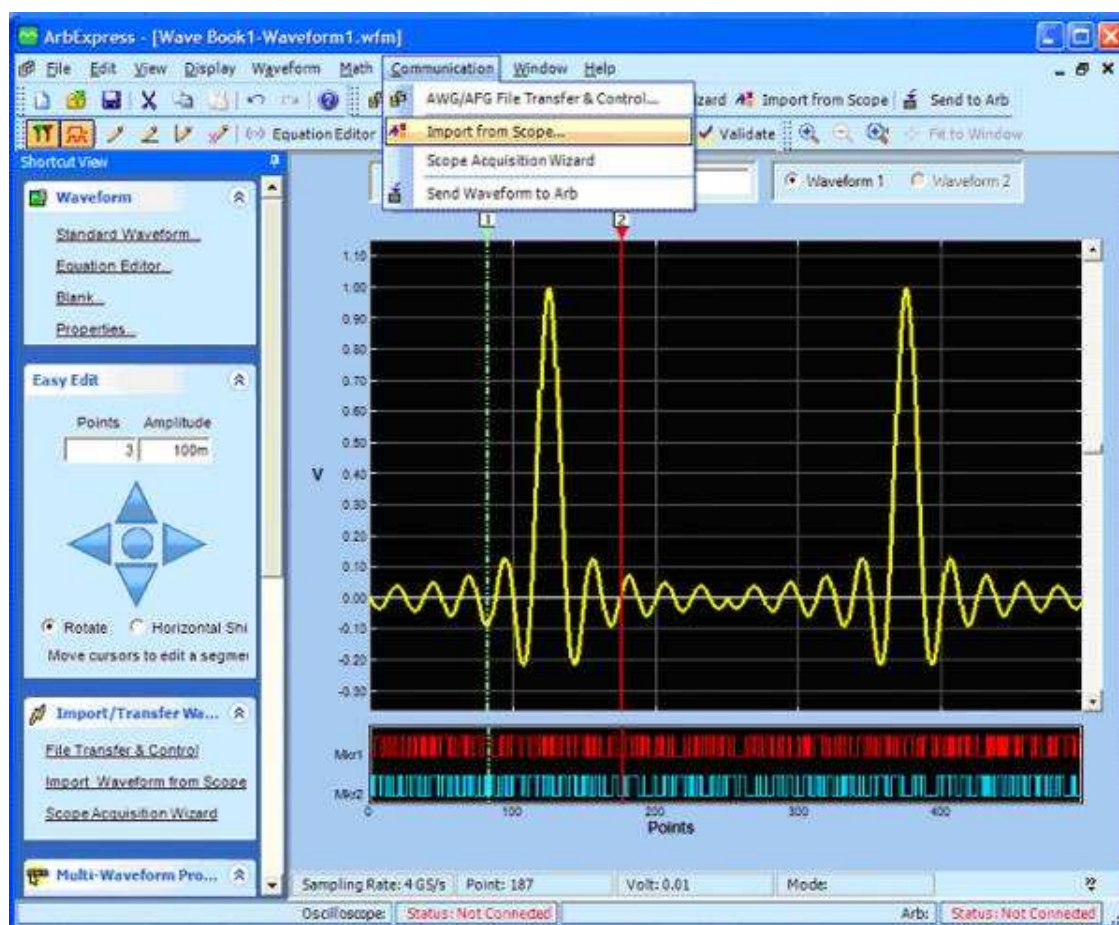


Рис. 1.9 Інтерфейс програмного забезпечення ArbExpress

Він дозволяє представляти форму сигналів по точках і здійснювати протяжку ліній олівцем довільним чином, по вертикалі або горизонталі, а також лінійну або сплайн-інтерполяцію форми сигналів в проміжку між точками. Відповідні типи олівців можна знайти на панелі інструментів і в позиції Edit меню.

У позиції Math меню є команди математичних операцій і нормалізації кривих. Команда Waveform Math дозволяє виконувати ряд математичних операцій із заданою формою сигналу і допоміжної залежністю. Це робиться у відкритому вікні математичних операцій. Вікно містить три вікна з графіками сигналів - основним, допоміжним і результуючим. У лівій частині представлена зона Math Source вибору допоміжного сигналу (з бібліотеки або у вигляді скалярного сигналу), операцій (додавання, віднімання, множення і ділення), вікно завдання опції роботи тільки з областями сигналу, виділеними курсором і, нарешті, кнопки завершення роботи OK, виходу.

1.4.2. Пакет прикладних програм MATLAB та графічне середовище моделювання Simulink

MATLAB - це високорівнева мова і інтерактивне середовище для програмування, чисельних розрахунків і візуалізації результатів. За допомогою MATLAB можна аналізувати дані, розробляти алгоритми, створювати моделі і програмні додатки [9].

Simulink - це графічне середовище імітаційного моделювання, що дозволяє за допомогою блок-діаграм у вигляді направлених графів, будувати динамічні моделі, включаючи дискретні, безперервні і гібридні, нелінійні і розривні системи (рис. 1.10).

Інтерактивне середовище Simulink, дозволяє використовувати вже готові бібліотеки блоків для моделювання електросилових, механічних і гідравлічних систем, а також застосовувати розвинений модельно-орієнтований підхід при розробці систем управління, засобів цифрового зв'язку і реальних пристроїв [10].

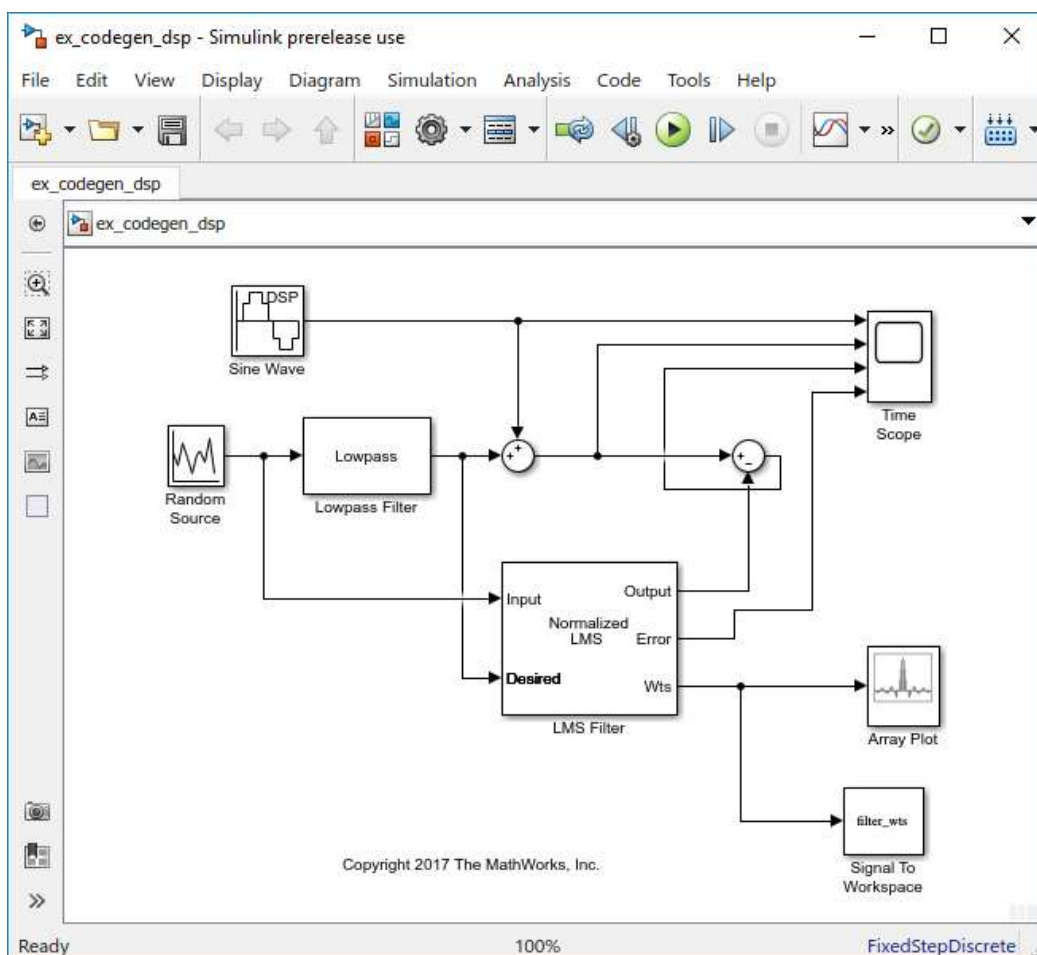


Рис. 1.10 Приклад програми генерації сигналу за допомогою Simulink

Додаткові пакети розширення Simulink дозволяють вирішувати весь спектр завдань від розробки концепції моделі до тестування, перевірки, генерації коду і апаратної реалізації. Simulink інтегрований в середовище MATLAB, що дозволяє використовувати вбудовані математичні алгоритми, потужні засоби обробки даних і наукову графіку.

Особливості Simulink:

- інтерактивне графічне середовище для побудови блок-діаграм;
- розширювана бібліотека готових блоків;
- зручні засоби побудова багаторівневих ієрархічних багатокомпонентних моделей;
- засіб навігації і налаштування параметрів складних моделей - Model Explorer;

- засоби інтеграції готових C/C ++, FORTRAN, ADA і MATLAB-алгоритмів в модель, взаємодія із зовнішніми програмами для моделювання;
- сучасні засоби розв'язання диференціальних рівнянь для безперервних, дискретних, лінійних і нелінійних об'єктів (в тому числі з гістерезисом і розривами);
- імітаційне моделювання нестационарних систем за допомогою вирішувачів зі змінним і постійним кроком або методом керованого з MATLAB пакетного моделювання;
- зручна інтерактивна візуалізація вихідних сигналів, засоби налаштування і задання вхідних впливів;
- засоби налагодження і аналізу моделей;
- повна інтеграція з MATLAB, включаючи чисельні методи, візуалізацію, аналіз даних і графічні інтерфейси.

MATLAB надає безліч методів для аналізу даних, розробки алгоритмів і створення моделей. Мова MATLAB включає в себе математичні функції для інженерних і наукових операцій. Вбудовані математичні функції використовують процесор-оптимізовані бібліотеки, призначені для прискорення векторних і матричних обчислень. Доступні наступні операції:

- інтерполяція і регресія;
- диференціювання та інтегрування;
- системи лінійних рівнянь;
- Фур'є аналіз;
- власні значення і сингулярні числа матриць;
- звичайні диференціальні рівняння;
- розріджені матриці.

Мова MATLAB від початку має підтримку векторних і матричних операцій, які необхідні для вирішення інженерних і наукових завдань, і призначена для швидкої розробки та запуску. За допомогою мови MATLAB можна писати програми і алгоритми швидше, ніж на традиційних мовах програмування, тому що немає необхідності таких низькорівневих організаційних операцій як оголошення змінних, визначення типів і виділення пам'яті. У багатьох випадках перехід на векторні і матричні операції позбавляє від необхідності використання циклів `for`. В результаті один рядок MATLAB коду часто може замінити кілька рядків C/C++ коду. MATLAB має властивості традиційних мов програмування, включаючи управління потоками даних, обробку помилок і об'єктно-орієнтоване програмування (ООП). Можна використовувати основні типи даних, складні структури даних або визначати призначені для користувача типи. Можливість отримувати результати негайно, виконуючи команди по одній за раз. Такий підхід дозволяє швидко досліджувати різні варіанти для отримання кращого рішення. Об'єднавши ці інтерактивні команди в скрипт або функцію можна автоматизувати їх виконання. Розширення MATLAB мають вбудовані алгоритми для обробки сигналів і зв'язку, обробки зображень і відео даних, систем управління і багатьох інших областей. Комбінуючи ці алгоритми з вашими можна реалізувати складні програми і додатки.

Signal Processing Toolbox - це пакет розширення для MATLAB, що містить набір типових функцій для цифрової і аналогової обробки сигналів (рис. 1.11).

Signal Processing Toolbox надає функції та інтерактивні додатки для аналізу, попередньої обробки і виділення ознак з сигналів з рівномірним або нерівномірним періодом дискретизації [11]. Продукт містить інструменти для аналізу та розробки фільтрів, зміни частоти дискретизації, згладжування, видалення постійної складової і оцінки спектру сигналу. Крім цього, є функції для виділення ознак, що огинають, знаходження піків і патернів в сигналі, оцінки схожості сигналів і параметрів, таких як відношення сигнал/шум або коефіцієнт спотворень. Також можливо здійснювати модальний і порядковий аналіз сигналів вібрації.

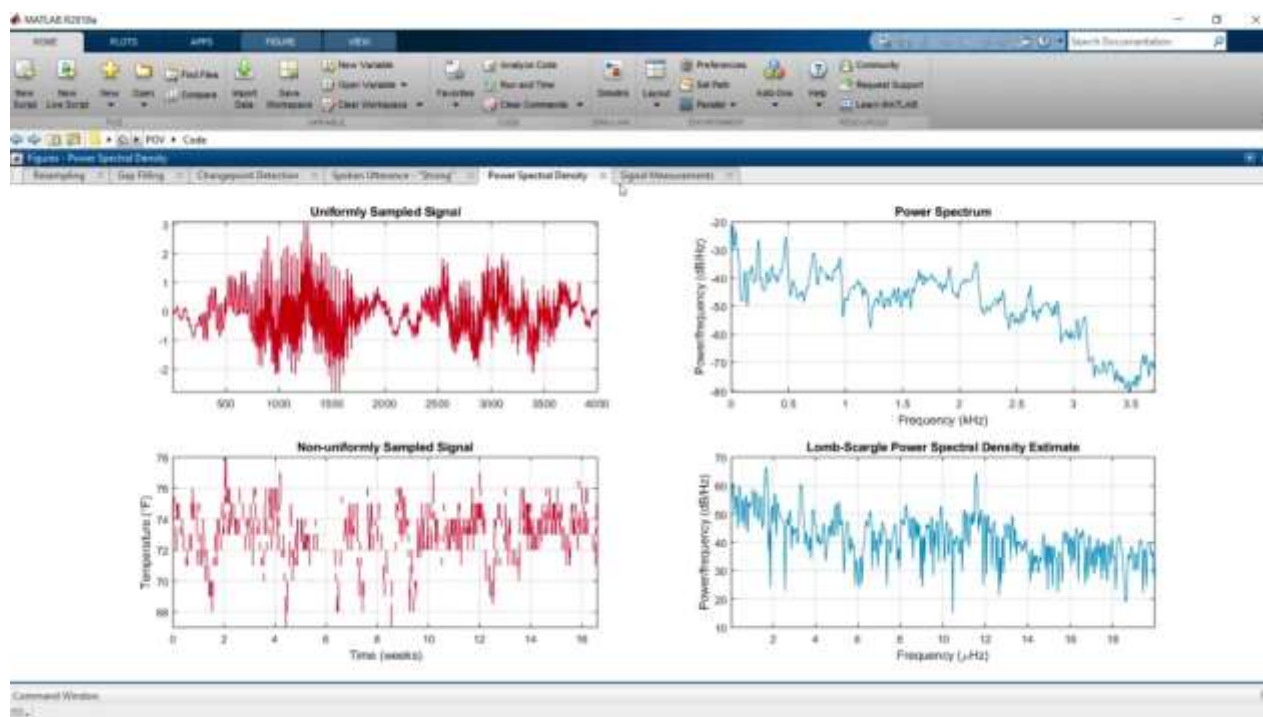


Рис. 1.11 Робота з сигналами використовуючи Signal Processing Toolbox

Додаток Signal Analyzer дає можливість займатися попередньою обробкою і аналізом декількох сигналів одночасно в часовій, частотній, і частотно-часовій областях без написання коду, вивчати тривалі (длительные) сигнали і виділяти області що зацікавили. Додаток Filter Designer дозволяє розробляти і аналізувати цифрові фільтри, вибираючи різні алгоритми і типи відгуків. З обох додатків можна згенерувати код MATLAB.

Signal Processing Toolbox містить функції, що дозволяють детектувати викиди, згладжувати сигнали і працювати з нерівномірно семплованими сигналами, а також готувати їх для подальшого аналізу (рис. 1.12). Наприклад, можна:

- видаляти шум, викиди і недостовірні відліки з даних (рис. 1.13);
- покращувати і візуалізувати сигнали, виявляти патерни;
- змінювати частоту дискретизації сигналу або встановлювати постійний період дискретизації для сигналів з нерівномірним семплуванням або пропущеними даними.

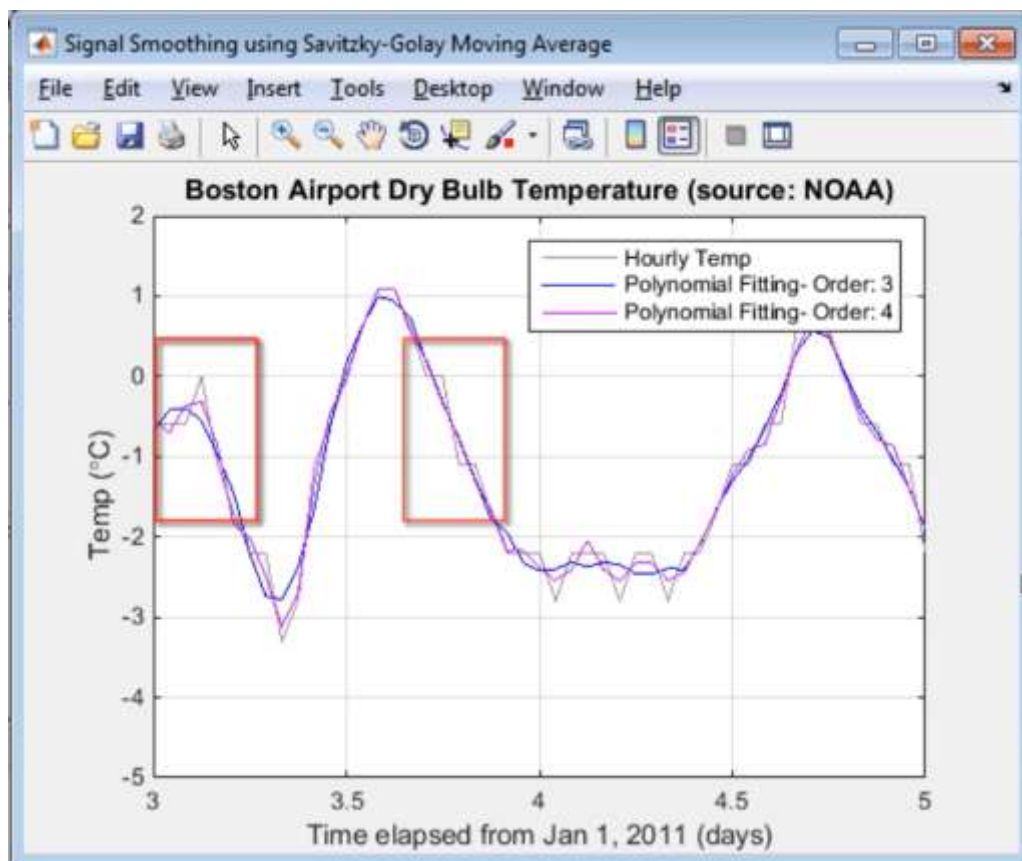


Рис. 1.12 Згладження сигналу використовуючи Signal Processing Toolbox

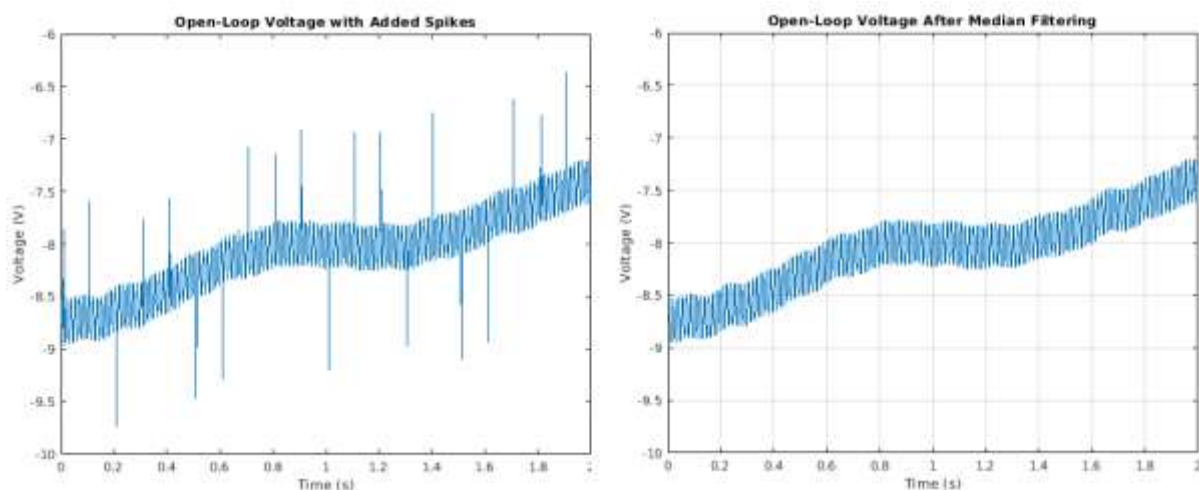


Рис. 1.13 Видалення викидів з даних (ліворуч дані з викидами, праворуч – видаленими викидами)

MATLAB підтримує апаратне забезпечення myDAQ (NI myDAQ) компанії National Instruments, це відносно недорогі портативні пристрої USB DAQ. Обладнання NI myDAQ використовується для навчання та практичних

експериментів з аналоговими схемами, датчиками, сигналами та системами. Також є підтримка CompactDAQ, X-Series, M-Series, E-Series, USB, ELVIS II.

Підтримка апаратних засобів NI myDAQ надається за допомогою Data Acquisition Toolbox Support Package для пристроїв NI-DAQmx компанії National Instruments. Ця підтримка дозволяє виконувати в MATLAB такі завдання:

- зчитування даних з аналогових вхідних каналів (осцилограф);
- запис даних в аналогові вихідні канали (функціональний генератор);
- зчитування та запис даних у вісім цифрових вхідних та вихідних каналів;
- налаштування та конфігурація лічильника/таймера NI myDAQ;
- налаштування частоти дискретизації пристрою NI myDAQ.

1.4.3. Середовище розробки LabVIEW

LabVIEW (англ. Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) - це середовище розробки і платформа для виконання програм, створених на графічній мові програмування «G» фірми National Instruments (США) [12].

LabVIEW є мовою графічного програмування, на відміну від інших, які використовують текстові мови. Створення програм в LabVIEW - реальне завдання для непрограміста, оскільки програмування в класичному вигляді не потрібне; швидше за все, при написанні програми не доведеться написати жодного рядка коду. З іншого боку, для досвідченого програміста надана можливість писати критичні ділянки коду на Паскалі або Асемблері і включати їх в програму на LabVIEW.

Віртуальний інструмент (далі ВІ) – це програма, що реалізована в програмному середовищі LabVIEW.

ВІ складається з трьох частин:

- передня панель (рис. 1.14) є інтерактивним інтерфейсом користувача, за допомогою якого здійснюється зв'язок людини з віртуальним приладом;

- блок-діаграма (рис. 1.15) реалізує алгоритм роботи ВІ. Її можна розглядати як вихідний код;
- піктограма/клемна панель ідентифікує у вигляді картинки на блок-діаграмі одного ВІ вмонтований в нього інший ВІ, а також передає дані у вмонтований ВІ і повертає з нього зворотні дані.

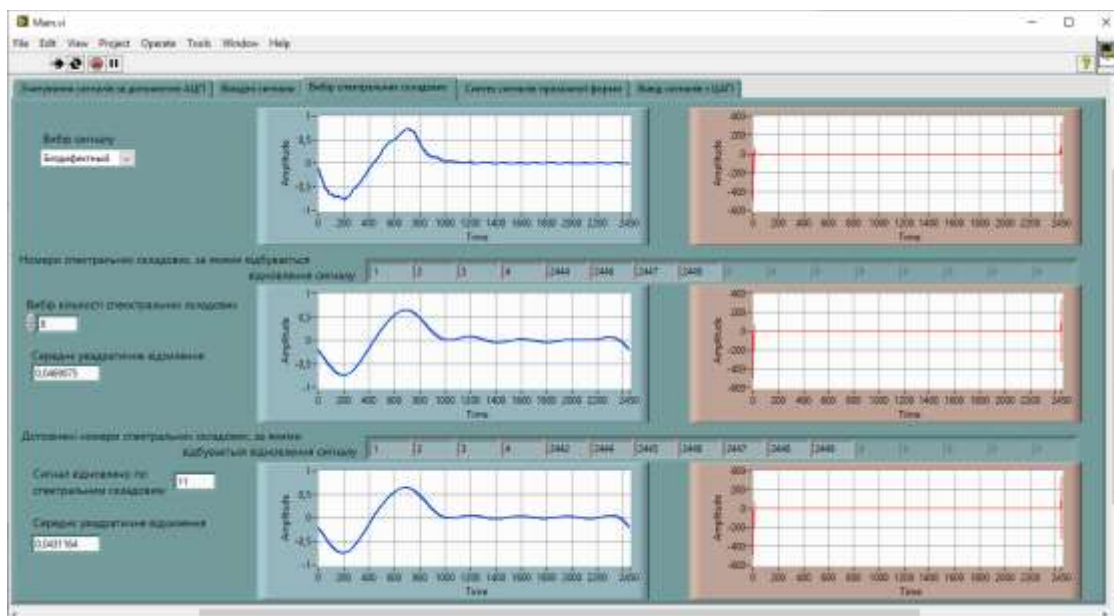


Рис. 1.14 Приклад передньої панелі

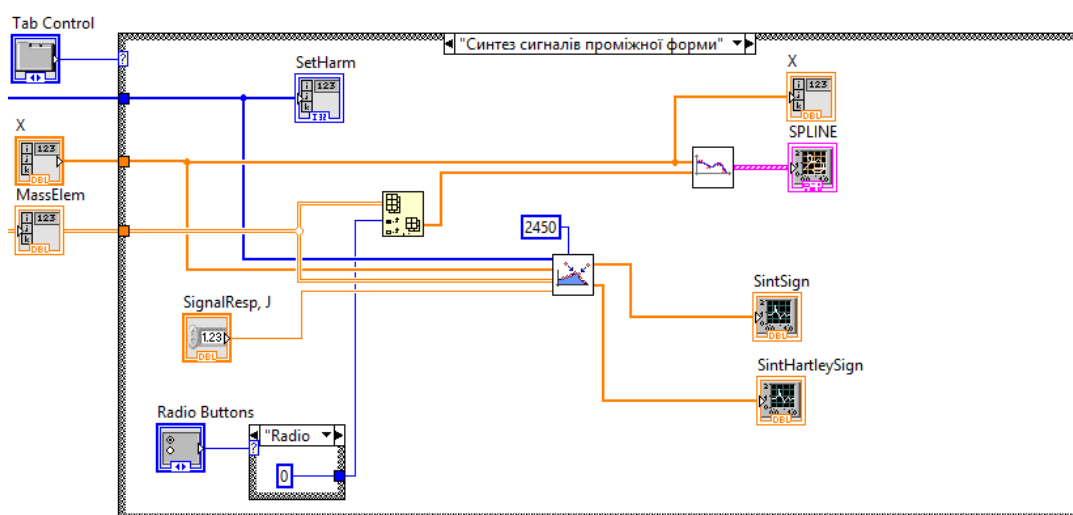


Рис. 1.15 Приклад блок-діаграми

Середовище призначене для створення систем автоматичного управління технологічними процесами, побудови систем автоматизованого збору технічних даних про стан процесу і управління обладнанням.

Вона дозволяє простими засобами вирішувати широкий круг завдань, які встають перед фахівцями дослідницьких і випробувальних лабораторій та промисловості, і зокрема:

- розробка автоматизованих систем вимірювання і тестування;
- створення промислових систем контролю і управління;
- проектування і відлагоджування вбудованих систем.

Інтуїтивно зрозумілий процес графічного програмування дозволяє приділяти більше уваги рішення проблем, пов'язаних з вимірюваннями і управлінням, а не програмуванням. LabVIEW пропонує:

- інтуїтивно зрозумілий процес графічного створення застосувань для вимірювань, управління і тестування;
- повноцінну мову програмування;
- вбудовані засоби для збору даних, управління приладами, обробки результатів, генерації звітів, передачі даних та багато інших;
- сумісність з різноманітними приладами завдяки наявності 2000 драйверів і можливості генерації коду інтерактивним майстром;
- шаблони застосувань, тисячі прикладів;
- високу швидкість виконання відкомпільованих програм;
- навчання і технічну підтримку світового рівня;
- LabVIEW може працювати під управлінням операційних систем Windows, Mac OS X, Linux і Solaris.

Модуль LabVIEW Real-Time для промислових платформ є ідеальним вибором для реалізації алгоритмів управління у виробничих системах [13]. Проте ряд користувачів з галузей проектування машин і промислового управління вважає, що розширення можливостей LabVIEW для програмування ПЛІСів, інтегрованих у вузли вводу/виводу, є ще надійнішим методом впровадження управляючих алгоритмів. Якщо запрограмувати функціональність

обладнання через вбудовану ПЛІС, то це обладнання виявляється набагато захищеним і надійнішим у виробничому процесі. Забезпечення тісного взаємозв'язку між програмуванням вбудованих ПЛІС і застосуваннями промислового управління за допомогою інтуїтивно зрозумілого підходу графічного програмування є унікальною перевагою використання LabVIEW.

Для розробки розподілених систем моніторингу і управління LabVIEW має системні можливості верхнього рівня, такі як занесення інформації в базу даних, алгоритми прийняття рішень, забезпечення безпеки.

Розробники в основному знайомі з LabVIEW як із засобом проведення вимірювань. Проте LabVIEW продовжує набувати популярності і як інструмент створення універсальних алгоритмів для інженерів і вчених в багатьох сферах діяльності. Поєднання розвинених бібліотек для обробки сигналів і управляючих алгоритмів з готовими до використання інструментальними засобами дозволяє швидко проектувати, створювати прототипи і розгортати системи за допомогою LabVIEW. Нижче наведені деякі ключові властивості платформи LabVIEW, що широко використовуються при проектуванні систем.

Обширна бібліотека аналізу і математичних функцій. LabVIEW містить сотні математичних функцій, що охоплюють широкий спектр традиційних алгоритмів в областях математичного аналізу, обробки сигналів, ймовірності і статистики, систем управління, що може бути основою будь-якого алгоритму користувача.

Природна інтеграція з пристроями вводу/виводу. Оскільки реальні фізичні дані дуже легко одержати за допомогою LabVIEW, поза всяким сумнівом, зможна оцінити зручність перевірки і відлагодження створених алгоритмів на прикладі реальних даних.

Апаратні платформи для створення систем реального часу — алгоритми LabVIEW можна виконувати на платформах реального часу з інтегрованим вводом/виводом. За допомогою модульних апаратних засобів National Instruments CompactRIO і CompactDAQ можна швидко створювати прототипи

вбудовуваних систем, що використовують процесори, ПЛІС для вбудованої логіки і широкий спектр оригінальних пристроїв вводу/виводу.

У багатьох областях сучасної промисловості, починаючи від дослідницьких лабораторій до конструкторських бюро, що створюють розподілені і вбудовувані системи, платформа графічної розробки LabVIEW збільшує продуктивність праці інженерів і вчених. Поєднання інтуїтивно зрозумілої графічної мови програмування, підтримка широкого набору пристроїв вводу/виводу і співтовариства користувачів, що беруть участь в розвитку платформи LabVIEW, робить успішним створення принципово нових застосувань. Переходячи на ефективніший графічний принцип розробки, але продовжуючи використовувати відкрите середовище програмування LabVIEW для втілення розроблених алгоритмів і обміну даними із засобами моделювання, можна модернізувати засоби розробки і скоротити затрати часу на всіх етапах життєвого циклу програмних продуктів.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

З огляду на існуючі технічні рішення, можна сказати, що потреба методу аналізу, формування та синтезу зразкових сигналів на основі певної кількості реальних сигналів не є вирішеною. Тому є доцільним розробка нового методу, який би задовольнив цю потребу. Наявні прилади для формування сигналів із заданими характеристиками та програмне забезпечення для них мають багато різних корисних функцій, та різних способів генерування сигналів, але вони не можуть створити сигнал на базі вже існуючих, а отже є актуальним створення системи, яка змогла б реалізувати даний метод.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА МЕТОДУ СИНТЕЗУ СИГНАЛІВ З ЗАДАНИМИ
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

2.1. Вибір базису перетворення моноімпульсних сигналів

Найбільш природною формою подання сигналу є завдання закону його зміни як функції часу – $x(t)$. Однак для аналізу та синтезу сигналів можуть бути використані різні форми їх представлення. Будь-який сигнал можна представити у вигляді суми деяких елементарних сигналів. Таке уявлення можливо при розкладанні часової функції в ряд по базисним функціям, що відповідає представленню сигналу в різних системах координат.

У загальному вигляді будь-який сигнал може бути представлений у вигляді ряду:

$$X(t) = \sum_{k=1}^n \alpha_k \varphi_k(t), \quad (2.1)$$

де $\varphi_k(t)$ – представляє собою одиничні орти, α_k - проекції функцій на відповідні осі або спектральні коефіцієнти, які визначаються за формулою

$$\alpha_k = \int_0^T X(t) \varphi_k(t) dt. \quad (2.2)$$

Система функцій $\{\varphi_k(t)\}$ називається базисною, а представлення сигналу у формі (2.1) - його розкладанням в системах базисних функцій (СБФ). Для обраної системи, сигнал повністю визначається набором (вектором) спектральних коефіцієнтів $\{\alpha_k\}$, тобто спектром.

СБФ повинна відповідати умовам ортогональності і ортонормованості.

Умови ортогональності двох базисних функцій полягають у рівності нулю їх взаємних потужностей:

$$\frac{1}{T} \int_{t_-}^t \varphi_k(t) \varphi_m(t) dt = 0, m \neq k. \quad (2.3)$$

Умови ортонормованості полягають у рівності одиниці потужності всіх базисних функцій:

$$\frac{1}{T} \int_{t_0}^t \varphi_k(t) \varphi_m(t) dt = 1, m = k. \quad (2.4)$$

Будь-яку СБФ можна нормувати, якщо розділити кожен базисну функцію на її потужність.

Існує безліч СБФ, при цьому різним СБФ відповідає різна фізична інтерпретація сигналу, а значить і практична реалізація. Вибір СБФ залежить від специфіки розв'язуваної задачі (наприклад: аналіз фільтрів, оцінка точності, швидкодії і т.п.), використовуваних методів (часові, частотні, операторні і т.п.) і інших факторів [14].

Найбільш часто використовуються наступні СБФ:

- системи одиничних безперервних і дискретних функцій;
- системи тригонометричних базисних функцій: $\{\sin \omega_n t, \cos \omega_n t\}$. Ці функції широко використовуються при частотному представленні сигналів в рядах Фур'є.
- системи комплексних експоненційних функцій - $\{e^{j\omega t}\}, \{e^{pt}\}$. Ці функції використовуються в перетвореннях Фур'є і Лапласа.
- системи комплексних дискретних експоненційних, базисних функцій - $\{e^{j\omega nT}\}$. Ці функції використовуються в дискретних перетвореннях Фур'є і Лапласа, швидкому перетворенні Фур'є.
- поліноміальні СБФ, що використовують поліноми Чебишева і Лежандра. Ці функції часто використовуються для аналізу і синтезу цифрових фільтрів.
- двійково - ортогональні СБФ Уолша, Хаара, Радемахера. Ці функції широко використовуються в обчислювальній техніці для аналізу і синтезу цифрових автоматів [15].

Базисні функції складають ядро різних інтегральних перетворень, що використовуються для дослідження сигналів і систем (Фур'є, Лапласа, Карсона, Хевісайда, Уолша, Хара, Хартлі та ін), які мають наступну структуру запису:

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} c(f) e^{j2\pi ft} df, \quad (2.5)$$

$$c(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt. \quad (2.6)$$

При цьому, різним СБФ відповідає різна інтерпретація сигналів.

Для моноімпульсного сигналу тригонометричне перетворення Фур'є не є оптимальним тому, що перетворює дійсний сигнал в комплексний спектр. Якщо для гармонійних коливань комплексний спектр має фізичну інтерпретацію - дійсну частину, яка являє собою спектр амплітуд гармонік вихідного коливання і уявну частину - фазу цих гармонік, то для моноімпульсного сигналу такої інтерпретації не існує. Тому використання тригонометричного базису Фур'є для дослідження базису моноімпульсного сигналу є недоцільним. З іншого боку, форма інформаційного сигналу близька до синусоїдальної, тому базиси Уолша, Хара, Хевісайда, Лапласа теж не будуть оптимальними. Як альтернативу тригонометричного базису Фур'є було вирішено використовувати базис Хартлі.

Перетворення Хартлі - інтегральне перетворення, тісно пов'язане з перетворенням Фур'є, але на відміну від останнього трансформує одні дійсні функції в інші дійсні функції [16].

Перетворення було запропоновано в якості альтернативи перетворенню Фур'є Р. Хартлі в 1942 році. Перетворення Хартлі є одним з багатьох відомих типів перетворень Фур'є.

Перетворення залишалися в забутті до 80-х років минулого століття. Свою назву перетворення отримало по імені Р.Хартлі, що опублікував статтю про пару інтегральних перетворень - пряме і зворотне, що використовують введену їм функцію:

$$\text{cas } \theta = \cos \theta + \sin \theta. \quad (2.7)$$

Вибір перетворення Хартлі було обумовлено ситуацією, що склалася в ряді методів обробки інформації, що використовують дійсні послідовності даних (одновимірних, двовимірних, тривимірних), обробку яких бажано здійснювати в області дійсних чисел за допомогою взаємно симетричних прямого і зворотного перетворень.

Дискретний варіант перетворення Хартлі був представлений Рональдом Брейсуеллом в 1983 році.

Перетворення Хартлі $H(\omega)$ розраховується за формулою:

$$H(\omega) = \{Hf\}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \text{cas}(\omega t) dt, \quad (2.8)$$

де $\text{cas}(t)$ – ядро Хартлі.

Ядро Хартлі:

$$\text{cas}(t) = \cos(t) + \sin(t) = \sqrt{2} \sin\left(t + \frac{\pi}{4}\right) = \sqrt{2} \cos\left(t - \frac{\pi}{4}\right). \quad (2.9)$$

Зворотне перетворення виходить за принципом інволюції:

$$f = \{H\{Hf\}\}. \quad (2.10)$$

Слід уточнити, що:

- замість того, щоб використовувати однакові формули для прямого і зворотного перетворення, можна ввести коефіцієнт $\frac{1}{2\pi}$ для зворотного і винести той же коефіцієнт з прямого перетворення Хартлі. Цей спосіб називається асиметричною нормалізацією;
- можна використовувати коефіцієнт $2\pi \nu t$ замість ωt , повністю опустивши коефіцієнт $\frac{1}{2\pi}$;
- можна використовувати віднімання косинуса і синуса замість їх суми.

Послідовність N дійсних чисел h_0, h_1, \dots, h_{N-1} перетворюється в послідовність N дійсних чисел H_0, H_1, \dots, H_{N-1} за допомогою дискретного перетворення Хартлі за формулою:

$$H_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} h_n \operatorname{cas}\left(\frac{2\pi}{N} nk\right), \quad k = 0, \dots, N-1. \quad (2.11)$$

Зворотне дискретне перетворення Хартлі задається формулою:

$$h_n = \sum_{k=0}^{N-1} H_k \operatorname{cas}\left(\frac{2\pi}{N} nk\right), \quad n = 0, \dots, N-1, \quad (2.12)$$

де $\operatorname{cas} x = \cos x + \sin x$.

Трапляються такі формули переходу від ДПФ до ДПХ і навпаки:

$$H_k = \operatorname{Re} F_k - \operatorname{Im} F_k, \quad (2.13)$$

$$F_k = \frac{1}{2}(H_{N-k} + H_k) - i \frac{1}{2}(H_k - H_{N-k}). \quad (2.14)$$

Перетворення Хартлі відрізняється від перетворення Фур'є вибором ядра. У перетворенні Фур'є використовується експоненціальне ядро:

$$\exp(-i\omega t) = \cos(\omega t) - i \sin(\omega t), \quad (2.15)$$

де i – уявна одиниця.

Ці два перетворення тісно пов'язані, і якщо вони мають однакову нормалізацію, то

$$F(\omega) = \frac{H(\omega) + H(-\omega)}{2} - i \frac{H(\omega) - H(-\omega)}{2}. \quad (2.16)$$

Для дійсних функцій $f(t)$ перетворення Хартлі перетворюється в комплексне перетворення Фур'є:

$$\{Hf\} = R\{Ff\} - I\{Ff\} = R\{Ff \times (1+i)\}, \quad (2.17)$$

де R і I – дійсна і уявна частини функції відповідно.

Перетворення Хартлі – це дійсний симетричний унітарний лінійний оператор. Існує аналог теореми згортки: якщо дві функції $x(t)$ і $y(t)$ мають перетворення Хартлі $X(t)$ і $Y(t)$ відповідно, то їх згортка $z(t) = x \cdot y$ матиме перетворення

$$Z(\omega) = \{H(x \cdot y)\} = \frac{\sqrt{2\pi} (X(\omega)[Y(\omega) + Y(-\omega)] + X(-\omega)[Y(\omega) - Y(-\omega)])}{2}. \quad (2.18)$$

Перетворення Хартлі так само, як і перетворення Фур'є може бути парною або непарною функцією. Це залежить від характеру самої функції перетворення. Також, перетворення Хартлі більш зручніше і простіше в обчисленні. Це і є його найбільшою перевагою.

Властивості ядра Хартлі впливають з властивостей тригонометричних функцій. Так як

$$\text{cas}(t) = \sqrt{2} \sin(t + \pi / 4), \quad (2.19)$$

то

$$\begin{aligned} 2\text{cas}(a + b) = \\ = \text{cas}(a)\text{cas}(b) + \text{cas}(-a)\text{cas}(b) + \text{cas}(a)\text{cas}(-b) - \text{cas}(-a)\text{cas}(-b) \end{aligned} \quad (2.20)$$

і

$$\text{cas}(a + b) = \cos(a)\text{cas}(b) + \sin(a)\text{cas}(-b) = \cos(b)\text{cas}(a) + \sin(b)\text{cas}(-a). \quad (2.21)$$

Похідна ядра дорівнює

$$\text{cas}'(a) = \frac{d}{da} \text{cas}(a) = \cos(a) - \sin(a) = \text{cas}(-a). \quad (2.22)$$

Для здійснення перетворення Хартлі, в LabVIEW є вже готовий віртуальний інструмент fast Hartley transform (FHT) (рис. 2.1).

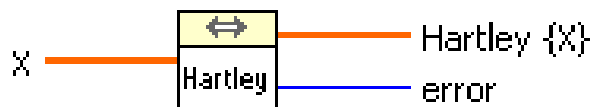


Рис. 2.1 Вигляд ВІ FHT

FHT обчислює швидке перетворення Хартлі з вхідною послідовністю x . Інтегральне перетворення Хартлі неперервної функції $x(t)$ визначається наступним чином:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \text{cas}(2\pi f t) dt, \quad (2.23)$$

де $\text{cas}(x) = \cos(x) + \sin(x)$.

Для послідовності $X(i)$ дискретне перетворення Хартлі $Y = \text{Hartley}\{X\}$ матиме вигляд

$$Y_k = \sum_{i=0}^{n-1} X_i \text{cas}\left(\frac{2\pi i k}{n}\right), \quad (2.24)$$

де $k = 1, 2, \dots, n-1$;

n - кількість елементів X_i .

Перетворення Хартлі відображає дійсну послідовність в часовій області в таку ж послідовність в частотній області. Можна використовувати його замість перетворення Фур'є для згортки сигналів, деконволюції сигналів, кореляції сигналів і пошуку спектра потужності. Також можна отримати перетворення Фур'є з перетворення Хартлі.

Коли послідовності, що підлягають обробці, є дійсними послідовностями, перетворення Фур'є створює комплексні послідовності, в яких половина інформації є надлишковою. Перевага використання перетворення Хартлі замість перетворення Фур'є полягає в тому, що перетворення Хартлі використовує половину пам'яті для отримання тієї ж інформації, що й перетворення Фур'є. Крім того, ФНТ швидко обчислюється і є таким же ефективним, як перетворення Фур'є. Недолік ФНТ полягає в тому, що розмір вхідної послідовності повинен бути дійсним степенем 2.

Зображення сигналу (рис. 2.2) в базисі перетворення (рис. 2.3, 2.4) Хартлі за допомогою віртуального інструмента ФНТ.

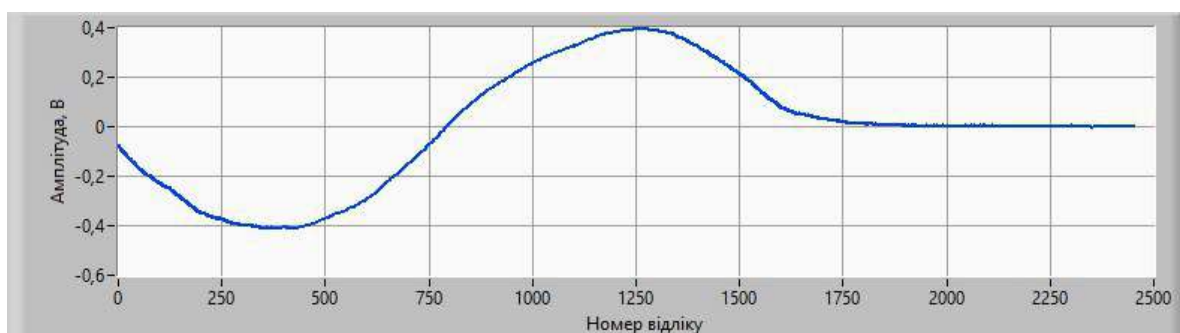


Рис. 2.2 Інформаційний сигнал



Рис. 2.3 Перші 50 спектральних складових перетвореного сигналу

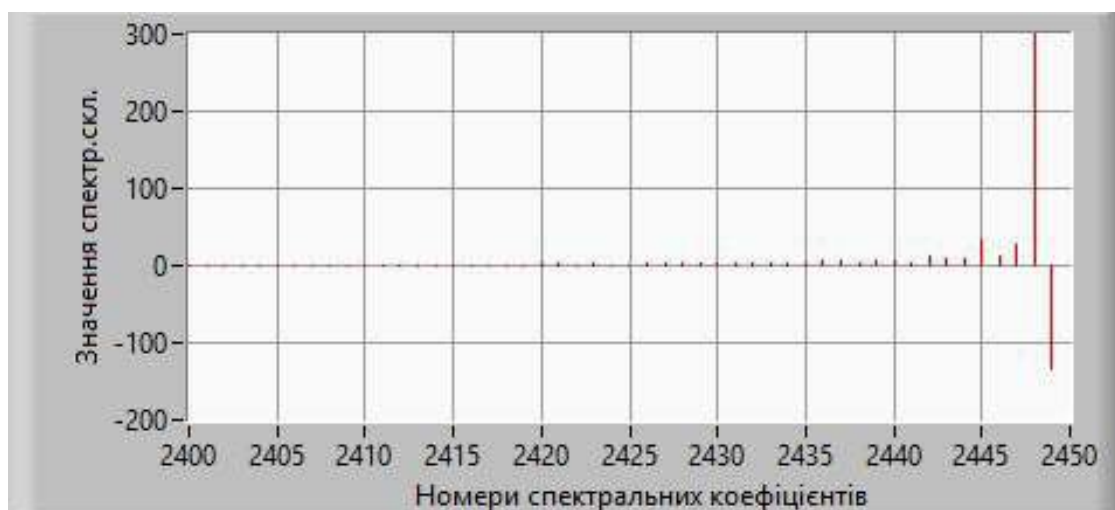


Рис. 2.4 Останні 50 спектральних складових перетвореного сигналу

2.2. Інтерполяція спектральних складових

Знаходити значення спектральних складових, на основі яких буде відбуватись синтез сигналів, що відповідають проміжній дефектності матеріалу будемо використовуючи сплайн-інтерполяцію. Певна кількість спектральних складових, одного порядкового номеру, отриманих перетворенням Хартлі, з різних сигналів будуть проінтерпольовані, що дасть змогу отримати їх проміжні значення.

Інтерполяція — в обчислювальній математиці спосіб знаходження проміжних значень величини за наявним дискретним набором відомих значень.

Інтерполяційні формули Лагранжа, Ньютона і Стірлінга при використанні великої кількості вузлів інтерполяції на всьому відрізку $[a, b]$ часто призводять до поганого наближення через накопичення похибок в процесі обчислень [17]. Крім того, через розбіжність процесу інтерполяції збільшення числа вузлів не обов'язково призводить до підвищення точності. Для зменшення похибок весь відрізок $[a, b]$ розбивається на часткові відрізки і на кожному з них функцію $f(x)$ замінюють наближеним поліномом невисокого ступеня. Це називається кусочно-поліноміальною інтерполяцією.

Один із способів інтерполяції на всьому відрізку $[a, b]$ є інтерполяція сплайнами.

Сплайном називається кусочно-поліноміальна функція, визначена на відрізку $[a, b]$ і має на цьому відрізку кілька неперервних похідних. Переваги інтерполяції сплайнами в порівнянні зі звичайними методами інтерполяції в збіжності і стійкості обчислювального процесу. Наприклад, інтерполяція сплайном краща, ніж інтерполяція многочленом, оскільки дає схожі результати навіть при менших степенях поліномів, також при її використанні не виникає феномена Рунге, а лінійний інтерполянт подібний до вихідної функції.

Найбільш поширеним є інтерполяція функції кубічним сплайном.

Кубічний сплайн - гладка функція, область визначення якої розбита на певне число відрізків, на кожному з яких вона збігається з деяким кубічним многочленом (поліномом).

Кубічна сплайн інтерполяція використовує поліном третього порядку для кожного інтервалу між двома сусідніми точками. Поліноми третього порядку повинні відповідати наступним умовам:

- перша і друга похідні у внутрішніх точках є безперервними;
- поліноми проходять через усі точки даних;

- для одновимірної інтерполяції другі похідні для початкової та кінцевої точок дорівнюють нулю. Для сплайн-інтерполянта початкові і кінцеві граничні вхідні дані визначають перші похідні в початковій і кінцевій точках. Для сплайн-інтерполяції лінія з першими похідними поводить себе так само, як інтерполянт сплайна. Для сплайн-інтерполяції лінія з природним сплайном поводить себе так само, як одновимірна інтерполяція.

Наприклад, рівняння:

$$y = f(x) = \frac{1}{1+12x^2}, \quad x \in [-1; 1] \quad (2.25)$$

інтерполяція з природним кубічним сплайном показана на рисунку 2.5.

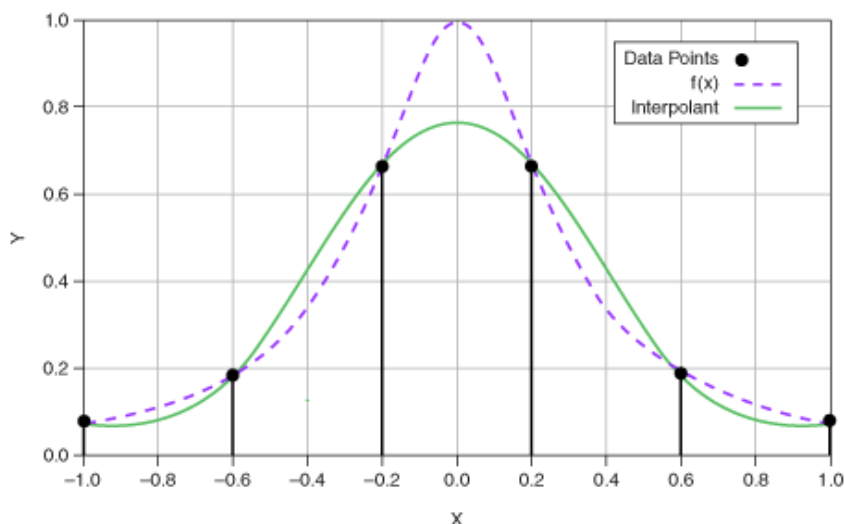


Рис. 2.5 Сплайн-інтерполяція (показано зеленою лінією) по точкам заданої функції (графік функції показано пунктиром)

Коли є більше точок даних $f(x)$, інтерполянт кубічної сплайн інтерполяції є аналогічним $f(x)$, що показано на рисунку 2.6.

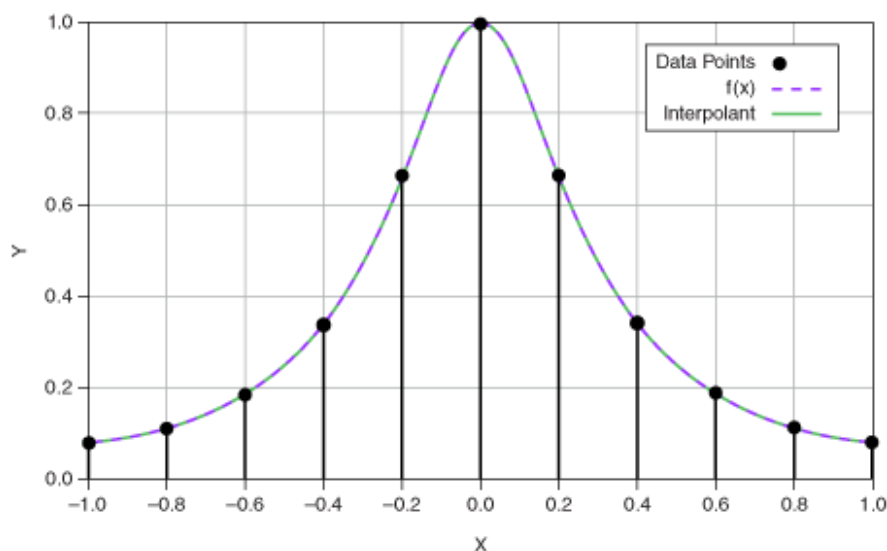


Рис. 2.6 Сплайн-інтерполяція побільшій кількості точок заданої функції

Функція $f(x)$ задана на відрізку $[a, b]$, розбитому на частини $[x_{i-1}, x_i]$, $a = x_0 < x_1 < \dots < x_n = b$. Кубічним сплайном дефекту 1 (різниця між ступенем і гладкістю сплайна) називається функція $S(x)$, яка:

- на кожному відрізку $[x_{i-1}, x_i]$, є многочленом ступеня не вище третьої;
- має безперервні першу і другу похідні на всьому відрізку $[a, b]$;
- в точках x_i виконується рівність $S(x_i) = f(x_i)$, тобто сплайн $S(x)$ інтерполює функцію f в точках x_i .

Для однозначного задання сплайна перерахованих умов недостатньо, для його побудови необхідно врахувати додаткові вимоги - граничні умови:

- 1) "Природний сплайн" — граничні умови виду: $S''(a) = S''(b) = 0$;
- 2) Безперервність другої похідної - граничні умови виду: $S'''(a) = S'''(b) = 0$;
- 3) Періодичний сплайн — граничні умови виду: $S'''(a) = S'''(b)$ і $S''(a) = S''(b)$.

Теорема. Для будь-якої функції f і будь-якого розбиття відрізка $[a, b]$ на частини $[x_{i-1}, x_i]$, існує рівно один природний сплайн $S_i(x)$, що задовольняє перерахованим вище умовам.

Ця теорема є наслідком більш загальної теореми Шенберга-Уїтні про умови існування інтерполяційного сплайна.

Побудова кубічної сплайн-інтерполяції.

На кожному відрізку $[x_{i-1}, x_i]$, функція $S(x)$ є поліном третього ступеня $S_i(x)$, коефіцієнти якого треба визначити. Для зручності $S_i(x)$ буде представлено у вигляді:

$$S_i(x) = a_i + b_i(x - x_i) + c_i(x - x_i)^2 + d_i(x - x_i)^3 \quad (2.26)$$

$$\text{тоді } S_i(x_i) = a_i, \quad S'_i(x_i) = b_i, \quad S''_i(x_i) = 2c_i, \quad i = \overline{1, N}.$$

Умови безперервності всіх похідних до другого порядку включно записуються у вигляді:

$$S_i(x_{i-1}) = S_{i-1}(x_{i-1}), \quad (2.27)$$

$$S'_i(x_{i-1}) = S'_{i-1}(x_{i-1}), \quad (2.28)$$

$$S''_i(x_{i-1}) = S''_{i-1}(x_{i-1}), \quad (2.29)$$

де ізмінюються від 1 до N , а умови інтерполяції у вигляді:

$$S_i(x_i) = f(x_i) \quad (2.30)$$

Позначивши, $h_i = x_i - x_{i-1}$ ($i = \overline{1, N}$), $f_i = f(x_i)$ ($i = \overline{0, N}$), будуть отримані формули для обчислення коефіцієнтів "Природного сплайна":

$$a_i = f(x_i); \quad (2.31)$$

$$d_i = \frac{c_i - c_{i-1}}{3 \cdot h_i}; \quad (2.32)$$

$$b_i = \frac{a_i - a_{i-1}}{h_i} + \frac{2 \cdot c_i + c_{i-1}}{3} \cdot h_i; \quad (2.33)$$

$$c_{i-1} \cdot h_i + 2 \cdot c_i \cdot (h_i + h_{i+1}) + c_{i+1} \cdot h_{i+1} = 3 \cdot \left(\frac{a_{i+1} - a_i}{h_{i+1}} - \frac{a_i - a_{i-1}}{h_i} \right), \quad (2.34)$$

причому $c_N = S''(x_N) = 0$ і $c_1 - 3 \cdot d_1 \cdot h_1 = S''(x_0) = 0$.

Якщо врахувати, що $c_0 = c_N = 0$, то обчислення c можна провести за допомогою методу прогонки для трьохдіагональної матриці.

Середовище LabVIEW має вбудовані віртуальні інструменти для інтерполяції даних. Для здійснення кубічної сплайн інтерполяції є два ВІ - Spline Interpolation і Spline Interpolant.

ВІ Spline Interpolation (рис. 2.7) повертає сплайн-інтерпольоване значення (interpolation value) для вхідного значення x (x value).

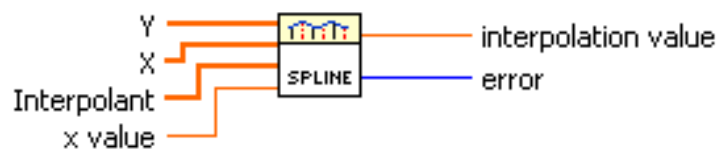


Рис. 2.7 Вигляд ВІ Spline Interpolation

При цьому сукупність вихідних значень задається табульованими значеннями $(x[i], y[i])$ масивів незалежної X і залежною Y змінних, а також значеннями Interpolant, одержуваними від ВІ Сплайн-інтерполянт (Spline Interpolant).

На інтервалі $[x_i, x_{i+1}]$ вихід інтерпольоване значення визначається наступним виразом:

$$y = Ay_i + 3a_{i+1} + Cy''_i + Dy''_{i+1}, \quad (2.35)$$

де

$$A = \frac{x_{i+1} - x}{x_{i+1} - x_i}, \quad B = 1 - A, \quad C = \frac{1}{6}(A^3 - A)((x_{i+1} - x_i)^2), \quad D = \frac{1}{6}(B^3 - B)((x_{i+1} - x_i)^2)$$

ВІ Spline Interpolant (рис. 2.8) повертає масив Interpolant довжиною n , який містить другі похідні сплайн-інтерполюючої функції $g(x)$ в табульованих точках $x[i]$ де $i = 0, 1, \dots, n-1$.

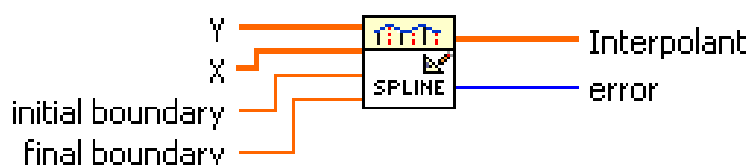


Рис. 2.8 Вигляд BI Spline Interpolant

Входи Y і X представляють масиви значень залежної і незалежної змінних.

Вхід початкова межа (initial boundary) визначає першу похідну інтерполюючої функції $g(x)$ в точці $x[0]$, $g'(x[0])$. За замовчуванням значення початкової межі відповідає 10^{30} .

Вхід кінцева межа (final boundary) визначає першу похідну інтерполюючої функції $g(x)$ в точці $x[n-1]$, $g'(x[n-1])$. За замовчуванням значення кінцевої межі також відповідає 10^{30} .

ВІ розраховує інтерполюючу функцію $g(x)$ шляхом інтерполяції кожного інтервалу $[x_i, x_{i+1}]$ кубічною поліноміальною функцією $p_i(x_i)$, яка задовольняє такі умови:

- 1) $p_i(x_i) = y_i$;
- 2) $p_i(x_{i+1}) = y_{i+1}$;
- 3) $g(x)$ має безперервні першу і другу похідні в будь-якій точці діапазону $[x_i, x_{i+1}]$:
 - a) $p'_i(x_i) = p'_{i-1}(x_i)$;
 - b) $p''_i(x_i) = p''_{i-1}(x_i)$.

У наведених співвідношеннях $i = \overline{0, n-2}$.

З останньої умови випливають такі рівняння:

$$\begin{aligned} \frac{x_i - x_{i-1}}{6} g''(x_{i-1}) + \frac{x_{i+1} - x_{i-1}}{3} g''(x_i) + \frac{x_{i+1} - x_i}{6} g''(x_{i+1}) = \\ = \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} - \frac{y_i - y_{i-1}}{x_i - x_{i-1}}, \end{aligned} \quad (2.36)$$

де $i = \overline{0, n-2}$.

Таким чином, має місце система з $n-2$ лінійних рівнянь з n невідомими $g''(x_i)$.

ВІ розраховує відсутні значення $g''(x_0)$, $g''(x_{n-1})$ використовуючи початкову межу і кінцеву межу за формулою:

$$g'(x) = \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} + \frac{3A^2 - 1}{6}(x_{i+1} - x_i)g''(x_i) + \frac{3B^2 - 1}{6}(x_{i+1} - x_i)g''(x_{i+1}), \quad (2.37)$$

$$\text{де } A = \frac{x_{i+1} - x}{x_{i+1} - x_i}, B = 1 - A = \frac{x - x_i}{x_{i+1} - x_i}.$$

Початковою межею є рівняння:

$$g'(x_0) = g'(x) \Big|_{k=0, x=x_0} \quad (2.38)$$

і кінцевою межею є рівняння:

$$g'(x_{n-1}) = g'(x) \Big|_{k=n-2, x=x_{n-1}} \quad (2.39)$$

Рішення системи рівнянь - значення $g''(x_i)$ відображаються на виході Interpolant. Ці значення можуть бути використані в ВІ Сплайн-інтерполяція (Spline Interpolation) для інтерполяції y при всіх значеннях x в діапазоні $x_0 \leq x \leq x_{n-1}$.

Приклад інтерполяції даних за допомогою ВІ Spline Interpolation і Spline Interpolant зображено на рисунках 2.9 і 2.10.

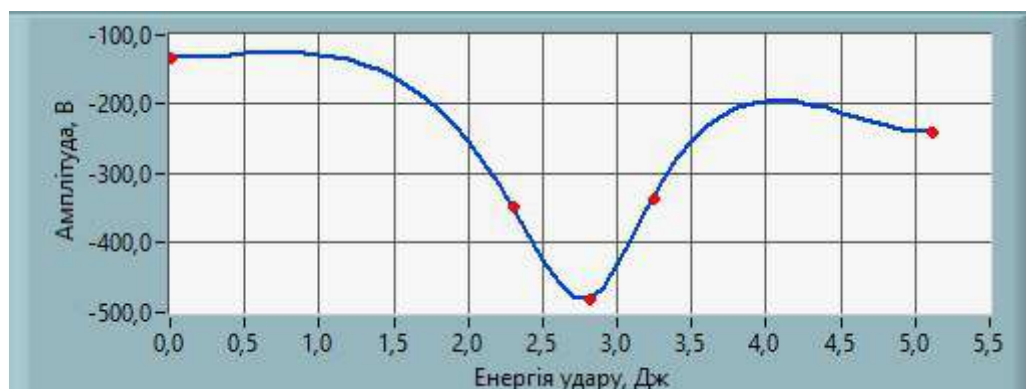


Рис. 2.9 Проінтерполювані данні (позначені червоними точками) за допомогою ВІ LabVIEW

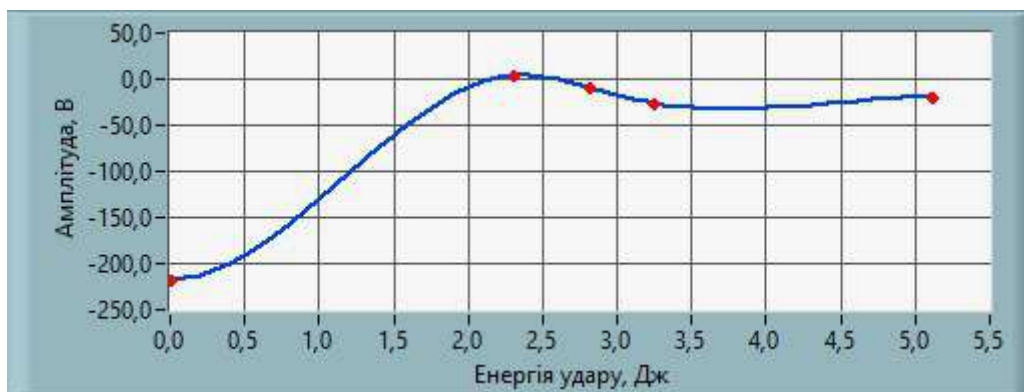


Рис. 2.10 Проінтерполявані данні (позначені червоними точками) за допомогою BI LabVIEW

2.3. Розроблений метод синтезу зразкових сигналів

Інформаційний сигнал після аналого-цифрового перетворювача представляються в базисі Хартлі.

Для дослідження відновлення сигналу по спектральним складовим в базисі Хартлі, проводиться розрахунок питомого значення енергії кожної складової спектра за формулою:

$$E_{\text{гр}}^{\text{пит}} = \frac{x_i^2}{\sum_{i=1}^n x_i^2} \cdot 100\%, \quad (2.40)$$

де x_i - значення спектральної складової.

Наступним етапом дослідження, є сортування спектральних складових за величиною їх питимих енергій.

Використовуючи зворотне перетворення Хартлі, проводиться відновлення сигналу. Для відновлення використовуються спектральні складові, які вводяться по черзі на свої місця, в порядку їх величин питомої енергії, при чому розмір сигналу залишається завжди незмінним. На місця спектральних складових що не були використані записуються нулі.

Після кожної введеної складової розраховуємо приріст питомої енергії сигналу ΔE і середньоквадратичну похибку відновлення $\delta_{\text{СКВ}}$ за формулами:

$$\delta_{\text{СКВ}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{\text{поч}} - x_{\text{відн}})^2}, \quad (2.41)$$

$$\Delta E = \frac{\sum_{i=1}^n x_{\text{відн}}^2}{\sum_{i=1}^n x_{\text{поч}}^2}, \quad (2.42)$$

де $x_{\text{поч}}$ - початковий інформаційний сигнал;

$x_{\text{відн}}$ - синтезований інформаційний сигнал.

Критерієм вибору кількості спектральних складових для відновлення інформаційних сигналів є середньо квадратична похибка відновлення сигналу.

Задаємось певною похибкою відновлення враховуючи нерівність Бесселя:

$$L(N) \sum_{x \in X} f^2(x) \leq \sum_k \alpha_k^2, \quad (2.43)$$

де $0 < L(N) < 1$ - дільова функція, що показує, яку частину енергії по відношенню до загальної енергії сигналу несуть коефіцієнти розкладу перетворення Хартлі,

За величиною $L(N)$ можна визначити точність, з якою N коефіцієнтів розкладу перетворення апроксимують вихідну функцію.

Обираємо мінімальна кількість ранжируваних по питомих значеннях енергії спектральних складових сигналу, що можуть її забезпечити. Для інших сигналів проводяться ті самі операції.

При подальшій обробці сигналів необхідно забезпечити однакову кількість та використання однакових за номером спектральних складових. Для цього набір номерів спектральних складових першого інформаційного сигналу доповнюється номерами інших спектральних складових інформаційних сигналів яких не вистачає. Цей набір номерів буде застосовуватись для кожного інформаційного сигналу.

Для побудови проміжних форм сигналів, створюється функція залежності значення спектральної складової від дефектності сигналу. Кількість цих функцій

залежить від обраної кількості спектральних складових, що використовуються при відновленні.

Задавшись певною дефектністю, знаходиться проміжне значення спектральної складової в побудованих функціях за допомогою інтерполяції сплайнами.

Новий сигнал проміжної форми відновлюється по розрахованим проміжним спектральним складовим за допомогою зворотного перетворення Хартлі. Цей сигнал передається на цифро-аналоговий перетворювач.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

В розділ були розглянуті різні базиси перетворення, в результаті чого, властивості перетворення Хартлі свідчать на користь його використання в чисельному аналізі. Той факт, що значення перетворення Хартлі є дійсними, а не комплексними послідовностями, в яких половина інформації є надлишковою, створює зручності при виконанні розрахунків.

В основу розробленого методу відтворення зразкових сигналів, було покладено розглянуті в цьому розділі способи обробки даних.

РОЗДІЛ 3

СИСТЕМА ВІДТВОРЕННЯ ЗРАЗКОВИХ СИГНАЛІВ

3.1. Структурна схема системи відтворення зразкових сигналів

Структурну схему системи відтворення зразкових сигналів зображено на рисунку 3.1.

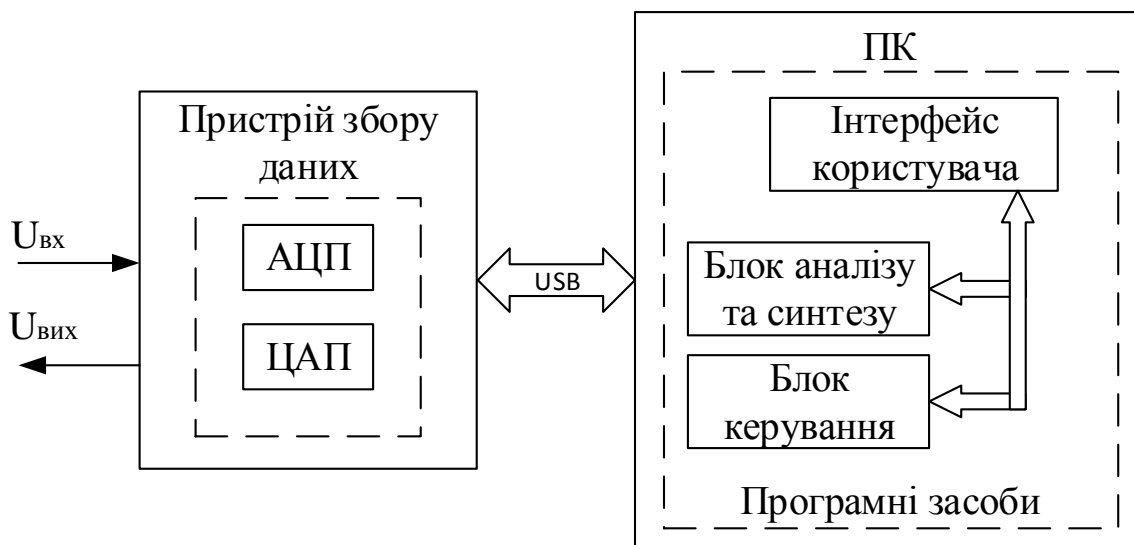


Рис. 3.1 Структурна схема системи відтворення зразкових сигналів

Система відтворення зразкових сигналів складається з пристрою збору даних та ПК. Пристрій збору даних містить в собі блоки АЦП та ЦАП. За допомогою АЦП відбувається вимірювання сигналу, ЦАП - виводить синтезовані еталонні сигнали. Пристрій збору даних виступає в якості інтерфейсу між блоками вводу-виводу АЦП/ЦАП та ПК, через який здійснюється керування, синхронізація та передачею даних. ПК містить програмне забезпечення,

основними частинами якого є інтерфейс користувача, блок аналізу та синтезу, блок керування. Користувач безпосередньо взаємодіє з інтерфейсом користувача, встановлюючи необхідні параметри для аналізу та синтезу сигналів, а також параметри роботи АЦП та ЦАП.

Система відтворення зразкових сигналів зображена на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2. Загальний вигляд системи

3.2. Апаратні засоби системи відтворення зразкових сигналів

У зв'язку з тим, що програмна частина системи розроблена в програмному середовищі LabVIEW, то для сумісності та швидкої інтеграції апаратної частини було вирішено розробляти на базі шини National Instruments CompactDAQ.

CompactDAQ - це платформа збору даних, розроблена компанією National Instruments, що включає широкий набір сумісного апаратного та програмного забезпечення. Завдяки платформному підходу National Instruments є можливим поєднання модульного обладнання з програмним забезпеченням, що дозволяє вирішувати складні інженерні завдання. CompactDAQ інтегрує апаратне забезпечення вводу-виводу даних з програмним забезпеченням LabVIEW, щоб інженери могли збирати, обробляти та аналізувати дані датчиків. Системи

CompactDAQ коштують дешевше, ніж еквівалентні системи в рамках платформи NI PXI [18].

Ця система має дві основні архітектури: пряме підключення багатофункціонального пристрою введення-виведення до ПК, або підключення шасі CompactDAQ до ПК і заповнення цього шасі модулями узгодженого введення-виведення. CompactDAQ надає найбільш гнучке рішення з прямим підключенням датчиків.

Системи CompactDAQ управляються модулем контролера шасі, який відповідає за передачу даних між модулями вводу-виводу та ПК. Контролер шасі містить контролер синхронізації, який синхронізує збір даних з усіх підключених модулів вводу-виводу. Доступні такі типи контролерів шасі:

- шасі USB - призначене для невеликих портативних систем із змішаним вимірюванням на робочому місці або в польових умовах;
- шасі Ethernet - ідеально підходить для розподілених вимірювальних систем у місцях, де вже існує мережева інфраструктура Ethernet;
- шасі бездротового зв'язку - налаштування через Wi-Fi нульової конфігурації та підтримка понад 50 модулів, орієнтованих на вимірювання.

Системи CompactDAQ підключаються до датчиків за допомогою дротових або бездротових модулів вводу-виводу, підключених до контролера шасі. На даний момент тільки модулі серії NI C сумісні з платформою CompactDAQ. Модулі доступні з аналоговими входами та виходами для різних типів датчиків та сигналів, цифровими входами та виходами, вбудованим фільтруванням сигналу та АЦП. Більшість модулів забезпечують електричну ізоляцію.

Дані датчиків збираються та аналізуються за допомогою сумісного програмного забезпечення для ПК, такого як LabVIEW , LabWindows/CVI , Measurement Studio і SignalExpress, також розроблених National Instruments. Інтерфейси прикладного програмування доступні також для C/C++ та C#.

LabVIEW інтегрується з апаратним контролером шасі CompactDAQ для підключення до фізичних датчиків датчика або джерел сигналу. LabVIEW також може підключатися до осцилографів та USB-систем DAQ, використовуючи компонент LabVIEW Measurement and Automation eXplorer (MAX).

У LabVIEW можна налаштовувати та змодельовувати віртуальні інструменти, щоб тестувати обробку даних, коли фізичне обладнання не доступне. Virtual Instrument Software Architecture (VISA) є фоновим компонентом, який управляє зв'язком між LabVIEW і CompactDAQ обладнання.

NI SignalExpress LE надається з кожним контролером шасі для реєстрування основних даних та аналізу даних. NI SignalExpress - це програма Microsoft Windows, яка надає можливості для збору, аналізу та відображення даних із сумісних пристроїв та інструментів збору даних.

3.2.1. Шасі CompactDAQ

Шасі CompactDAQ призначені для управління тактуванням, синхронізації та передачі даних між модулями вводу-виводу NI С-серії і зовнішніми вузлами.

Шасі CompactDAQ з живленням по шині і USB-підключенням призначене для малогабаритних переносних вимірювальних систем. Ці моделі можна використовувати разом з модулями вводу-виводу С-серії для створення комбінації аналогових і цифрових ввідів-виводів, а також лічильників/таймерів. Шасі також може бути обладнано кількома універсальними лічильниками/таймерами з доступом через встановлений цифровий модуль С-серії з апаратним тактуванням для областей застосування, де потрібне використання імпульсних датчиків, ШІМ, підрахунку подій, генерації послідовності імпульсів і виміру періоду або частоти. Шасі CompactDAQ також надає кілька механізмів тактування, які дозволяють одночасно здійснювати кілька апаратно-тактованих операцій з трьома окремими швидкостями аналогового введення [19].

NI-DAQmx - це програмне забезпечення для драйверів, що входить до NI CompactDAQ та більшості продуктів National Instruments збору даних та обробки сигналів. Це просте у користуванні програмне забезпечення об'єднує всі

функціональні можливості обладнання CompactDAQ з LabVIEW, LabWindows/CVI або Measurement Studio для Visual Basic. Особливості високої продуктивності включають синхронізацію з декількома пристроями, мережеві вимірювання та імітовані пристрої. У комплекті з NI-DAQmx утиліта Measurement & Automation Explorer спрощує конфігурацію вимірювального обладнання за допомогою панелей тестування пристроїв, інтерактивних вимірювань та масштабованих каналів вводу-виводу. NI-DAQmx також має численні приклади програм для LabVIEW та інших середовищ розробки додатків, щоб швидко розпочати роботу зі своїм додатком.

cDAQ-9172 (рис. 3.3) являє собою 8-слотове USB-шасі, призначене для роботи з модулями введення/виведення C Series. Шасі DAQ-9172 дозволяє здійснювати вимірювання широкого набору аналогових і цифрових сигналів введення/виведення і датчиків за допомогою інтерфейсу Hi-Speed USB 2.0.

cDAQ-9172 включає два універсальних 32-бітових лічильника/таймера, які можуть використовуватися для підрахунку перепадів, вимірювання ширини імпульсів, періоду і частоти, а також для виконання вимірювання положення (кодування). Крім того, лічильники/таймери можуть генерувати імпульси, серії імпульсів і прямокутні коливання з регульованою частотою. Швидкість оцифровки до 400 кГц на модуль. Загальна пропускна здатність при оцифрування 3.2 Мвб/сек, розрядність оцифровки складає до 24 біт.

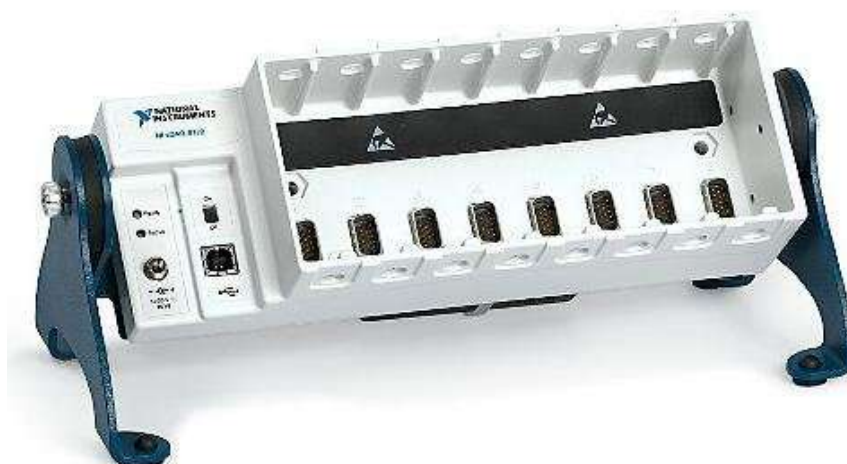


Рис. 3.3 Шасі DAQ-9172

Модульна конструкція може вимірювати до 256 каналів електричних, фізичних, механічних або акустичних сигналів в одній системі. Крім того, одноканальні аналого-цифрові перетворювачі та окремо ізольовані модулі забезпечують швидкі, точні та безпечні вимірювання.

Шасі DAQ-9172 працює від блоку живлення 11 - 30 В, який постачається в комплекті.

3.2.2. Аналого-цифровий перетворювач системи відтворення зразкових сигналів

Модуль вхідної напруги серії С вимірює сигнали вхідного напруги для систем CompactDAQ або CompactRIO. Модулі також забезпечують гальванічну розв'язку і захист від перевантаження по струму для високовольтних областей застосування [20].

Модулі вхідної напруги С-серії надають ефективне поєднання кількості, роздільної здатності і швидкості каналів, призначених для задоволення потреб всіх завдань вимірювання напруги. Гальванічна розв'язка в модулях може відокремлювати канали один від одного, від COM і заземлення для забезпечення безпеки, захисту від завад і великого діапазону синфазної напруги. Модулі оснащені захистом від перевантаження по напрузі до 100 В на випадок збоїв сигнального з'єднання або подачі непередбачених сигналів на окремі канали. Додатково доступні модулі з налаштованим вхідними діапазонами, каналами виведення, різними роз'ємами, а також в корпусі і без нього.

В якості АЦП було використано 16-бітний модуль NI-9215 (рис. 3.4). Він має 4 канали, діапазон напруги аналогового вводу ± 10 В, частоту дискретизації до 100 кВиб/с/канал. NI-9215 працює з диференціальними аналоговими вхідними сигналами. Модуль NI-9215 є повністю сумісним з cDAQ-9172.



Рис. 3.4 Модуль NI-9215

Для нормальних умов ($23\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$):

- похибка підсилення 0,02%;
- постійна складова 0,014%.

Для робочих умов (від -40 °C до 70 °C):

- похибка підсилення 0,2%;
- постійна складова 0,082%.

Диференційна нелінійність від ± 2 Молодший значущий розряд.

3.2.3. Цифро-аналоговий перетворювач системи відтворення зразкових сигналів

Модуль вихідної напруги серії С генерує сигнали напруги для систем CompactDAQ або CompactRIO.

Модулі вихідної напруги С-серії - це модулі аналогового виводу з одночасним оновленням сигналів, які мають захист від перевантаження по

напрузі і короткого замикання, низький рівень перехідних завад, високу швидкість наростання напруги, високу відносну точність і калібрування з контролем по NIST. У деяких моделях передбачена подвійна гальванічна розв'язка каналів від заземлення для безпеки і захисту від завад, а також підвищення якості сигналів. Модулі вихідної напруги С-серії можуть мати до 16 каналів і за рахунок такої високої щільності економніше використовується місце в корпусі, залишаючи більше простору для інших вимірювальних приладів [21].

В якості ЦАП було використано модуль вихідної напруги NI-9263 (рис.3.5), який є повністю сумісним з cDAQ-9172. Модуль має 16-бітні 4 канали виводу напруги в діапазоні ± 10 В. Максимальна частота оновлення вихідних значень складає 100 кВиб/с/канал.



Рис. 3.5 Модуль NI-9263

Для нормальних умов ($25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$):

- похибка підсилення 0,03%;
- постійна складова 0,1%.

Робочі умови (від -40 °C до 70 °C) :

- похибка підсилення 0,35%;
- постійна складова 0,75%.

Диференційна нелінійність від ± 1 Молодший значущий розряд.

3.3. Програмне забезпечення системи відтворення зразкових сигналів

Програмне забезпечення для системи відтворення зразкових сигналів розроблено в середовищі візуального програмування LabVIEW. Використання цього середовища програмування дозволило розробити багатофункціональну систему відтворення зразкових сигналів. Використання LabVIEW дозволяє реалізувати паралельне виконання програми, що підвищує швидкодію та ефективність роботи системи в цілому. Застосовуючи це середовища програмування можна розробити зручний інтерфейс користувача та розділити реалізацію функціональної частини системи від її інтерфейсу. Розділення візуальної та функціональної частин дозволяє вносити зміни у реалізацію та інтерфейс системи незалежно один від одного, за рахунок чого відбувається підвищення її надійності та адаптивності до конкретних умов задачі та функціонування.

Архітектура програмного забезпечення приведена на рис. 3.6.

Розроблене програмне забезпечення складається з головного інтерфейсу, який включає в себе п'ять ВІ, що відповідають за візуальну частину програми та являються інтерфейсами користувача, а також восьми функціональних віртуальних інструментів [22].

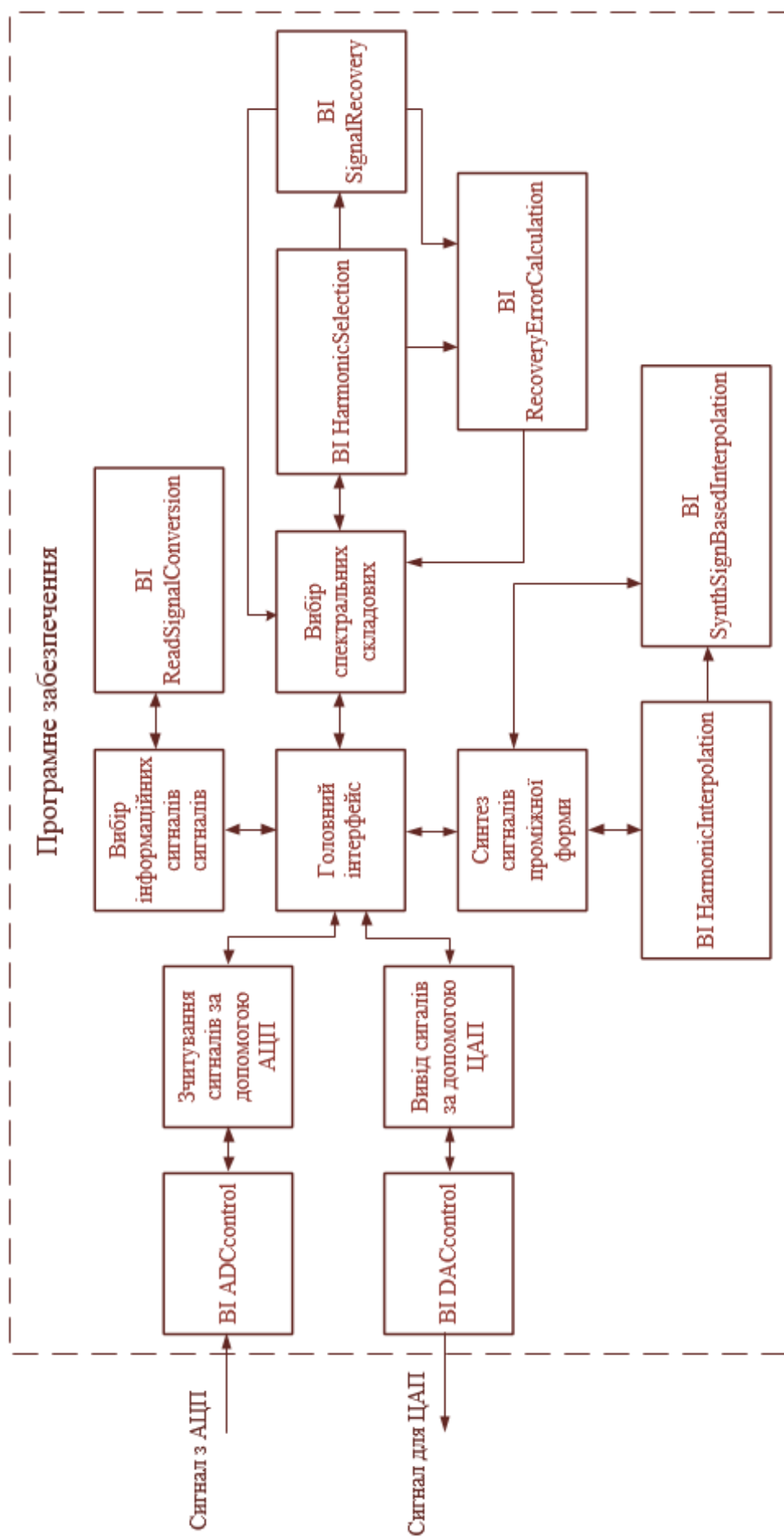


Рис. 3.6 Структура програмних засобів системи відтворення зразкових сигналів

Віртуальні інструменти розроблені в LabVIEW складаються з трьох основних частин:

- передньої панелі - інтерактивного призначеного для користувача інтерфейсом;
- блок-діаграми, яка є вихідним кодом, створеним на мові графічного програмування. Блок-діаграма являє собою реально виконуваний додаток;
- піктограми/клемної панелі, яка виконує подвійну функцію. В режимі піктограми ідентифікує у вигляді картинки на блок-діаграмі одного ВІ вмонтований в нього інший ВІ [23]. В режимі клемна панель здійснює передачу даних у вмонтований ВІ і повернення з нього зворотних даних.

Об'єкти на передній панелі представлені на блок-діаграмі у вигляді відповідних терміналів (terminals), через які дані можуть надходити від користувача в програму і назад [24].

Розроблений інструмент також містить в собі підпрограми ВІ, які виконують певні функції.

Користувальницький інтерфейс складається з осцилограм, на які виводяться сигнали та їх спектральні складові, інтерактивних засобів для задання необхідних параметрів сигналу і вікна для виведення обробленої інформації.

Блок програмного забезпечення має такі інтерфейси користувача:

- зчитування сигналів за допомогою АЦП;
- вибір інформаційних сигналів сигналів;
- вибір спектральних складових;
- синтез сигналів проміжної форми;
- вивід сигналів за допомогою ЦАП.

Інтерфейс для зчитування сигналів за допомогою АЦП (рис. 3.7) дає можливість користувачу встановлення частоти дискретизації АЦП, відобразити осцилограму отриманого сигналу, а також записати та зберегти сигнал у файл.

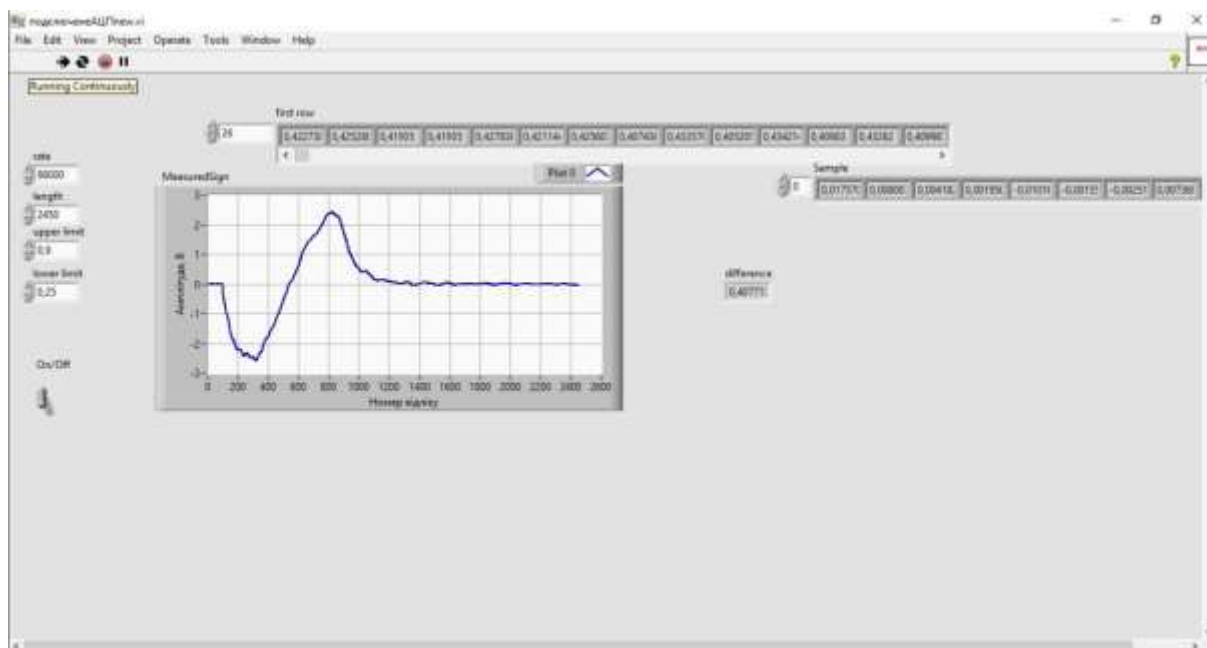


Рис. 3.9 Передня панель VI ADCcontrol

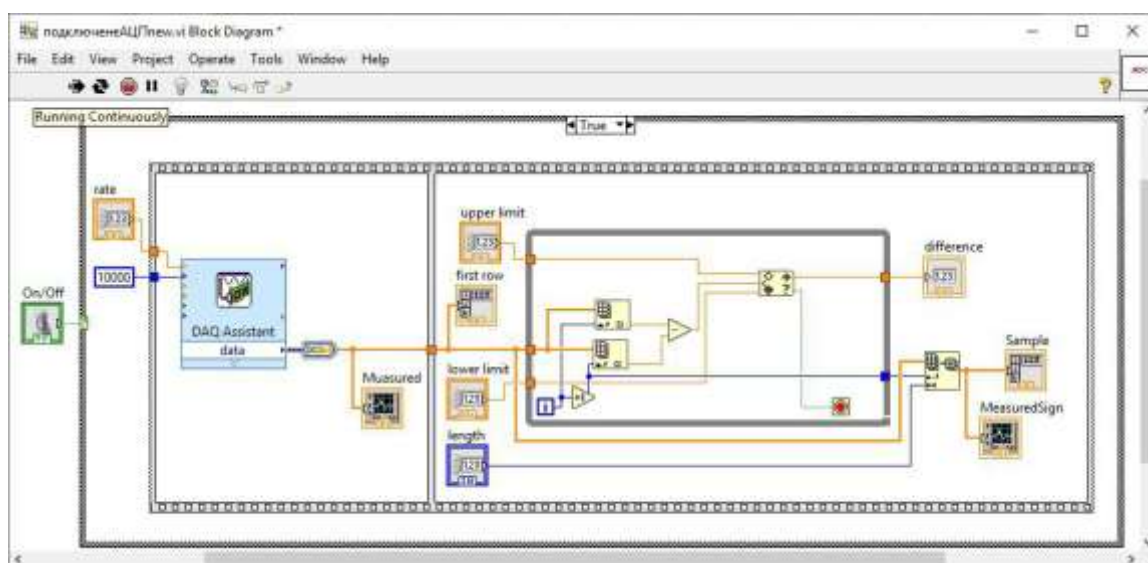


Рис. 3.10 Блок-діаграма VI ADCcontrol

Інтерфейс відбору сигналів (рис. 3.11) дає можливість вибрати інформаційні сигнали, які будуть приймати участь в аналізі та синтезі. На його панелі знаходяться елементи для встановлення шляху до файлу, які були отримані з АЦП або іншим способом, поруч – термінал, в якому вказується значення енергії, з якою було пошкоджено КМ. На панелі також відображені осцилограми відібраних сигналів.

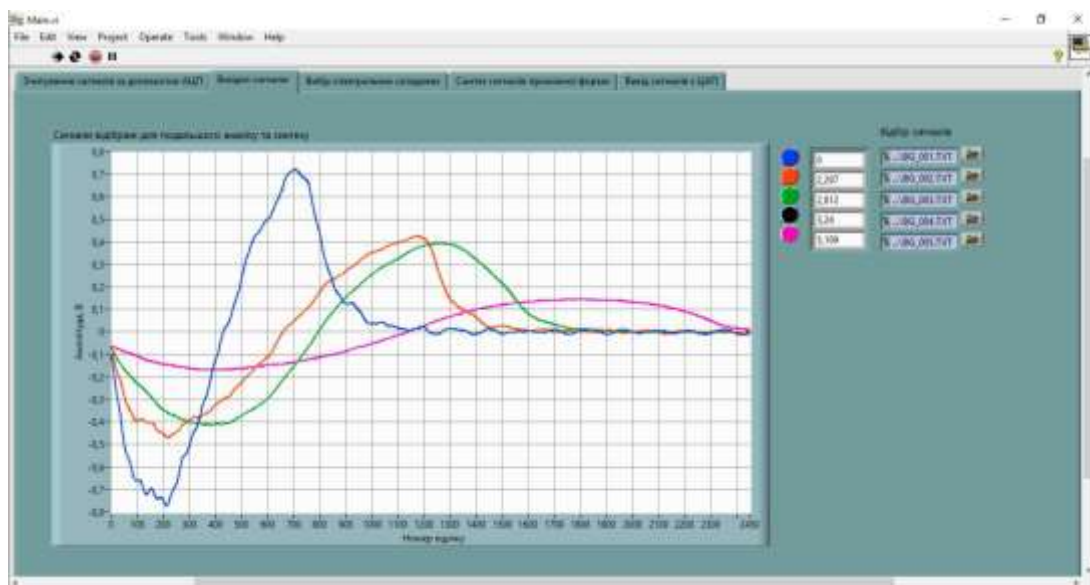


Рис. 3.11 Інтерфейс вибору сигналів

Блок-діаграма цього інтерфейсу виділена на (рис. 3.12) червоним прямокутником. Вона містить розроблений ВІ ReadSignalConversion для зчитування та перетворення сигналу.

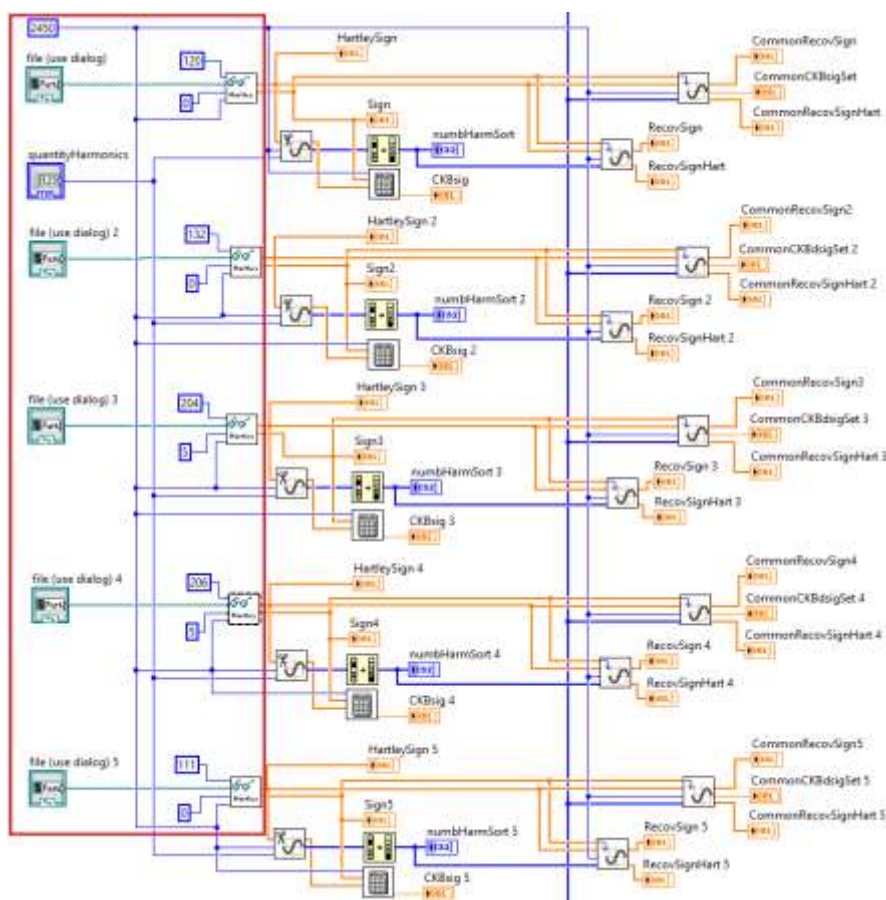


Рис. 3.12 Блок-діаграма інтерфейсу відбору сигналів

Розроблений BI ReadSignalConversion (рис. 3.13, 3.14) слугує для зчитування інформаційного сигналу з файлу та отримання його спектральних складових в базисі Хартлі. Для реалізації перетворення Хартлі було використано вбудовану в LabVIEW функцію FHT. Вона представляє собою інтегральне швидке перетворення Хартлі непервної функції $x(t)$.

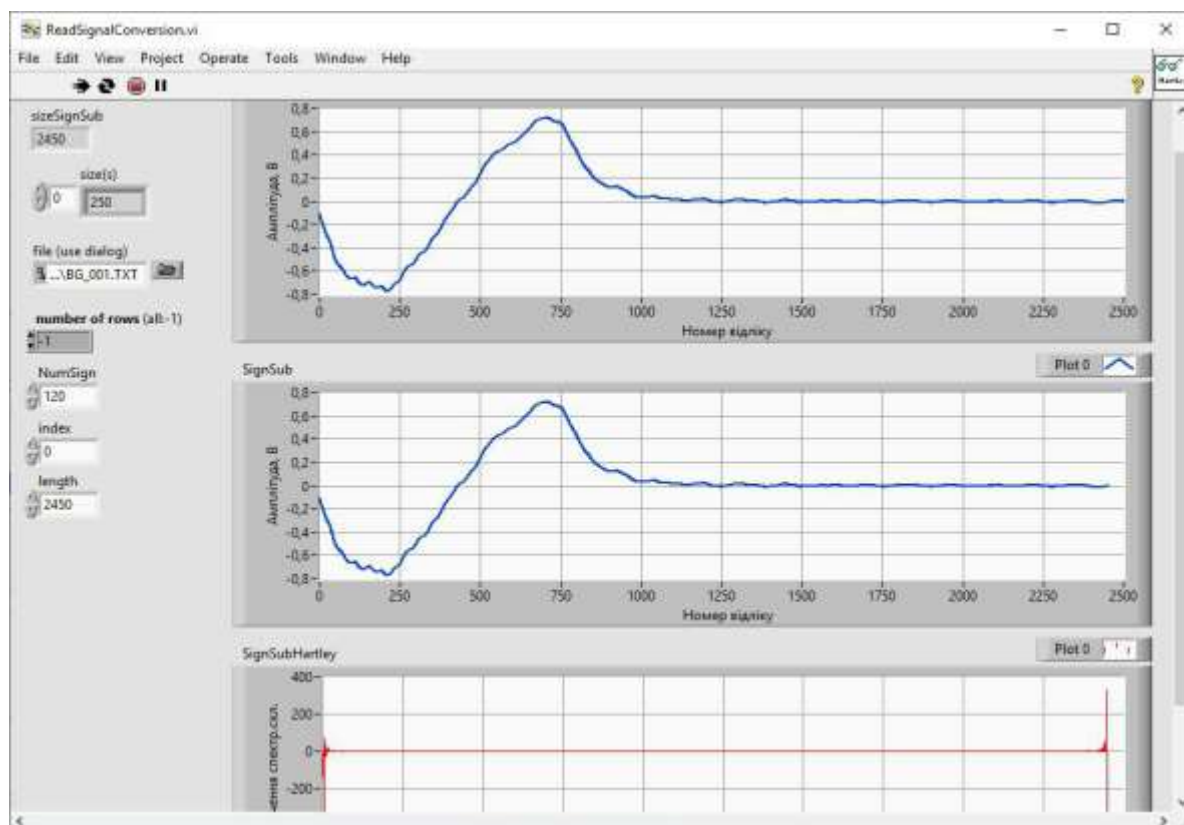


Рис. 3.13 Передня панель BI ReadSignalConversion

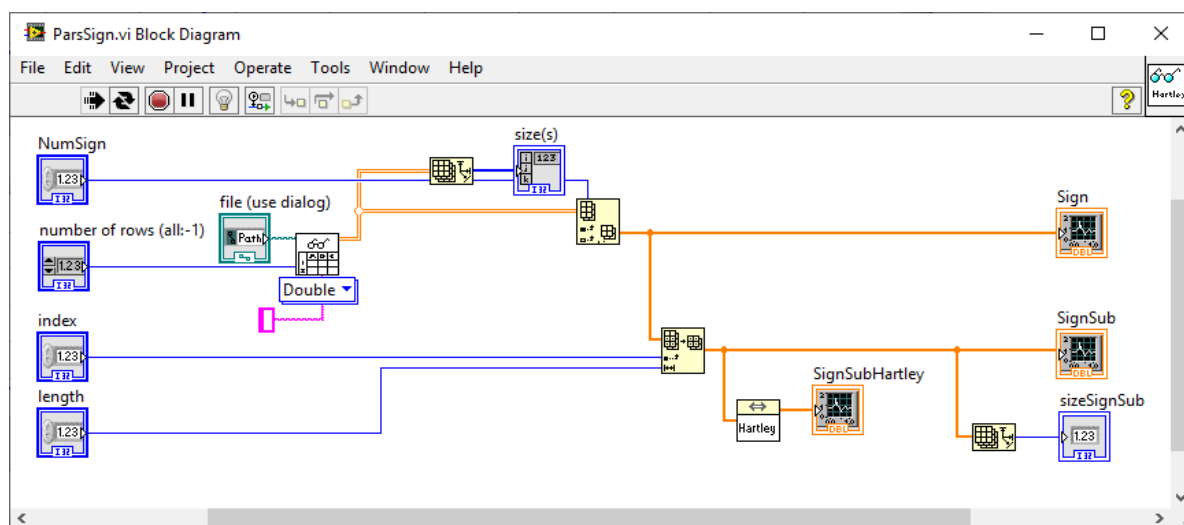


Рис. 3.14 Блок-діаграма BI ReadSignalConversion

Інтерфейс вибору спектральних складових (рис. 3.15) дає можливість встановити кількість спектральних складових, які будуть використані при відновлення інформаційного сигналу. На передній панелі можна вибрати для перегляду сигнал, після чого буде відображено його осцилограма і осцилограми після відновлення, номери спектральних складових, що були використані при відновленні та значення середнього квадратичного відхилення сигналу.

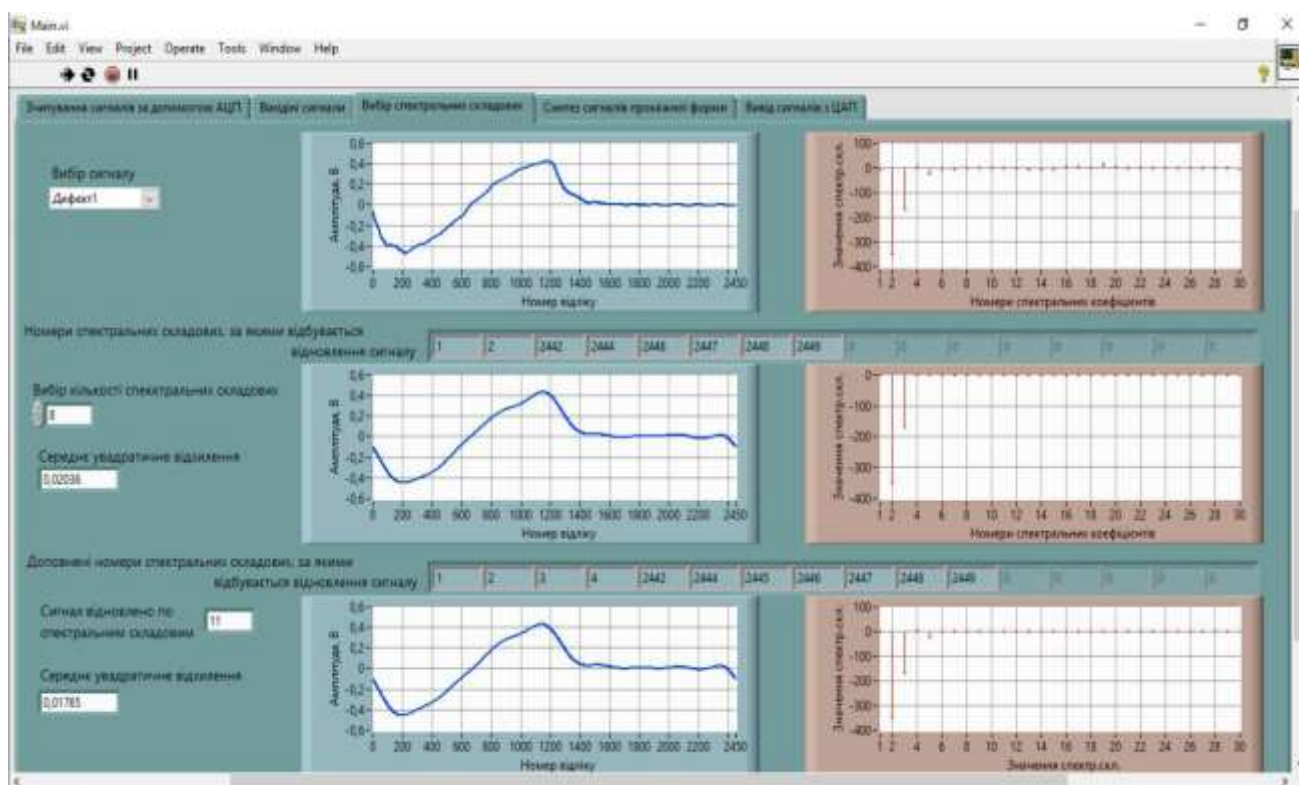


Рис. 3.15 Інтерфейс вибору спектральних складових

Блок-діаграма цього інтерфейсу (рис. 3.16) містить в собі розроблені VI HarmonicSelection, RecoveryErrorCalculation та SignalRecovery.

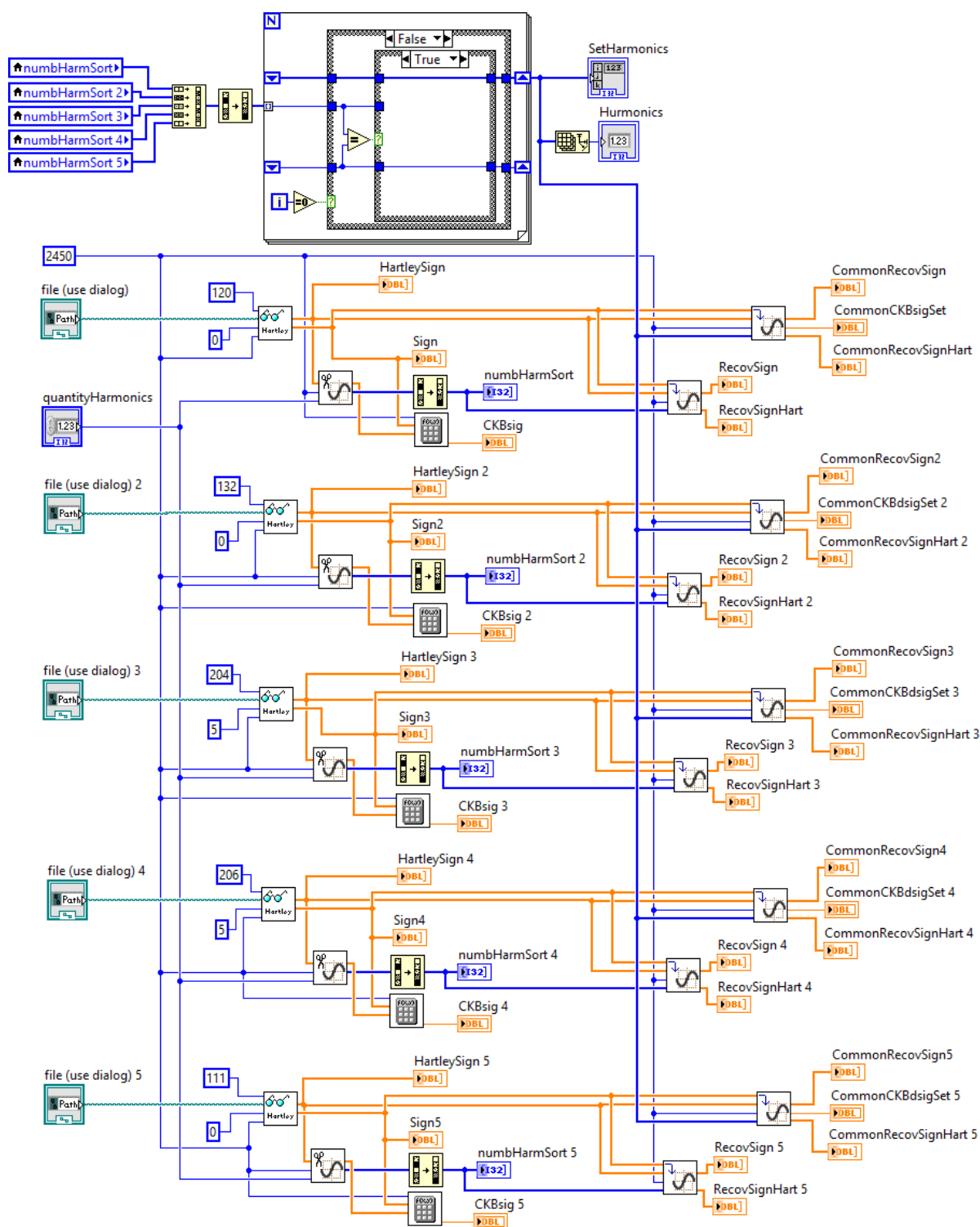


Рис. 3.16 Блок-діаграма інтерфейсу вибору спектральних складових

У ВІ HarmonicSelection (рис. 3.17, 3.18) відбувається пошук найбільш інформативних спектральних складових заданої кількості. Також відбувається відновлення інформаційного сигналу по знайденим спектральним складовим за допомогою вбудованого ВІ Inverse FHT.

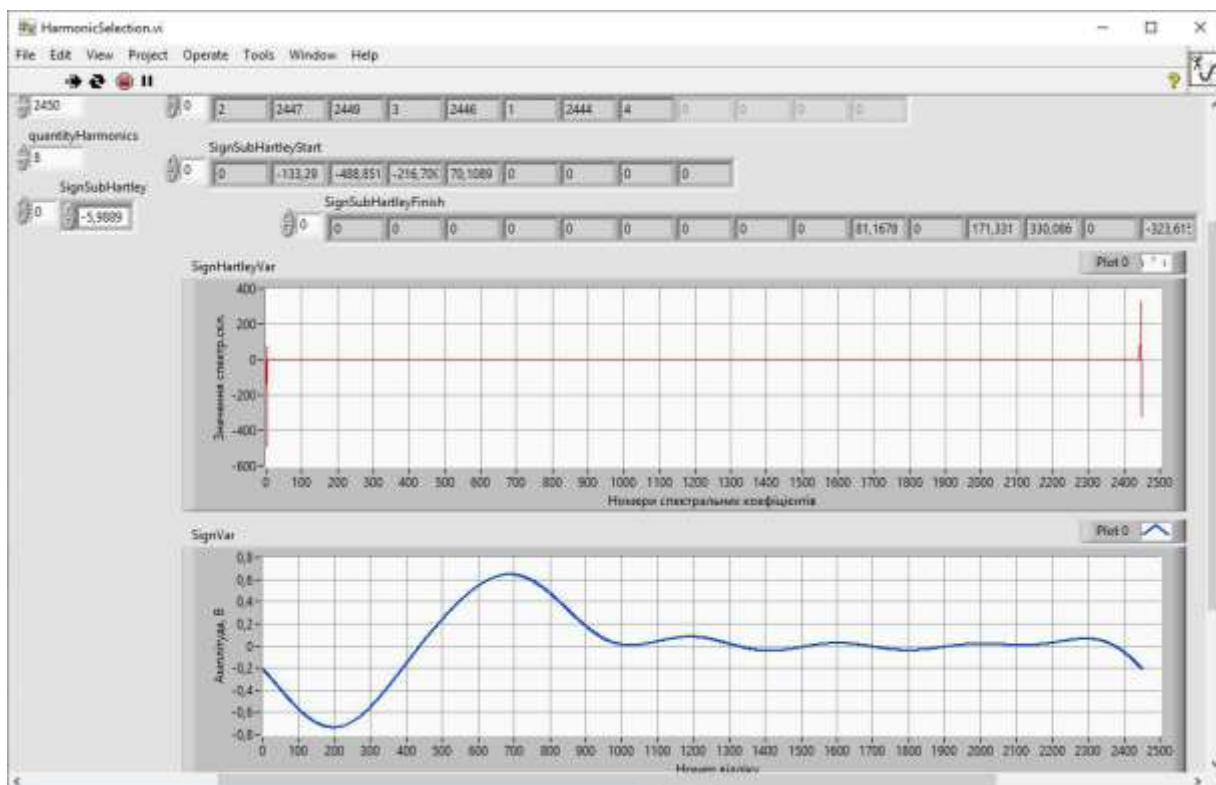


Рис. 3.17 Передня панель VI HarmonicSelection

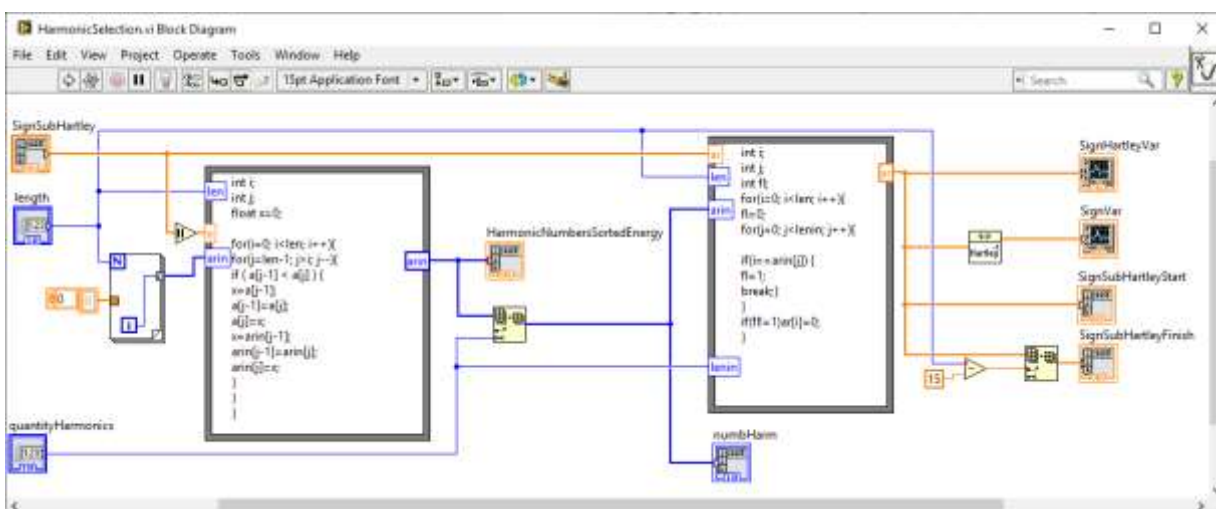


Рис. 3.18 Блок-діаграма VI HarmonicSelection

ВІ RecoveryErrorCalculation (рис. 3.19, 3.20) розраховує значення середньоквадратичної похибки відновленого сигналу та приросту питомої енергії сигналу.

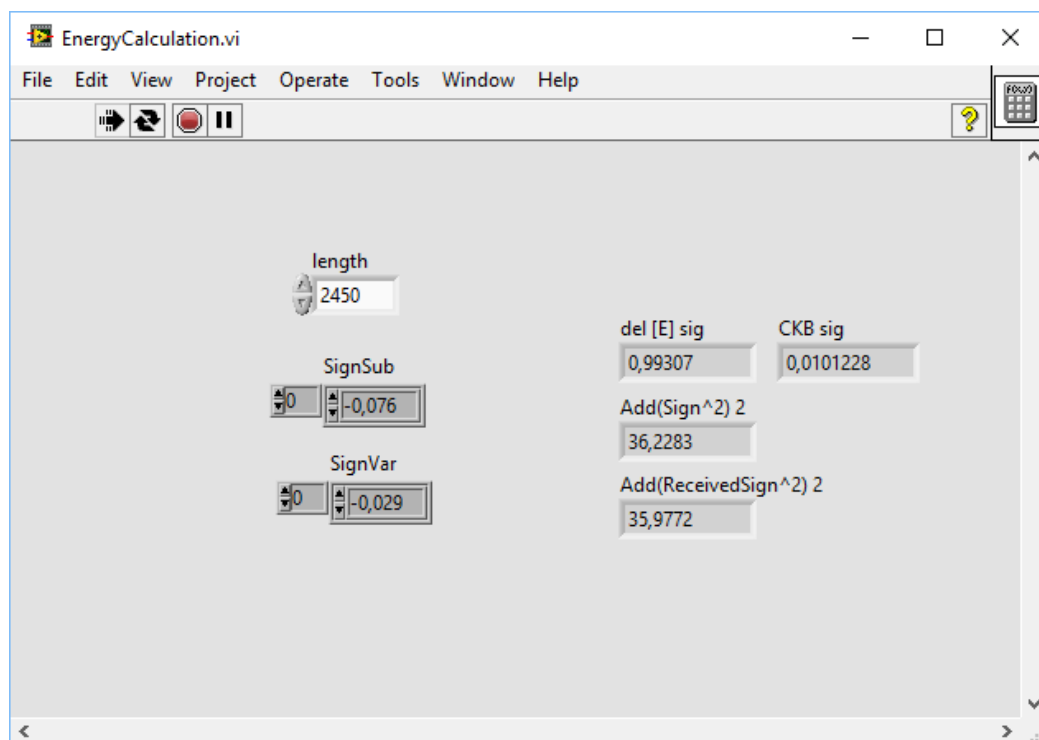


Рис. 3.19 Передня панель ВІ RecoveryErrorCalculation

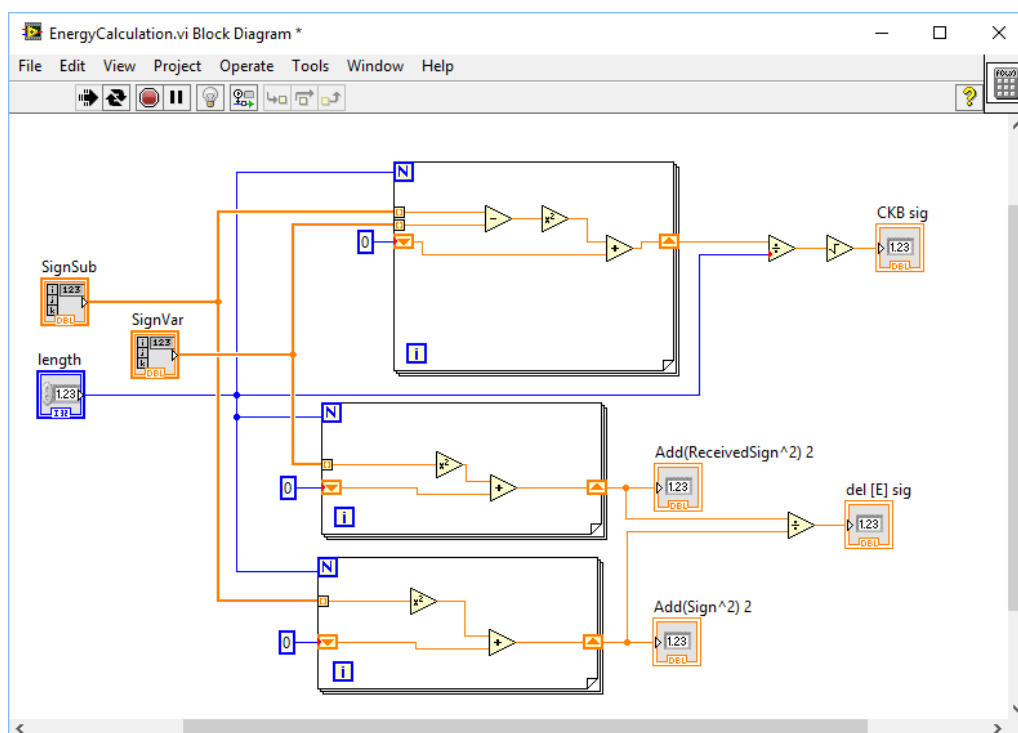


Рис. 3.20 Блок-діаграма ВІ RecoveryErrorCalculation

За допомогою BI SignalRecovery (рис. 3.21, 3.22) відбувається відновлення інформаційного сигналу за відібраними спектральними складовими, а також розрахунок середньоквадратичної похибки після відновлення.

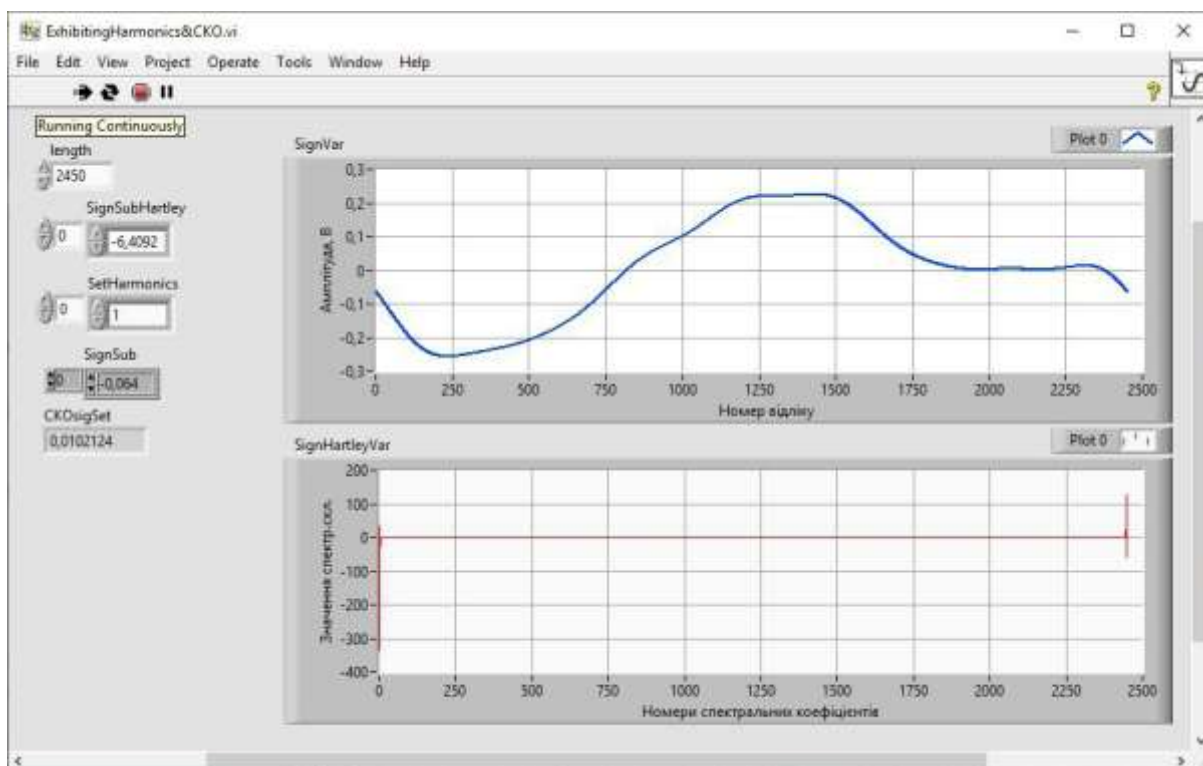


Рис. 3.21 Передня панель BI SignalRecovery

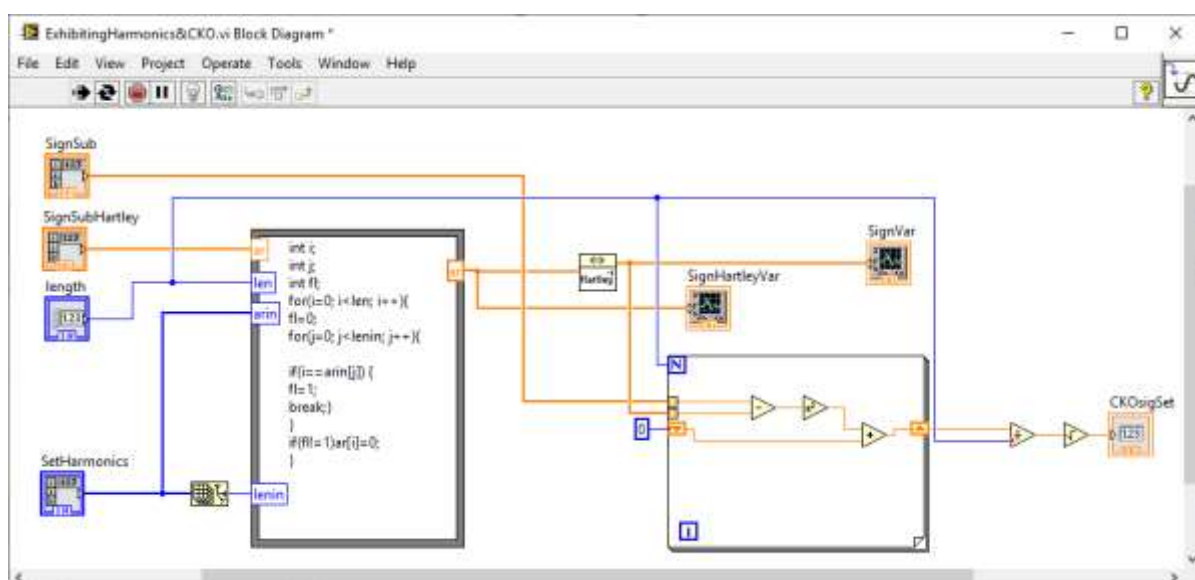


Рис. 3.22 Блок-діаграма BI SignalRecovery

Інтерфейс синтезу сигналів проміжної форми (рис. 3.23) відображає значення спектральних складових сигнілів, виміряних з матеріалів що мають різний ступінь дефектності. Присутній графік значень спектральних складових в залежності від енергії, яка відповідає дефектності матеріала. Встановлюється параметр енергії, з якою було б пошкоджено матеріал. Виводиться розрахований спектр, який відповідає цій дефектності, та сам синтезований сигнал на основі цього спектру.

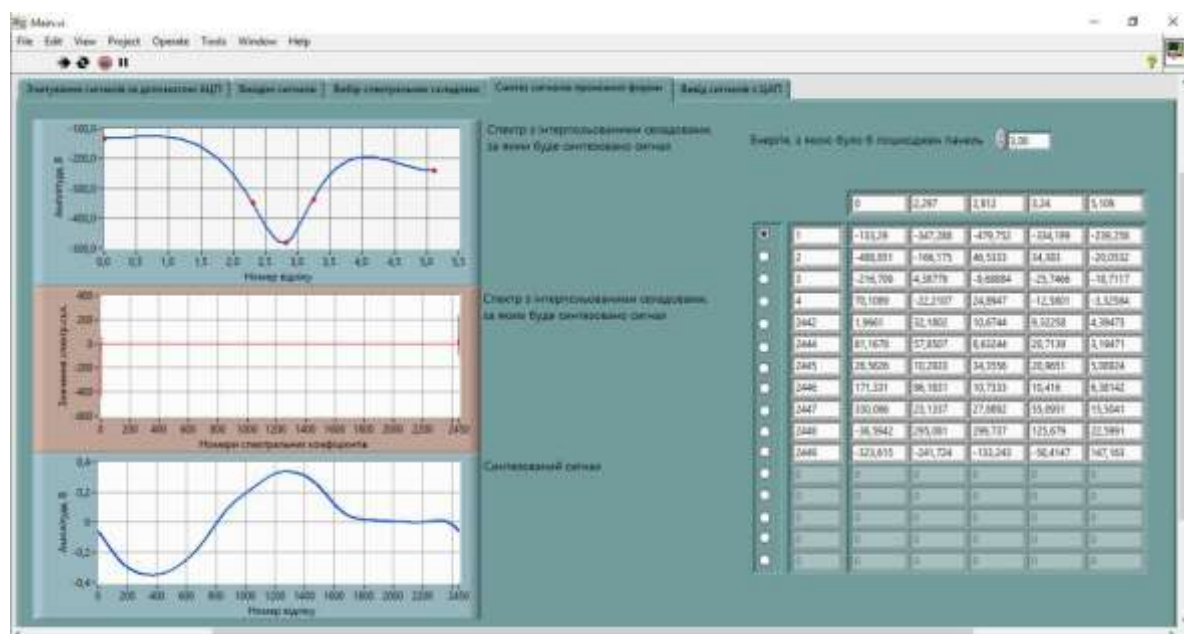


Рис. 3.23 Інтерфейс синтезу сигналів проміжної форми

Блок-діаграма цього інтерфейсу (рис. 3.24) містить розроблені ВІ HarmonicInterpolation та SynthSignBasedInterpolation, що використовують для інтерполяції спектральних складових та синтезу сигналу що відповідає певній дефектності матеріалу.

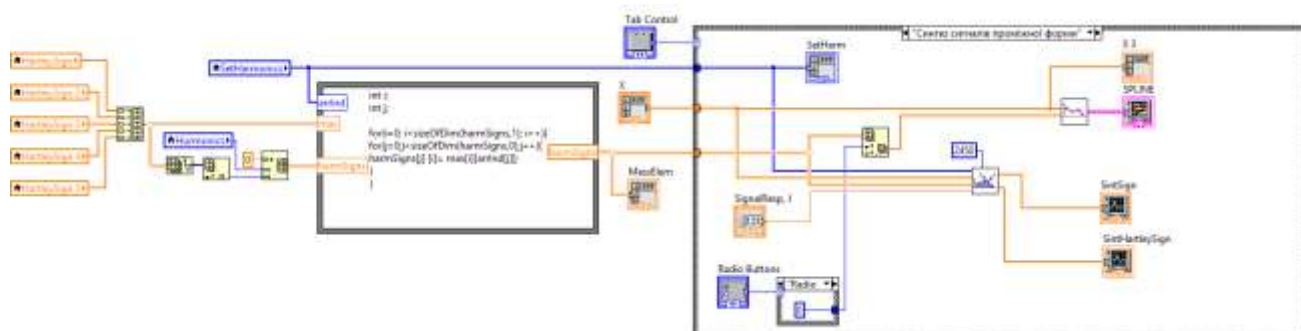


Рис. 3.24 Блок-діаграма інтерфейсу вибору спектральних складових

ВІ HarmonicInterpolation (рис. 3.25, 3.26) використовується для інтерполяції значень спектральних складових однакового порядкового номеру сигналів, що відповідають певній дефектності. Передня панель ВІ має осцилограму, на якій синьою лінією зображено функцію інтерполяції, а червоними точками дані на основі яких вона була побудована.

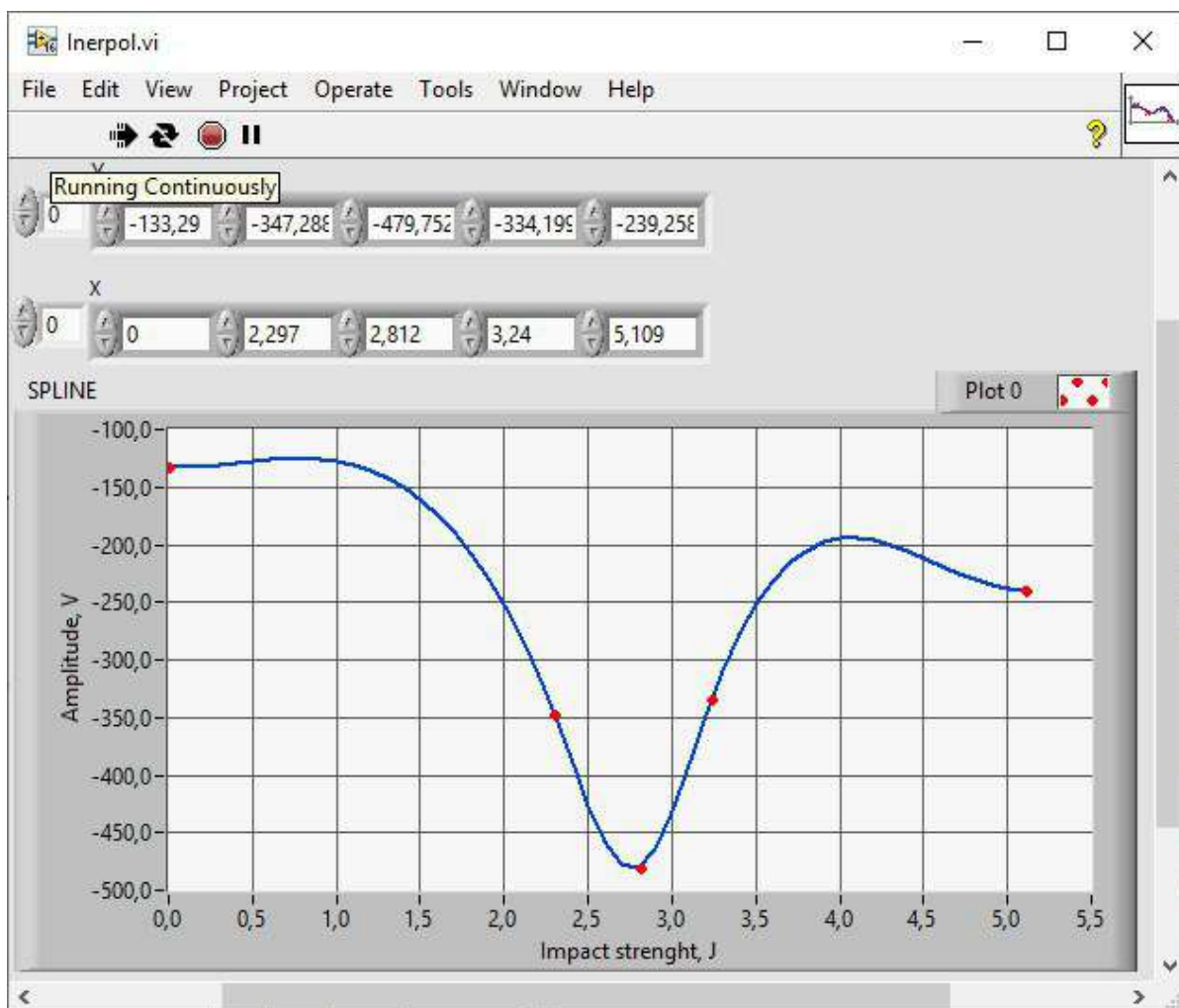


Рис. 3.25 Передня панель ВІ HarmonicInterpolation

Побудований інструмент на основі вбудованих ВІ Spline Interpolation і Spline Interpolant.

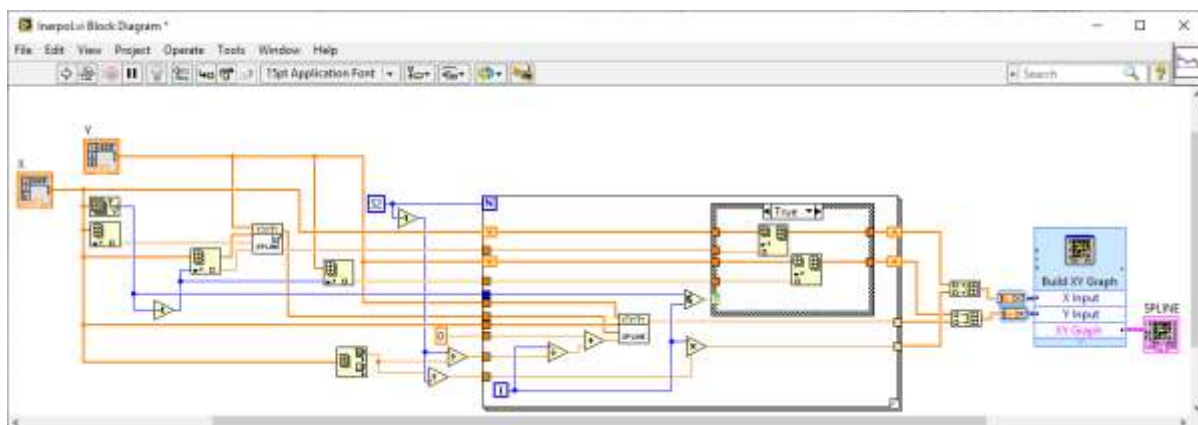


Рис. 3.26 Блок-діаграма VI HarmonicInterpolation

VI SynthSignBasedInterpolation (рис. 3.27, 3.28) синтезує сигнал, що відповідає певній дефектності, на основі проінтерпольованих спектральних складових.

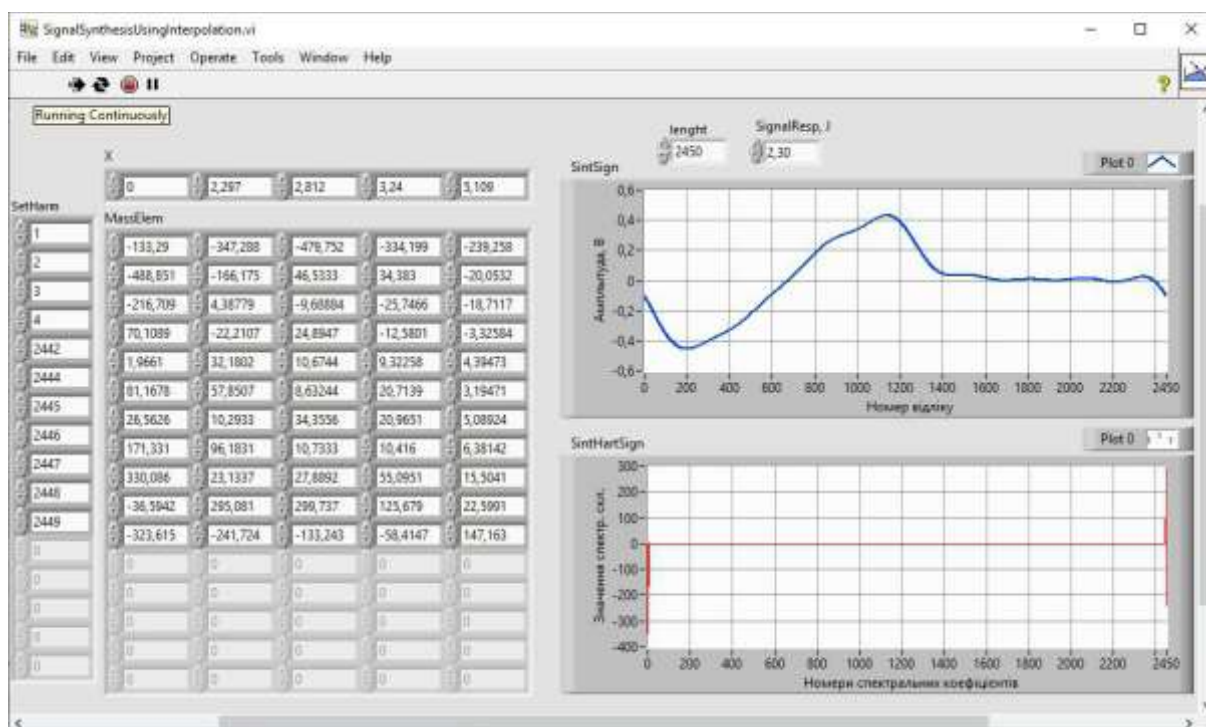


Рис. 3.27 Передня панель VI SynthSignBasedInterpolation

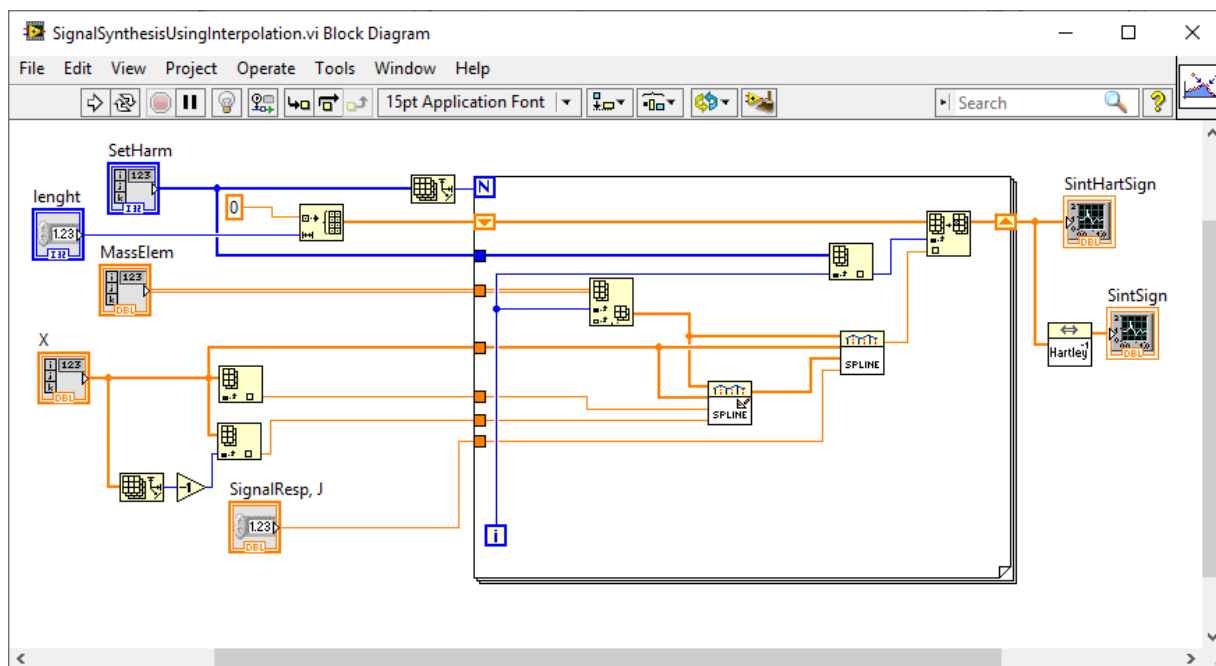


Рис. 3.28 Блок-діаграма BI SynthSignBasedInterpolation

Інтерфейс виводу сигналів за допомогою ЦАП дає можливість вибрати файл, який містить сигнал, встановлювати параметри вихідного сигналу для подальшого його відтворення. На осцилограі інтерфейсу відображається інформаційний сигнал, що буде виводитись.

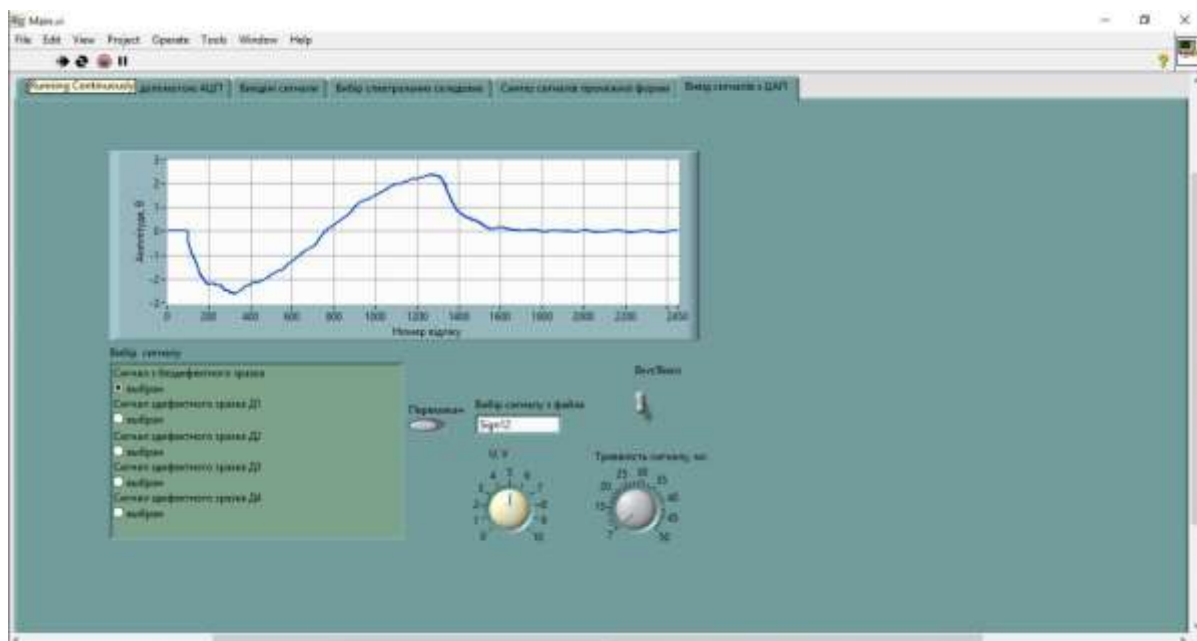


Рис. 3.29 Інтерфейс виводу сигналів за допомогою ЦАП

Блок-діаграма цього інтерфейсу (рис. 3.30) містить розроблений ВІ DACcontrol, який використовує встановлені користувачем параметри виводу сигналу, для керування ЦАП.

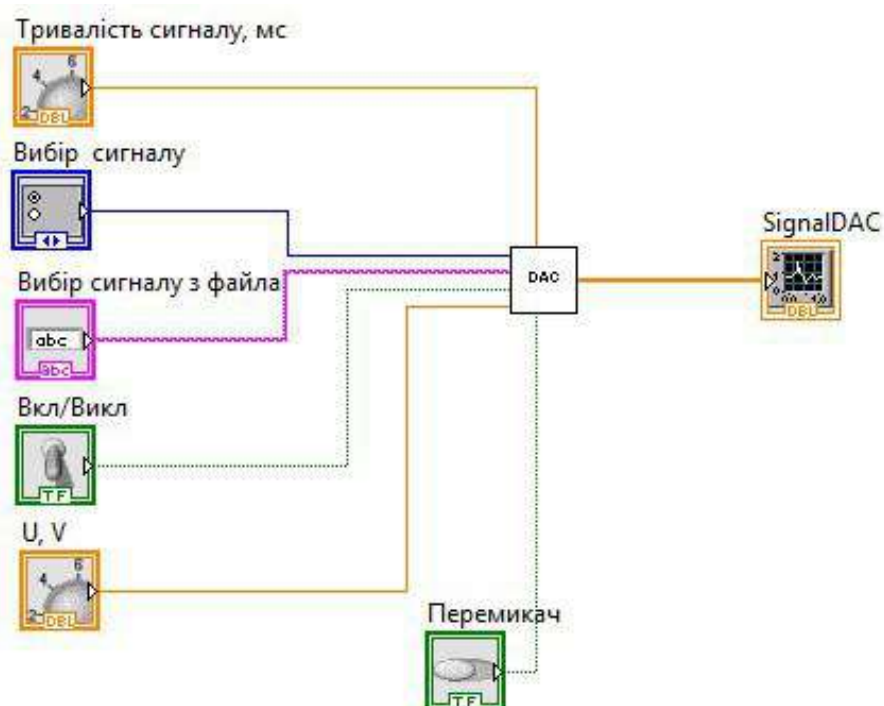


Рис. 3.30 Блок-діаграма інтерфейсу виводу сигналів за допомогою ЦАП

ВІ DACcontrol (рис. 3.31, 3.32) використовується для розрахунку амплітуди напруги сигналу, розраховує необхідну частоту дескритизації ЦАП на основі встановлювані тривалості сигналу. Сигнали для відтворення зчитуються з файлів, це можуть бути як отримані з сигнали з АЦП, так і синтезовані даним програмним забезпеченням.

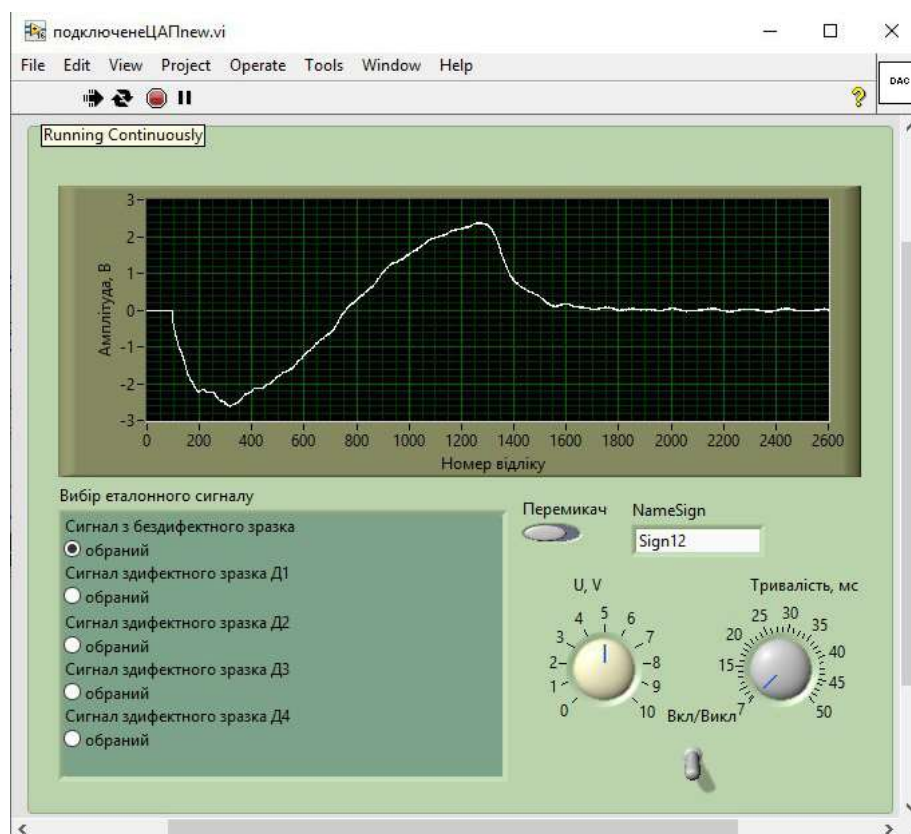


Рис. 3.31 Передня панель VI SynthSignBasedInterpolation

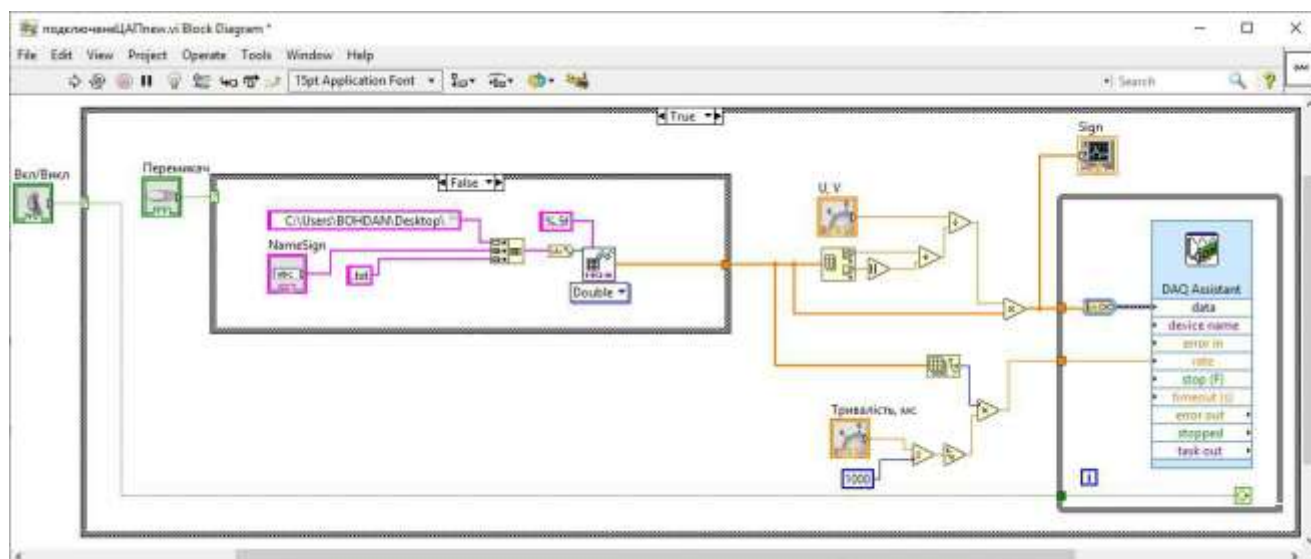


Рис. 3.32 Блок-діаграма VI SynthSignBasedInterpolation

Алгоритм роботи програмного забезпечення синтезу системи відтворення зразкових сигналів приведено на рисунках 3.33-3.34.

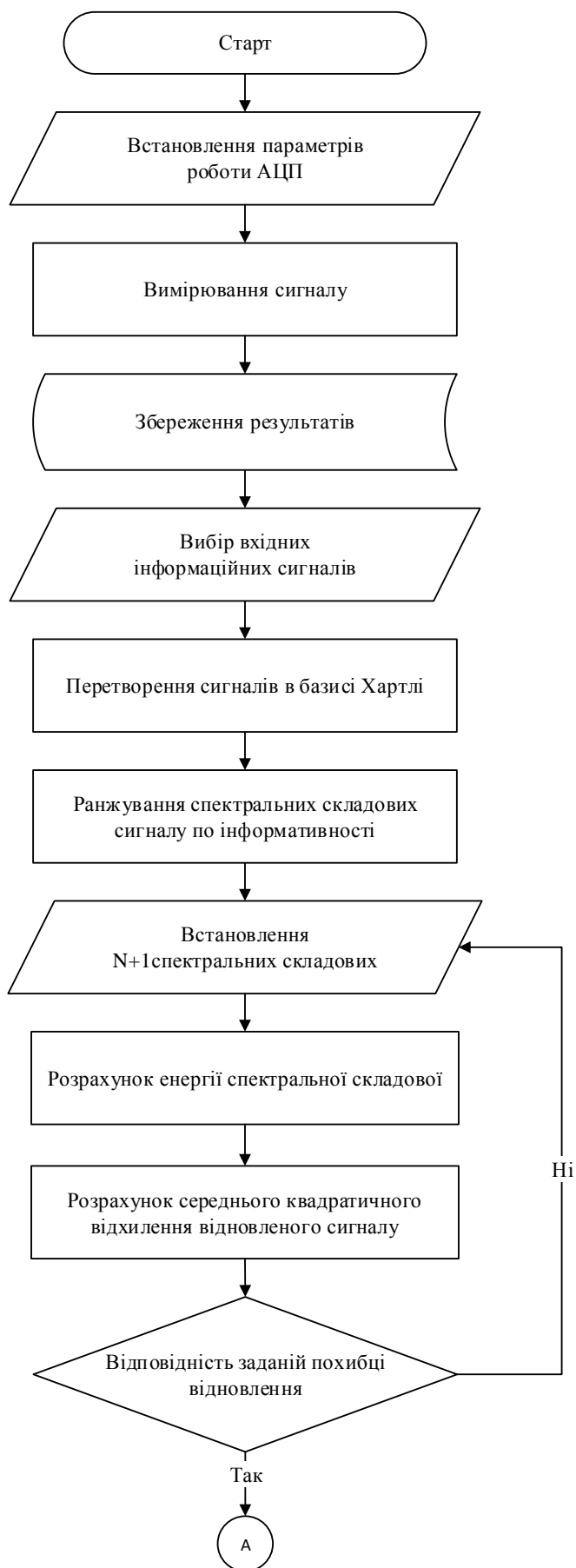


Рис. 3.33 Алгоритм відтворення зразкових сигналів



Рис. 3.34 Продовження алгоритму відтворення зразкових сигналів

3.4. Результати експериментальних досліджень

Існуючі методи та прилади для контролю виробів авіаційного призначення з КМ найчастіше в якості основних інформативних параметрів сигналу використовують параметри, реєстрація яких викликає менше всього ускладнень, а саме: амплітуду, тривалість імпульсу, фазу сигналу тощо. Однак, визначення

форми інформаційного сигналу дефектоскопа надає значно більше інформації про технічний стан об'єкта контролю.

Експериментальні дослідження в роботі виконувались з використанням методу низькошвидкісного удару (МНУ) в якості фізичного методу діагностики [17]. Однак описаний в роботі підхід може бути використаний для інших методів діагностики та відповідних типів інформаційних сигналів: імпедансного, вільних коливань тощо.

В якості характерного прикладу було взято інформативні сигнали МНУ, отримані при дослідженні зразків композиційних панелей із стільниковим заповнювачем типа ІСП-1 і обшивкою на основі склотканини Т42/1-76 (рис. 3.35).

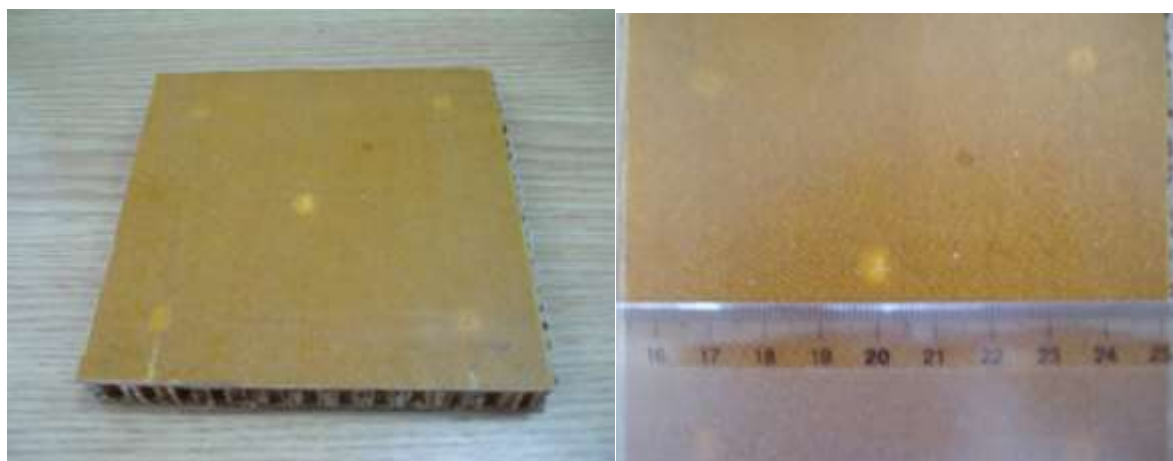


Рис. 3.35 Стільникова панель композиційного матеріалу: справа - зовнішній вигляд панелі, зліва - вигляд зон ушкодження.

Товщина панелі складає 12 мм, товщина обшивки – 1,5 мм. Моделями дефектів служили поверхневі зони із завданням по ним точковим ударом з нормованою енергією в діапазоні від 2,0 до 5,1 кДж. Видимі розміри зон руйнування не перевищували 5 мм. Даний зразок був вибраний тому, що нанесені на нього дефекти є точковими, нормованими, і тому при його дослідженні можна прослідкувати залежність між силою пошкодження поверхні виробу і зміною інформативних параметрів вимірюваних сигналів.

МНУ заснований на вимірюванні параметрів ударного впливу на об'єкт контролю. При впливі на об'єкт бойка, що має кінетичну енергію, виникає імпульс сили ударної взаємодії, що характеризується амплітудою, тривалістю та формою.

За допомогою дефектоскопічної системи, що реалізує МНУ були отримані осцилограми з п'єзоелектричного датчика сили ударної взаємодії в бездефектній зоні і зонах з різними ударними пошкодженнями. Осцилограми інформаційних сигналів ударної взаємодії, що отримано при діагностиці композиційних матеріалів методом низькошвидкісного удару зображено на рисунку 3.36. На рисунку вказана енергія, з якою завдавався пошкоджуючий удар на зразки для отримання моделі дефекту.

Як видно з осцилограм, зі зміною дефектності зразка також змінюються і параметри інформаційних сигналів ударної взаємодії, тобто метод низькошвидкісного удару може бути застосований для виявлення дефектів композиційних матеріалів такого характеру. Але слід зазначити, що метод низькошвидкісного удару не завжди та не для всіх видів композитів ефективно визначає ступінь дефектності контрольованого виробу. Даний метод найбільш ефективний при великому співвідношенні контактної піддатливості в дефектній і бездефектній ділянках.

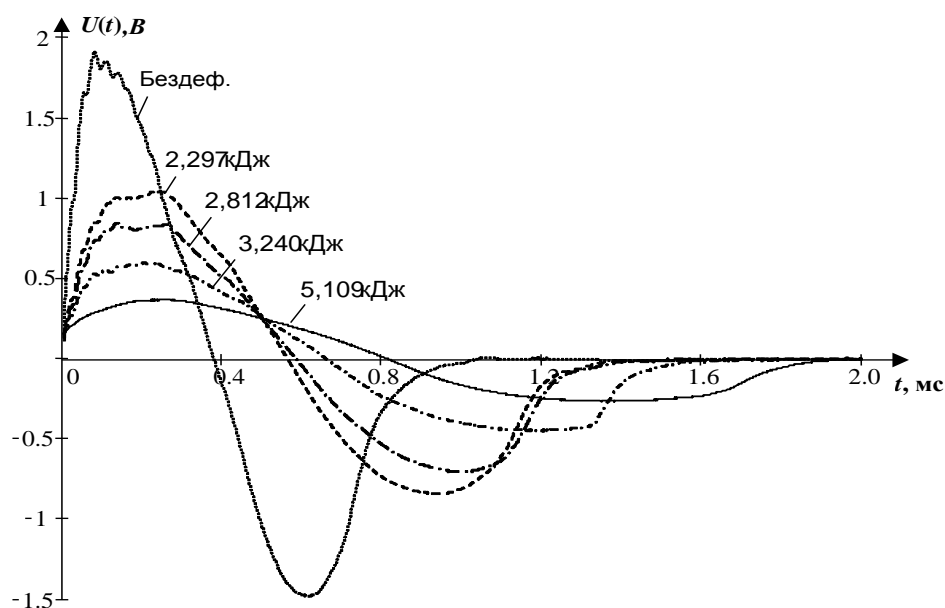


Рис. 3.36 Осцилограми інформаційних сигналів ударної взаємодії

Аналіз форми сигналу дефектоскопа дозволяє отримати більшу кількість інформативних параметрів і забезпечити більш високу завадостійкість приладів. Сучасні обчислювальні системи, пристрої для збору і обробки сигналів дозволяють реалізувати алгоритми аналізу високої складності, тим самим підвищуючи достовірність контролю.

Моделювання інформаційного сигналу в цілому, а не окремих його параметрів, дозволяє розробляти класифікатори, що оперують з усім набором характеристик сигналу і тим самим забезпечують побудову більш адекватних вирішальних правил діагностики.

Для зменшення кількості реальних еталонних зразків, що використовуються для налаштування приладу, розроблений новий метод синтезу інформаційних сигналів дефектоскопа. Запропонований метод дозволяє виконувати синтез будь-якої необхідної кількості інформаційних сигналів, що призводить до зменшення часових, технічних та економічних витрат пов'язаних з виготовленням еталонних зразків.

Осцилограма інформаційного сигналу з бездефектної зони та його спектральні складові в базисі Хартлі відображені на рисунках 3.37 – 3.39.

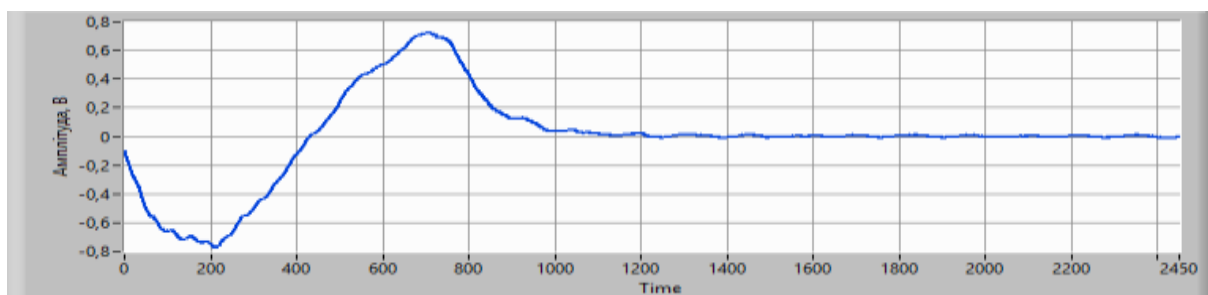


Рис. 3.37 Інформаційний сигнал з бездефектної зони



Рис. 3.38 Перші 30 спектральних складових сигналу з бездефектної зони в базисі Хартлі



Рис. 3.39 Останні 30 спектральних складових сигналу з бездефектної зони в базисі Хартлі

Для таблиць 3.1 – 3.5 питома енергії кожної складової спектра розраховуються за формулою 2.40, значення середньо квадратичної похибки - за формулою 2.41, а приріст питомої енергії сигналу - за формулою 2.42.

Таблиця 3.1

Відбір спектральних складових для інформаційного сигналу з бездефектної зони

№ по порядку	№ спектр. складової	Питома енергія складової	Приріст питомої енергії сигналу	Сер.квдратична похибка
1	3	0,4182	0,4182	0,2354
2	2448	0,1907	0,6089	0,1930
3	2450	0,1833	0,7921	0,1407
4	4	0,0823	0,8743	0,1094
5	2447	0,0514	0,9257	0,0841
6	2	0,0311	0,9568	0,0642
7	2445	0,0115	0,9683	0,0549
8	5	0,0086	0,9769	0,0469
9	2444	0,0057	0,9826	0,0407
10	2449	0,0023	0,9849	0,0379
11	8	0,0022	0,9872	0,0350
12	2441	0,0020	0,9892	0,0321
13	2442	0,0016	0,9908	0,0296
14	2438	0,0016	0,9924	0,0270
15	7	0,0014	0,9937	0,0244

Таблиця 3.2

Відбір спектральних складових для інформаційного сигналу з зони з
пошкодженням 2,30 кДж

№ по порядку	№ спектр. складової	Питома енергія складової	Приріст питомої енергії сигналу	Сер.квадратична похибка
1	2	0,3886	0,3886	0,1778
2	2449	0,2805	0,6691	0,1308
3	2450	0,1883	0,8574	0,0859
4	3	0,0890	0,9463	0,0527
5	2447	0,0298	0,9761	0,0351
6	2445	0,0108	0,9869	0,0260
7	2443	0,0033	0,9903	0,0224
8	2448	0,0017	0,9920	0,0204
9	5	0,0016	0,9936	0,0182
10	2441	0,0015	0,9950	0,0160
11	2437	0,0013	0,9963	0,0138
12	2439	0,0010	0,9973	0,0118
13	19	0,0004	0,9977	0,0109
14	2446	0,0003	0,9980	0,0101
15	2435	0,0003	0,9983	0,0093

Таблиця 3.3

Відбір спектральних складових для інформаційного сигналу з зони з
пошкодженням 2,81 кДж

№ по порядку	№ спектр. складової	Питома енергія складової	Приріст питомої енергії сигналу	Сер.квадратична похибка
1	2	0,6700	0,6700	0,1374
2	2449	0,2615	0,9316	0,0626
3	2450	0,0517	0,9832	0,0310
4	3	0,0063	0,9895	0,0245
5	2446	0,0034	0,9930	0,0201
6	2448	0,0023	0,9952	0,0165
7	5	0,0018	0,9970	0,0130
8	2447	0,0003	0,9974	0,0123
9	2443	0,0003	0,9977	0,0115
10	6	0,0003	0,9980	0,0107
11	4	0,0003	0,9983	0,0100
12	2444	0,0002	0,9985	0,0093
13	2445	0,0002	0,9987	0,0086
14	1	0,0001	0,9988	0,0081

15	2437	0,0001	0,9990	0,0077
----	------	--------	--------	--------

Таблиця 3.4

Відбір спектральних складових для інформаційного сигналу з зони з
пошкодженням 3,24 кДж

№ по порядку	№ спектр. складової	Питома енергія складової	Приріст питомої енергії сигналу	Сер.квадратична похибка
1	2	0,8115	0,8115	0,0657
2	2449	0,1148	0,9263	0,0411
3	2450	0,0248	0,9511	0,0335
4	2448	0,0221	0,9732	0,0248
5	3	0,0086	0,9818	0,0205
6	4	0,0048	0,9866	0,0175
7	2446	0,0032	0,9898	0,0153
8	2445	0,0031	0,9929	0,0128
9	5	0,0011	0,9940	0,0117
10	2447	0,0008	0,9948	0,0109
11	2443	0,0006	0,9955	0,0102
12	2442	0,0006	0,9960	0,0095
13	6	0,0005	0,9966	0,0089
14	7	0,0004	0,9970	0,0083
15	2444	0,0003	0,9973	0,0078

Таблиця 3.5

Відбір спектральних складових для інформаційного сигналу з зони з
пошкодженням 5,11 кДж

№ по порядку	№ спектр. складової	Питома енергія складової	Приріст питомої енергії сигналу	Сер.квадратична похибка
1	2	0,7086	0,7086	0,0626
2	2450	0,2681	0,9767	0,0177
3	2449	0,0063	0,9830	0,0151
4	3	0,0050	0,9880	0,0127
5	4	0,0043	0,9923	0,0102
6	2448	0,0030	0,9953	0,0080
7	2447	0,0005	0,9958	0,0075
8	2446	0,0003	0,9961	0,0073
9	2444	0,0003	0,9964	0,0070
10	1	0,0003	0,9966	0,0068
11	2443	0,0002	0,9969	0,0065
12	2442	0,0002	0,9970	0,0063
13	2441	0,0001	0,9972	0,0061

14	5	0,0001	0,9973	0,0060
15	6	0,0001	0,9975	0,0059

Залежності середньоквадратичної похибки відновлених інформаційних сигналів з різною дефектністю та приросту питомої енергії сигналу від кількості спектральних складових показані на рисунках 3.40-3.41.

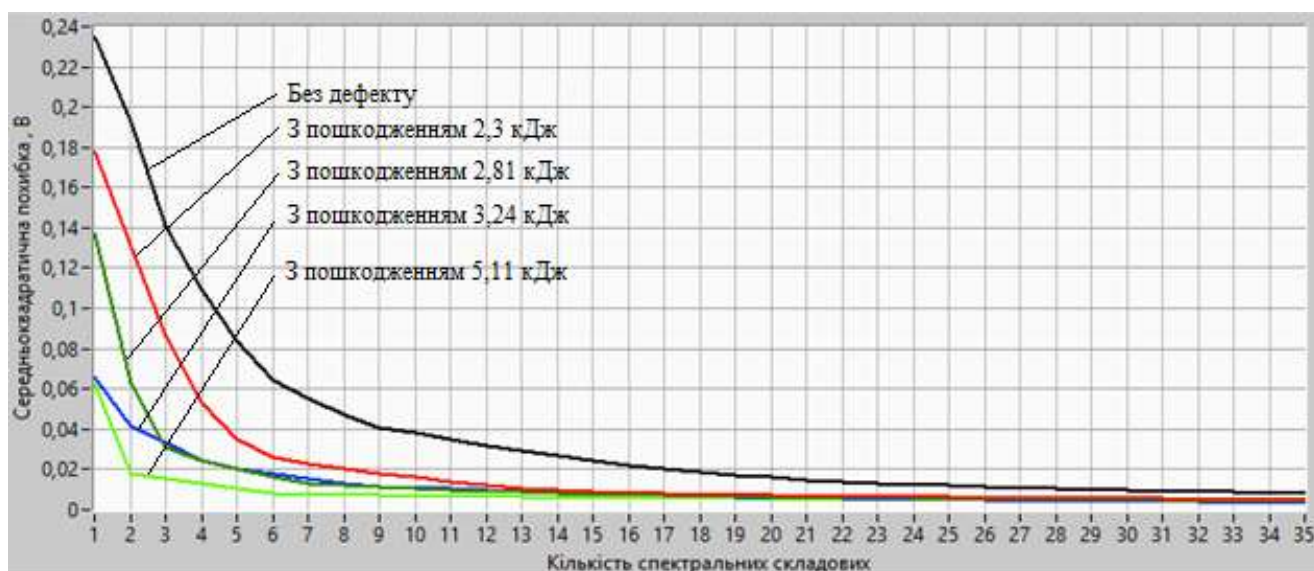


Рисунок 3.40 Графік залежності середньоквадратичної похибки від кількості спектральних складових що використовувались для відновленні сигналу

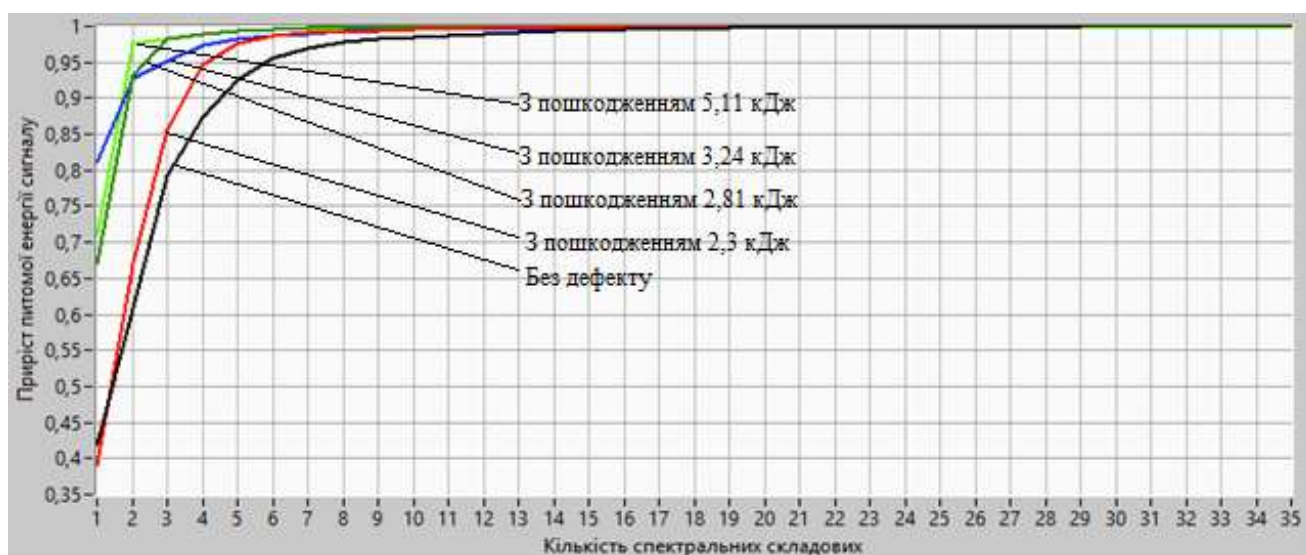


Рис. 3.41 Графік приросту питомої енергії сигналу від кількості спектральних складових що використовувались для відновленні сигналу

Критерієм вибору кількості спектральних складових для відновлення інформаційних сигналів є середньо квадратична похибка. Було задано похибку 0,05 В. Для забезпечення цієї похибки найбільше спектральних складових слід задіяти при синтезі сигналу з бездефектної зони. А саме, 8 спектральних складових ранжируваних по питомій енергії сигналу з бездефектної зони забезпечує похибку 0,047 В. Сигнал синтезований по восьми спектральним складовим зображений на рисунку 3.42. Для інших сигналів відбирається така ж кількість ранжируваних спектральних складових, оскільки для відновлення інформаційних сигналів велику роль грає які саме будуть використовуватись спектральні складові.

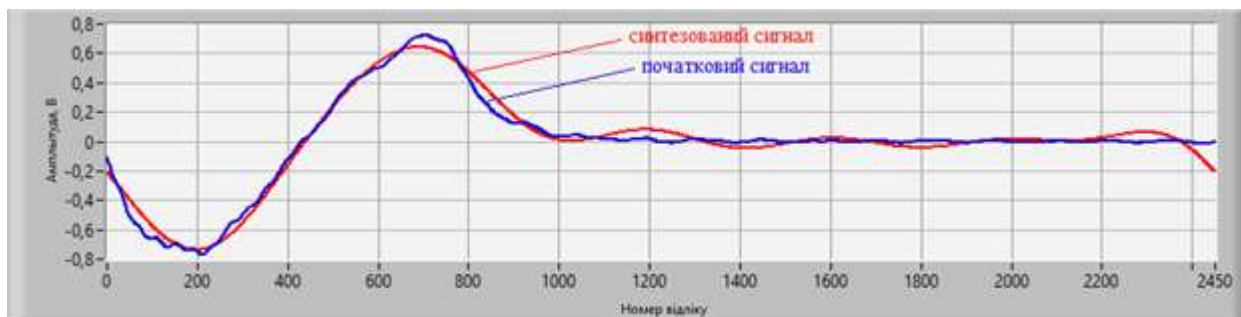


Рис. 3.42 Початковий та синтезований по восьми спектральним складовим інформаційні сигнали

Для подальшої обробки сигналу необхідно забезпечити використання однакових за номером спектральних складових. Для цього набір номерів спектральних складових бездефектного інформаційного сигналу доповнюється номерами інших спектральних складових інформаційних сигналів яких не вистачає. Цей набір номерів буде застосовуватись для кожного інформаційного сигналу. Отже, початкова кількість з 8 спектральних зростає до 11. Згідно нерівності Бесселя, можна зробити висновок, що цієї кількості спектральних складових достатньо щоб забезпечити точність 99% від апроксимації перетворення Хартлі (рис. 3.41).

В таблицю 3.6 зведені значення спектральних складових за якими буде відбуватись відновлення інформаційних сигналів.

Лінійно проінтерполювавши значення спектральних складових з таблиці 3.6, отримуємо значення спектральних складових для побудови інформаційних сигналів, які відповідають зонам з проміжною дефектністю (таблиця 3.7). Для отримання таких сигналів (рисунки 3.43, 3.44), перетворюємо отримані спектральні складові за допомогою зворотного перетворення Хартлі.

Таблиця 3.6

Значення спектральних складових за якими буде відбуватись синтез інформаційних сигналів

№ по порядку	№ спектр. складової	Зони пошкодженості зразка				
		Без дефекту	2,30 кДж	2,81 кДж	3,24 кДж	5,11 кДж
1	2	-133,29	-347,288	-479,752	-334,199	-239,258
2	3	-488,851	-166,175	46,533	34,383	-20,053
3	4	-216,709	4,388	-9,689	-25,747	-18,712
4	5	70,109	-22,211	24,895	-12,58	-3,326
5	2443	1,966	32,18	10,674	9,323	4,395
6	2445	81,168	57,851	8,632	20,714	3,195
7	2446	26,563	10,293	34,356	20,965	5,089
8	2447	171,331	96,183	10,733	10,416	6,381
9	2448	330,086	23,134	27,889	55,095	15,504
10	2449	-36,594	295,081	299,737	125,679	22,599
11	2450	-323,615	-241,724	-133,243	-58,415	147,163

Таблиця 3.7

Значення спектральних складових інформаційних сигналів, які відповідають зонам з проміжною дефектністю

№ спектр. складової	Спектральні складові відповідають зонам з проміжною дефектністю	
	0,28 кДж	2,91 кДж
2	-130,86	-462,55
3	-489,71	57,65
4	-207,99	-13,95
5	63,25	21,45
2443	4,34	9,04
2445	83,45	7,79
2446	24,31	33,68
2447	173,62	5,41
2448	318,96	33,95

2449	-27,59	269,11
2450	-325,84	-114,42

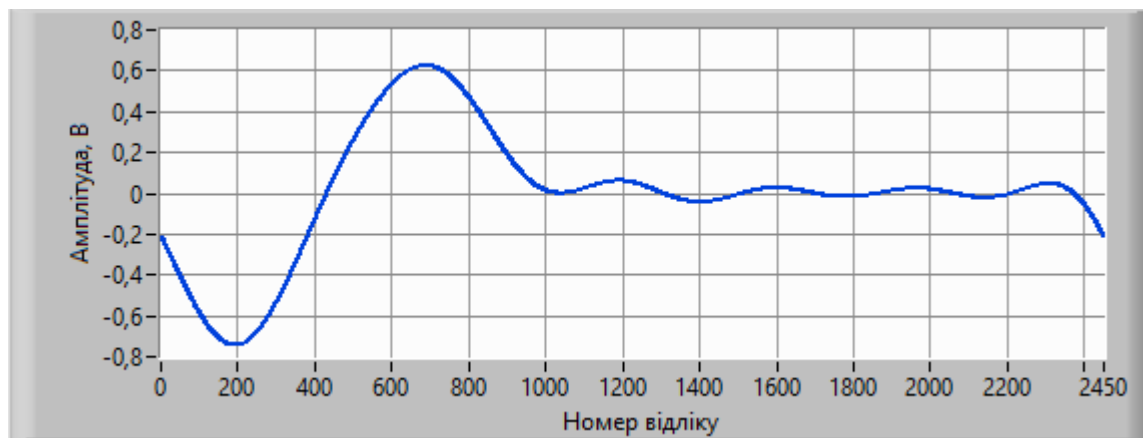


Рис. 3.43 Синтезований сигнал, який відповідає пошкодженню 0,28 кДж

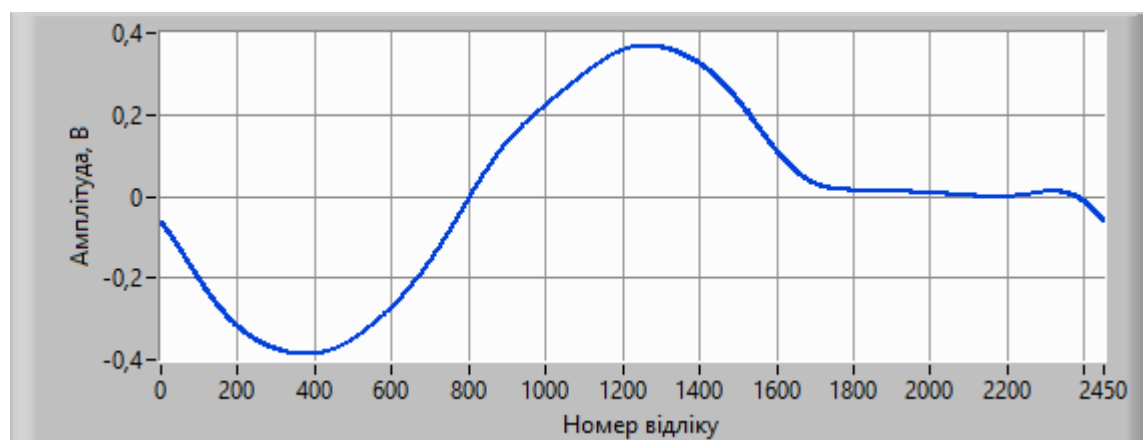


Рис. 3.45 Синтезований сигнал, який відповідає пошкодженню 2,91 кДж

3.5. Аналіз метрологічних характеристик системи відтворення зразкових сигналів

Похибки квантування є наслідком обмеженої розрядності АЦП. Цей недолік не може бути усунено за жодного типу аналого-цифрового перетворення. Абсолютна величина помилки квантування в кожного відліку знаходиться в межах від нуля до половини одиниці молодшого розряду (ОМР). Як правило, амплітуда вхідного сигналу значно більша, ніж ОМР. В цьому випадку похибка квантування не корельована з сигналом і має рівномірний розподіл.

Її середньоквадратичне значення збігається з середньоквадратичним відхиленням розподілу, який дорівнює:

$$\sigma_{\text{кв}} = \frac{1}{\sqrt{12}} \cdot \text{ОМР}. \quad (3.1)$$

Молодший значущий розряд визначається як ступінь квантування:

$$h = \frac{X_{\text{max}} - X_{\text{min}}}{2^n}, \quad (3.2)$$

де X_{max} і X_{min} – граничні значення перетворюваного сигналу, n – розрядність АЦП/ЦАП.

Максимальне значення похибки від квантування АЦП складає:

$$h = \frac{10 - (-10)}{2^{16}} = 0,305 \cdot 10^{-3} \text{ В}.$$

Так як у вибраних АЦП і ЦАП однакова розрядність, та діапазон перетворення, то похибка від квантування в них однакова.

Визначимо середньоквадратичне значення похибки від квантування за формулою 3.1:

$$\sigma_{\text{кв ацп}} = \sigma_{\text{кв цап}} = \frac{0,3052 \cdot 10^{-3}}{2\sqrt{3}} = 0,881 \cdot 10^{-6} \text{ В}.$$

Абсолютна похибка підсилення АЦП та ЦАП розраховується за формулою:

$$\Delta_{\text{підсил}} = \pm \frac{\delta_{\text{підсил}} \cdot X_{\text{н}}}{100\%}, \quad (3.3)$$

де $X_{\text{н}}$ - номінальне значення

Відносна похибка підсилення АЦП $\delta_{\text{підсил}} = 0,02\%$.

Абсолютна похибка підсилення АЦП буде дорівнювати:

$$\Delta_{\text{підсил}} = \pm \frac{0,02\% \cdot 10}{100\%} = 0,002 \text{ В.}$$

Середньоквадратичне значення похибки (невизначеність) підсилення розраховується за формулою:

$$\sigma_{\text{підсил}} = u_{\text{підсил}} = \frac{\Delta_{\text{підсил}}}{2}. \quad (3.4)$$

Невизначеність від підсилення для АЦП буде дорівнювати:

$$u_{\text{підсил}} = \frac{0,002}{2} = 1 \text{ мВ.} \quad (3.5)$$

Відносна похибка підсилення ЦАП $\delta_{\text{підсил}} = 0,03\%$.

Абсолютна похибка підсилення ЦАП буде дорівнювати:

$$\Delta_{\text{підсил}} = \pm \frac{0,03\% \cdot 10}{100\%} = 0,003 \text{ В.}$$

Середньоквадратичне значення, невизначеність, похибки підсилення для АЦП буде дорівнювати

$$u_{\text{підсил}} = \frac{0,003}{2} = 1,5 \text{ мВ.}$$

Диференційна нелінійність АЦП складає ± 2 ОМР, отже невизначеність від нелінійності АЦП буде розраховано як:

$$u_{\text{нелін}} = \frac{2 \cdot 0,305 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3}} = 0,35 \text{ мВ.}$$

Диференційна нелінійність ЦАП ± 1 ОМР, отже невизначеність від нелінійності ЦАП буде розраховано як:

$$u_{\text{нелін}} = \frac{1 \cdot 0,305 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3}} = 0,18 \text{ мВ.}$$

Невизначеність вимірювання:

$$u_{\text{вимір}} = \sqrt{u_{\text{кв}}^2 + u_{\text{підсил}}^2 + u_{\text{нелін}}^2} . \quad (3.6)$$

Розраховане значення невизначеності вимірювання за формулою 3.6:

$$u_{\text{вимір}} = \sqrt{0,000305^2 + 0,001^2 + 0,000352^2} = 0,0011 \text{ В}$$

Невизначеність відтворення знаходиться аналогічно :

$$u_{\text{відтвор}} = \sqrt{0,000305^2 + 0,0015^2 + 0,000176^2} = 0,0015 \text{ В}.$$

Зведена похибка від дискретизації розраховується як:

$$\gamma_{\text{ап max}} = \frac{200\pi f}{f_{\text{д}}}, \quad (3.7)$$

де $f_{\text{д}} = 100 \text{ кВиб/с/канал}$ – частота дискретизації, f – частота сигналу.

Задаємося $\gamma_{\text{ап max}} = 1\%$, тоді,

$$f = \frac{f_{\text{д}} \cdot \gamma_{\text{ап max}}}{200\pi} = \frac{100000 \cdot 1}{200\pi} = 159,15 \text{ Гц}.$$

Це означає, що при частоті сигналу $f \leq 160$ похибка від дискретизації $\gamma_{\text{ап max}}$ не перевищуватиме 1%.

Невизначеність від дискретизації розраховується як:

$$u_{\text{д}} = \frac{\gamma_{\text{ап max}}}{2}. \quad (3.8)$$

Розрахована невизначеність від дискретизації за формулою 3.8:

$$u_{\text{д}} = \frac{1}{2} = 0,5\% .$$

Похибка апроксимація синтезованого сигналу залежить від вибору кількості спектральних складових, на основі яких буде відновлено сигнал, що можна прослідкувати на рисунку 3.45.

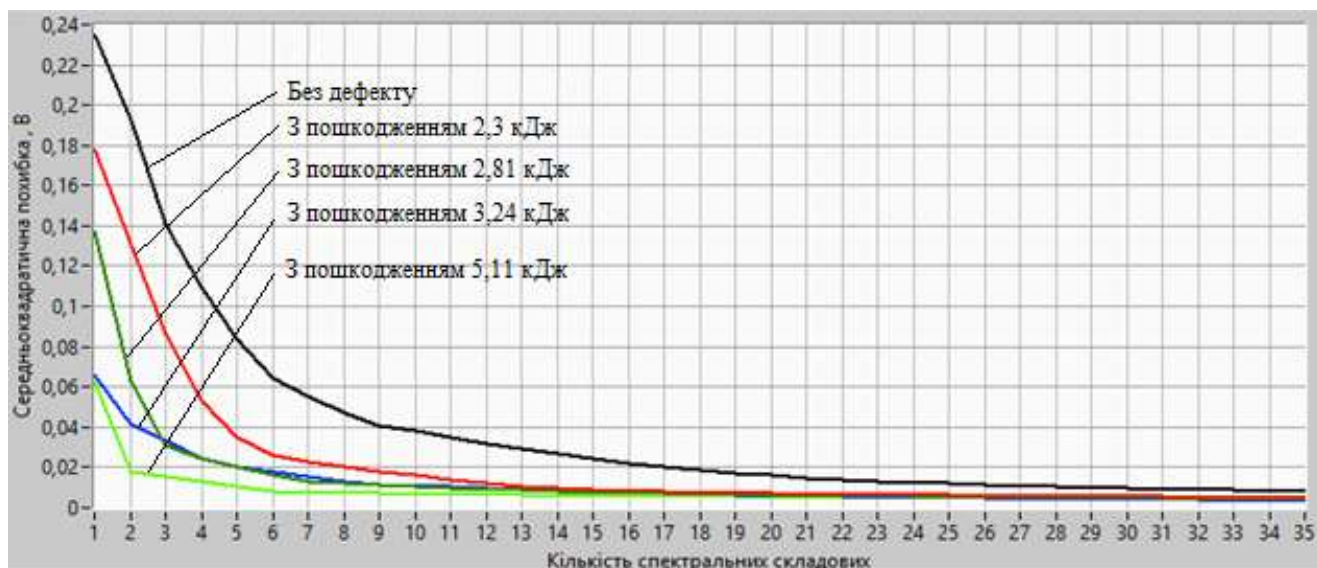


Рис. 3.45 Залежність середньоквадратичної похибки від кількості спектральних складових що використовувались для відновлення сигналу

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

В розділі було розглянуті апаратні засоби системи та програмне забезпечення системи відтворення зразкових сигналів.

Розроблене програмне забезпечення виконує функції:

- вибір інформаційних сигналів та отримання їх спектральних складових в базисі Хартлі;
- пошук найбільш інформативних спектральних складових заданої кількості;
- відновлення інформаційних сигналів по знайденим спектральним складовим;
- розрахунок значень середньоквадратичних похибок відновлених сигналів та приростів питомих енергій сигналів;

- синтез сигналів проміжної форми на основі знайдених спектральних складових за допомогою сплайн-інтерполяції;
- керування АЦП та ЦАП.

Були проведені експериментальні дослідження, які показали працездатність розробленого методу та системи відтворення зразкових сигналів.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «СИСТЕМА ВІДТВОРЕННЯ ЗРАЗКОВИХ СИГНАЛІВ»

4.1. Опис ідеї проекту

Розглянувши в попередніх розділах систему та метод відтворення зразкових сигналів було виявлено, що використання перетворення Хартлі, дає змогу для пошуку найбільш інформативних спектральних складових заданої кількості. В цьому розділі буде проведено аналіз стартап проекту даної системи як товару. Система дає змогу виключити потребу проведення експериментів на реальних зразках та їхнє виготовлення, що призводить до зменшення часових, технічних та економічних витрат

Ідея проекту полягає у створенні системи, яка здатна проводити аналіз, синтез та відтворювати інформаційні сигнали що відповідають заданим характеристикам, що уточнено наведено в таблиці 4.1.

У таблиці 5.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 4.1

Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Створення системи для аналізу і синтезу еталонних інформаційних сигналів з заданими характеристиками	Дефектоскопія	Контроль якості матеріалів і виробів з метою виявлення внутрішніх і прихованих дефектів
	Виготовлення композитних матеріалів	Знаходження пошкоджень або виробничого браку у матеріалах що виготовляються
	Неруйнівний контроль	Отримання необхідних зразків без руйнування виробів

Отже, пропонується новий спосіб синтезу та відтворення зразкових сигналів на основі обмеженої кількості еталонів дефектності матеріалів. Це дозволяє виключити потребу в проведенні експериментів на реальних зразках та їхнє виготовлення, що призводить до зменшення часових, технічних та економічних витрат.

Далі проводимо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

- визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;
- визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних

показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;

- проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко- економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W	N	S
		Мій проект	Конкурент1 PCGU1000	Конкурент2 AG885			
1.	Витрата електроенергії при використанні	Низька	Низька	Висока	-	+	-
2.	Функціональність програмного інтерфейсу	Багатофункці ональний, зручний та зрозумілий	Малофункці ональний	Має багато функцій, але складний	-	-	+
3.	Мобільність	Компактний	Компактний	Великі розміри	-	+	-

Продовження табл. 4.2

4.	Простота конструкції	Проста конструкція	Проста конструкція	Складна конструкція	-	+	-
5.	Показники надійності системи	Високий рівень надійності	Досить надійний	Досить надійний	-	-	+
6.	Торгова марка	Немає	Є	Є	+	-	-

Висновок: після оцінки характеристик та ідей товару можна дійти до висновку, що продукт є конкурентоспроможним. Розробка даного проекту цілком обумовлена потребою в ньому, адже по всім техніко-економічним характеристикам він є з аналогічним, або ж навіть краще за них. Не потребує особливих навиків у користувача, тому не має необхідності у додатковому навчанні.

4.2. Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводимо аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проекту.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Розробка структурної схеми	Використання ПК та програм для розробки	Наявна технологія	Доступна
2.	Розробка алгоритмів програмного забезпечення	Методи математичного аналізу, статистики	Розроблена технологія	Доступна
3.	Розробка програмного забезпечення	Програмне середовище LabVIEW	Наявна технологія	Відносно доступна

Відповідно до інформації можна стверджувати, що технологічна реалізація для здійснення ідеї проекту доступна. Технологічна реалізація проекту можлива, тому що всі технології наявні на ринку. Проаналізувавши усі доступні варіанти мов програмування можна зробити висновок що для реалізації проекту безперечно найбільше підходить середовище розробки LabView.

4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

Це дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (табл. 4.4).

Таблиця 4.4

Попередня характеристика потенційного ринку стартап проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	2
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	500 000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Відсутні
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Вимоги до ГОСТУ
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	60%

Якщо проаналізувати табл. 4.4 можна зробити висновок, що безперечно стартап є рентабельним та швидко окупиться, отже можна сказати, що система відтворення зразкових сигналів є досить привабливим для інвестицій.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.5).

Таблиця 4.5

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Потреба у здешевленні налагодження апаратури для контролю дефектності	Підприємства на яких виготовляються композитні матеріали	Фінансові можливості.	Висока якість, індивідуальний підхід, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс,

матеріалів складних та дорогих у виготовленні, адже під час контролю вони руйнуються			швидкодія; висока точність розрахунків, оптимальне співвідношення ціни та якості.
	Інспекційні установи		
	Дослідницькі інститути		

Згідно з проаналізованими потребами споживачів робимо висновок, що стартаппроєкт їх задовольняє. Основними споживачами є підприємства на яких виготовляються композитні матеріали, інспекційні установи, дослідницькі інститути, адже для даної групи споживачів ця система допоможе зменшити витрати на руйнування еталонних зразків, що сприятливо впливатиме на їх економічний стан.

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (таблиці 4.6-4.7). Аналіз факторів дає змогу побачити можливості і загрози. Методика визначення ринкових можливостей і загроз дозволяє оцінити вплив зовнішніх чинників. При застосуванні даної технології існують певні загрози. (табл. 4.6).

Таблиця 4.6

Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Нові технології	Застарілість товару	Модернізація методу, впровадження нових технологій
2.	Висока конкурентність	Зменшення продажу	Більша рекламна акція
3.	Криза	Зменшення продажу	Зменшення ціни товару
4.	Новоутворені	Збільшення	Вдосконалення методу;

	фірми	конкурентоздатних методів відтворення зразкових сигналів	маркетингова діяльність.
5.	Фактор попиту	Важко визначити точні темпи зростання ринку	Зменшення кількості продукції, низька собівартість зробить можливі збитки незначними

У відповідності з проаналізованими факторами загроз робимо висновок, що велику загрозу мають фактори появи нових фірм і технологій. Поява більш обґрунтованого методу відтворення зразкових сигналів призведе до можливих змін самого способу або ж до впровадження нових технологій.

Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (табл. 4.7).

Таблиця 4.7

Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Фактор збуту	Можливість впровадження програми через національну закупівлю	Сертифікація товару за міжнародними стандартами, що збільшить його привабливість для національних тендерів

Продовження табл. 4.7

2.	Впровадження нових технологій	Якісне покращення основних параметрів продукту	Підвищення попиту; підвищення ціни
3.	Високий попит на продукт	Збільшення виробництва товару та товарообігу	Покращення товару
4.	Потреба в доступності	Актуальна розробка з низькою собівартістю	Залучення іноземних інвестицій
5.	Впровадження	Покращення методу	Патентування нових ідей,

	нових технологій		методів
--	------------------	--	---------

Робимо висновок, що найвпливовішими факторами можливостей є фактор збуту на ринку та впровадження нових технологій, що призведе до модернізації існуючого методу та збільшенні попиту на майбутні сконструйовані присторі на основі розроблених методів аналізу та синтезу сигналів.

Далі проводиться аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку (табл. 4.8).

Таблиця 4.8

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Чиста конкуренція	Окремі покупці і продавці не можуть впливати на ціну.	Фокусування діяльності підприємства на якість товару.
2. Національна конкуренція	Між компаніями всередині країни.	Варіація об'ємів виробництва, співпраця з науковими лабораторіями.
3. Внутрішньогалузева конкуренція	Конкурентна боротьба між підприємствами в межах однієї галузі.	Формування ринкової вартості товару.
4. Товарно-видова конкуренція	Конкуренція між товарами одного виду	Конструювання нових систем для реалізації нових методів

Продовження табл. 4.8

5. Нецінова конкуренція	Вдосконалення якості продукції та умов її продажу.	Зміни у виробництві; додаткові витрати, підвищення рівня довіри клієнтів.
6. Марочна конкуренція	Конкурентні компанії пропонують подібний продукт.	Зниження цін на товар; концентрація діяльності на якісну зміну продукту. Створення власної торгової марки

Проаналізувавши дані можна зробити висновок, що запропонований напрямок щодо реалізації методу демонструє високу конкурентоспроможність. Найбільш небезпечними є товарно-видова та нецінова конкуренція.

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (табл. 4.9).

Таблиця 4.9

Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	В Україні таких не має; В Європі: “SigNoise”	Малий бар’єр входження в ринок	Невелика собівартість	Невелика собівартість; Велика точність	Є фактори загроз з боку замінників
Висновки	Середнє	Є можливості входу на ринок, є потенційні конкуренти;	Збільшення співвідношення ціни та якості	Збільшення співвідношення ціни та якості	Відсутнє

За результатами аналізу таблиці 4.9 можна зробити висновок, що в запропонованому проекті є всі можливості потрапити на ринок, враховуючи низьку конкуренцію та відмінність від існуючих аналогів.

На основі аналізу конкуренції, проведеного (табл. 4.9), а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (табл. 4.2), вимог споживачів до товару (табл. 4.5) та факторів маркетингового середовища (табл. 4.6-4.7) визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз оформлюється за табл. 4.10.

Таблиця 4.10

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№	Фактор	Обґрунтування (наведення чинників, що
---	--------	---------------------------------------

п/п	конкурентоспроможності	роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Швидкодія	Генерація сигналу менш ніж за 0,5 мс, завдяки використанню FFH
2	Багатофункціональність	Виконує функції аналізу та синтезу одночасно
3	Дешевизна	Доступність для будь якого клієнта
4	Відсутність прямих конкурентів в країні	Відсутність прямих конкурентів дає можливість програмі претендувати на державні закупівлі, та маніпулювати ринком, доки конкуренти не з'являться.
5.	Мобільність	Досить компактна система

Можна зробити висновок, згідно з обґрунтуванням факторів конкурентоспроможності, що запропонований метод має ряд досить суттєвих факторів які мають безпосередній вплив на можливість конкурування системи відтворення сигналів і дають змогу розглядати його для залучення коштів у проект.

Проведемо порівняльний аналіз сильних та слабких сторін стартап проекту (табл. 4.11).

Таблиця 4.11

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Системи відтворення зразкових сигналів»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з SigNoise						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Швидкодія	19						+	
2	Багатофункціональність	17							+
3	Дешевизна	18						+	

Продовження табл. 4.11

4	Відсутність прямих конкурентів	15		+					
5.	Мобільність	14				+			

З таблиць 4.10 та 4.11 бачимо, що фактори конкурентоспроможності суттєві та мають великий позитивний внесок при впровадженні нової системи

відтворення зразкових сигналів. Основною перевагою та головним досягненням є дешевизна продукту та його багатофункціональність.

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (табл. 4.12) на основі виділених ринкових загроз й можливостей, та сильних і слабких сторін (табл. 4.11).

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення. Наприклад: зниження доходів потенційних споживачів – фактор загрози, на основі якого можна зробити прогноз щодо посилення значущості цінового фактору при виборі товару та відповідно, – цінової конкуренції (а це вже – ринкова загроза).

Таблиця 4.12

SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: швидкодія; багатофункціональність; дешевизна	Слабкі сторони: мобільність; наявність прямих конкурентів
---	---

Можливості: можливість впровадження програми через національну закупівлю; якісне покращення основних параметрів продукту; збільшення виробництва товару та товарообігу; актуальна розробка з низькою собівартістю; покращення методу	Загрози: застарілість товару; зменшення продажу; зменшення продажу; збільшення конкурентоздатних методів відтворення зразкових сигналів; важко визначити точні темпи зростання ринку
--	--

З таблиці 4.12 можна зробити висновок, що сильна сторона: багатофункціональність системи, її дешевизна, швидкодія; а слабка: мобільність розробленої системи, наявність прямих конкурентів.

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок (табл. 4.9). Альтернативи ринкового впровадження основі SWOT-аналізу наведені в таблиці 4.13.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів.

Таблиця 4.13

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Висока	1 місяць

Продовження табл. 4.13

2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями	Низька	8 місяців
3	Стратегія виходу з ринку	Висока	2 місяці

З зазначених альтернатив обираємо стратегію компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями.

4.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 4.14

Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Підприємства	Готові	Зростає	Наявні	Легко
2	Інспекційні установи	Частично готові(50%)	Середній попит	Наявні	Можливість входу 65%
3	Дослідницькі інститути	Готові	Спадає	Наявні	Легко
Які цільові групи обрано: Під час аналізу потенційних груп споживачів було прийнято рішення що компанія буде працювати із промисловими компаніями.					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів ми обрали цільову групу приватні підприємства. Отже, компанія зосереджується на одному сегменті – вона обирає стратегію концентрованого маркетингу.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформулювати базову стратегію розвитку (табл. 4.15).

Таблиця 4.15

Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до	Базова стратегія розвитку
--------------------------------------	---------------------------	---	---------------------------

		обраної альтернативи	
Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Концент- рований маркетинг	Швидкодія, багатофункціональність, співвідношення якості та ціни	Стратегія спеціалізації

Альтернативною стратегією була обрана нейтралізація ринкових загроз сильними сторонами стартапу, оскільки вона найшвидша у виконанні. В якості базової стратегії розвитку обрано стратегію концентрації – зосередження на одному споживчому сегменті. За цим же критерієм була обрана базова стратегія розвитку- стратегія спеціалізації, так як ми маємо справу з невеликою часткою ринку, які вибирають адаптивну лінію поведінки на ринку, усвідомлюють своє місце на ній і йдуть у фарватері фірм-лідерів.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.16).

Таблиця 4.16

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Частково продукція є першопрохідцем на ринку	Буде шукати нових, а також забирати існуючих у конкурентів	Буде, з удосконаленням	Стратегія заняття конкурентної ніші

В якості конкурентної поведінки обрано стратегію заняття конкурентної ніші, оскільки головною особливістю є малий розмір ринкового сегменту. Ця конкурентна стратегія являється похідною від такої базової стратегії компанії, як концентрація.

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціонування яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект (табл. 4.17).

Таблиця 4.17

Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Швидкодія	На основі специфічних відчутних характеристик	Генерація сигналу менш ніж за 0,5 мс, завдяки використанню FFH	Швидкість, що зможе заощадити ваш час

Продовження табл. 4.17

2	Багатофунк-	позиціонування	Виконує функції	Аналізує та синтезує
---	-------------	----------------	-----------------	----------------------

	ціональність	за двома ознаками	аналізу та синтезу одночасно	
3	Дешевизна	на низькій ціні	Вартість 15 000 грн	Використовуйте кошти раціонально

Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку.

4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 4.18 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.18

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Швидке отримання інформації	Швидкодія	Генерація сигналу менш ніж за 0,5 мс, завдяки використанню FFH
2	Виконання декількох функцій	Багатофункціональність	Виконує функції аналізу та синтезу одночасно
3	Низька ціна	Дешевизна	Вартість 15 000 грн

Ключові переваги концепції потенційного товару мають три основних вимоги та реалізуються у запропонованій системі відтворення сигналів. Ефективність відтворення досягається за рахунок використання нового методу синтезу сигналів.

Опис трьох рівнів моделі товару приведено в таблиці 4.19

Таблиця 4.19

Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Споживач отримує готовий продукт. Його можна експлуатувати без подальшої обробки		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Багатофункціональність	Нм	Тх
	2. Швидкодія	Нм	Тх
	3. Зрозумілий інтерфейс користувача	Нм	Тх
	4. Компактність	М	Тл
	5.Дешевизна (низька ціна на товар)	М	Е
	6. Якість	М	Тх
	Якість: стандарти, нормативи, параметри тестування тощо		
	Пакування: ключ продукту в пластиковій коробці		
Марка: SASS (System for analysis and synthesis of signals)			
III. Товар із підкріпленням	До продажу: підтримка програмного продукту до 5 років		
	Після продажу: знижка на наступні придбання; при підписанні договору повне обслуговування та оновлення продукту, додаткові консультації по експлуатації.		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Патентування технології, новітні технології шифрування та захисту даних			

Маємо модель системи, метою якої є аналіз, синтез та відтворення зразкових сигналів. Система багатофункціональна, швидкодіюча, якісний, компактна, зрозуміла для користувача, дешевша в порівнянні з аналогами. До продажу: підтримка програмного продукту до 5 років. Після продажу: знижка на наступні придбання; при підписанні договору повне обслуговування та оновлення продукту, додаткові консультації по експлуатації.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 4.20).

Таблиця 4.20

Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
від 18 300	від 35 00	від 100 000₴ до «необмежений»(різні підприємства, лабораторії тощо)	10000-15000 (оскільки надається є додаткові послуги в налаштування та консультаціях експлуатування)

Встановлюємо верхню та нижню межі ціни на товар 10000 та 15000 грн так можуть надаватись додаткові послуги при впровадженні системи. Встановлювати ціну нижче 12000 грн не є досить вигідним рішенням, але навіть і з цією ціною затрати повністю окупаються.

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 4.21):

- проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);
- вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;
- вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 4.21

Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Обережність до альтернативних технологій	1. Встановлення контактів із споживачами; 2. Надання послуг по демонстрації чи консультацій з приводу роботи системи; 3. Відправка товару споживачу.	Дворівневий канал. Включає в себе роздрібних та оптових торговців.	Ексклюзивний збут означає, що продукт продається в одному чи декількох місцях географічно обмеженого ринку.

Був обраний вид ексклюзивного збуту з дворівневим каналом, що включає в себе як оптові так і роздрібні продажі товару. Основні функції, які мають

виконуватися це встановлення контактів із споживачами, Надання послуг по демонстрації чи консультацій з приводу роботи системи.

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 4.22).

Таблиця 4.22

Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Орієнтація на впровадження системи у всі доступні галузі	1.Електронна пошта. 2.Публікації 3.Формальні та неформальні канали комунікацій	1.Дешивизна; 2. Швидкодія; 3.Багатофункціональність.	Інформування споживачів; Розвиток попиту; Стимул продажу Пошук вигідних партнерів.	Контент-маркетинг; Публікації

Основною задачею рекламної компанії є донесення інформації про існування даної системи, її ефективність та інші позитивні властивості.

Результатом пункту 5 є ринкова (маркетингова) програма, що включає в себе концепції товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення, спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки.

ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 4

Узагальнюючи проведений аналіз стартап проекту можна зробити висновок що розробка даного проекту цілком обумовлена потребою в ньому, адже по всім техніко-економічним характеристикам він або рівний з аналогічними програмами, або ж навіть краще за них. Вартість даної системи є більш привабливою за аналогічні системи. На відміну від аналогів система є багатофункціональністю, має простий та зрозумілий інтерфейс, швидкодійна, має компактні розміри. Проект має високий відсоток окупності 60%. Крім того є багато можливостей в його подальшому розвитку, таких як розширення функцій, сертифікація товару за міжнародними стандартами, що збільшить його привабливість для національних тендерів, підвищення попиту, підвищення ціни, покращення товару, залучення іноземних інвестицій, патентування нових ідей та методів.

Альтернативною стратегією була обрана нейтралізація ринкових загроз сильними сторонами стартапу, оскільки вона найшвидша у виконанні. В якості базової стратегії розвитку обрано стратегію концентрації – зосередження на одному споживчому сегменті. За цим же критерієм була обрана базова стратегія розвитку - стратегія спеціалізації, так як ми маємо справу з невеликою часткою ринку, які вибирають адаптивну лінію поведінки на ринку, усвідомлюють своє місце на ній і йдуть у фарватері фірм-лідерів.

В якості конкурентної поведінки обрано стратегію заняття конкурентної ніші, оскільки головною особливістю є малий розмір ринкового сегменту. Ця конкурентна стратегія являється похідною від такої базової стратегії компанії, як концентрація.

Був обраний вид збуту з першого і другого рівня, що включає в себе як посилкову торгівлю, так і оптові й роздрібні продажі товару.

Підсумуючи, можна сказати, що система відтворення зразкових сигналів є рентабельним та вигідним для інвестицій.

ВИСНОВКИ

1. У магістерській дисертації було проведено аналіз існуючих методів синтезу сигналів із заданими характеристиками, також були розглянуті прилади для формування сигналів з заданими характеристиками та їх програмних компонентів. Виходячи з цього, можна стверджувати, що є доцільним розробка методу та системи відтворення зразкових сигналів.

2. Під час виконання роботи було розроблено метод та систему відтворення зразкових сигналів, яка була доведена до макету працюючої системи.

Розроблене програмне забезпечення в середовищі LabVIEW дозволяє:

- отримувати сигнал в базисі перетворенні Хіртлі;
- пошук найбільш інформативних спектральних складових;
- відновлювати інформаційні сигнали по знайденим спектральним складовим;
- розраховувати середньоквадратичні похибки відновлених сигналів та приростів питомих енергій сигналів;
- синтезувати сигнали проміжної форми на основі знайдених спектральних складових за допомогою сплайн-інтерполяції;
- керувати АЦП та ЦАП.

3. Проведені експериментальні дослідження підтверджують працездатність системи.

4. Практична значущість розробленої системи полягає у тому, що виключає потребу проведення експериментів на реальних зразках та їхнє виготовлення, що призводить до зменшення часових, технічних та економічних витрат.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. В.С. Еременко, В.М. Мокийчук, О.О. Редько. Методология измерения параметров дефектов композиционных материалов // Научни известия: Дни на безразрушителния контрол 2018, Созопол (България). – 2018. – №1(238). – Режим доступа: www.bg-s-ndt.org/NDT_Days/2018.html.
2. Tomaž Kos, Tomaž Kosar, and Marjan Mernik. Development of data acquisition systems by using a domain-specific modeling language. Computers in Industry, 63(3):181–192, 2012
3. Как устроен генератор сигналов произвольной формы (AWG) [Электронный ресурс] // Keysight Technologies. – 30.05.2018. – Режим доступа до ресурсу: <https://community.keysight.com/community/keysightblogs/russia/blog/2018/05/30B-awg>
4. Способ формирования сигналов произвольной формы [Электронный ресурс] // FREEPATENT – Режим доступа до ресурсу: <http://www.freepatent.ru/patents/2051414>
5. Multi-Function DAQ-2500 Series [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://www.adlinktech.com/Products/Data_Acquisition/Multi-FunctionDAQ/DAQ-2500_Series?lang=en
6. 2MHz USB PC FUNCTION GENERATOR [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.velleman.eu/products/view/?id=366646>
7. Генератор функций AFG31000 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://ru.tek.com/signal-generator/afg31000-function-generator>
8. Программное обеспечение ArbExpress® для генераторов сигналов [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://ru.tek.com/product-software-series/arbexpress-signal-generator-software>
9. MATLAB [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://exponenta.ru/products/matlab>

10. Simulink [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://exponenta.ru/products/simulink>
11. Signal Processing Toolbox [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://exponenta.ru/products/signal-processing-toolbox>
12. LabVIEW [Електронний ресурс] // wikipedia. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>
13. Оксанич А. П. Програмні засоби систем управління (LabVIEW) : навч. посіб. для студ. ВНЗ / А. П. Оксанич, С. Е. Притчин, В. Р. Петренко. - Кривий Ріг : Мінерал, 2007. - 503 с. - Бібліогр.: с. 503. - укр.
14. Цымбал В.П. Теория информации и кодирование /4-е изд., перераб. и доп.— К. : Вища шк., 1992, 263 с.: ил.
15. Залманзон Л.А. Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат.лит., 1989. — 496 с.
16. Брейсуэлл, Р. Преобразование Хартли. Теория и приложения / Р. Брейсуэлл; пер. с англ. А. И. Папкина. — М.: Мир, 1990. — 175с.
17. Еременко, В.С. Обнаружение ударных повреждений сотовых панелей методом низкоскоростного удара / В.С. Еременко, В.М. Мокийчук, А.М.Овсянкин // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2007. – №1. – С. 24-27.
18. CompactDAQ [Електронний ресурс] // wikipedia. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://en.wikipedia.org/wiki/CompactDAQ>
19. Шасси CompactDAQ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ni.com/ru-ru/shop/select/compactdaq-chassis>
20. NI-9215 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ni.com/ru-ru/support/model.ni-9215.html>
21. NI-9263 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ni.com/ru-ru/support/model.ni-9263.html>
22. Свиридов, Е. В. Разработка прикладного программного обеспечения в среде LabVIEW / Е.В.Свиридов, Я.И.Листратов, Н.А.Виноградова. — М.: МЭИ, 2005. — 50 с.

23. Батоврин В. К., Бессонов А. С., Мошкин В. В., Папуловский В. Ф. LabVIEW: практикум по основам измерительных технологий / под ред. В. К. Батоврина. 2-е изд, переработ. и доп. — М.: Д М К Пресс. - 232 с.

24. Суранов А. Я. LabVIEW 8.20: Справочник по функциям. - М.: ДМК Пресс, 2007. - 536 с

ДОДАТОК А

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ПРИЛАДОБУДІВНИЙ
ФАКУЛЬТЕТ



ФАКУЛЬТЕТ МЕНЕДЖМЕНТУ І
МАРКЕТИНГУ



*XIV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів,
аспірантів та молодих вчених*

"ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ У ПРИЛАДОБУДУВАННІ"

4-5 грудня 2018 р.
м. Київ, Україна

Збірник праць конференції



КИЇВ 2018

УДК 004.891:004.946:681.518.5

Б.Н. Шуба, студент гр. ВВ-81мт
КПИ им. Игоря Сикорского

ВИРТУАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА МОНОИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ

Аннотация. Разработка виртуального инструмента, который позволяет создавать сигнал в спектральном базисе Хартли.

Ключевые слова: LabVIEW, моделирование, преобразование Хартли, спектр.

ВСТУП

Для моноимпульсного сигнала тригонометрическое преобразование Фурье не является оптимальным потому, что преобразует действительный сигнал в комплексный спектр. Если для гармонических колебаний комплексный спектр имеет физическую интерпретацию – это спектр амплитуд гармоник исходного колебания и мнимую часть – это фаза этих гармоник, то для моноимпульсного сигнала такой интерпретации не существует. Поэтому использование тригонометрического базиса Фурье для исследования базиса моноимпульсного сигнала является нецелесообразным. Как альтернативу тригонометрическому базису Фурье было решено использовать базис Хартли.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Преобразование Хартли — интегральное преобразование, тесно связанное с преобразованием Фурье, но в отличие от последнего трансформирует одни вещественные функции в другие вещественные же функции. Преобразование было предложено в качестве альтернативы преобразованию Фурье Р. Хартли в 1942 году. Преобразование Хартли является одним из многих известных типов преобразований Фурье. Преобразование Хартли может быть и обратным.

Обращение к преобразованию Хартли было обусловлено ситуацией, сложившейся в ряде методов обработки информации, использующих вещественные последовательности данных (одномерных, двумерных, трехмерных), обработку которых желательно осуществлять в области вещественных чисел с помощью взаимно симметричных прямого и обратного преобразований [1].

Дискретный вариант преобразования Хартли был представлен Рональдом Брейсуэллом в 1983 году.

Преобразование Хартли $H(\omega)$ рассчитывается по формуле

$$H(\omega) = \{Hf\}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \text{cas}(\omega t) dt, \quad (1)$$

где $\text{cas}(t)$ – ядро Хартли,

$$\text{cas}(t) = \cos(t) + \sin(t) = \sqrt{2} \sin\left(t + \frac{\pi}{4}\right) = \sqrt{2} \cos\left(t - \frac{\pi}{4}\right). \quad (2)$$

Обратное преобразование получается по принципу инволюции:

$$f = \{H\{Hf\}\}. \quad (3)$$

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

Виртуальный инструмент разработан в среде визуального программирования LabVIEW 13. Это один из качественных и надежных программных компонентов, разработанный компанией National Instruments.

Виртуальные приборы состоят из двух основных частей:

- передняя панель является интерактивным пользовательским интерфейсом;

- блок-диаграмма является исходным кодом прибора, созданным на языке графического программирования LabVIEW-G. Блок-диаграмма представляет собой реально исполняемый приложение [2].

Объекты на передней панели представлены на блок-диаграмме в виде соответствующих терминалов (terminals), через которые данные могут поступать от пользователя в программу и обратно [3].

Разработанная программа имеет пользовательский интерфейс, состоящий из осциллограмм, на которых выводятся заданные сигналы и их спектры, интерактивных средств для задания необходимых параметров сигнала и окна для вывода обработанной информации (смотри рис. 1).



Рисунок 1. Интерфейс пользователя

После задания исходного сигнала, происходит вывод его осциллограммы, а также спектральных составляющих в базисе Хартли (смотри рис.2).

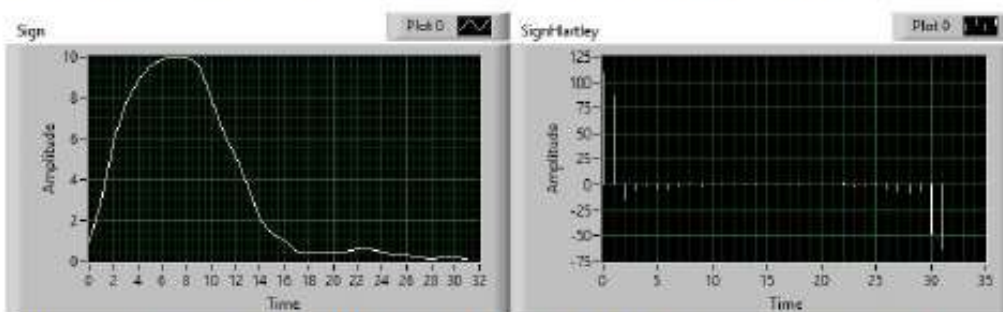


Рисунок 2. Исходный сигнал (с лево) и его спектр в базисе Хартли (с право)

Для исследования восстановления сигнала по спектральным составляющим в базисе Хартли, в программной среде проводим расчет удельного значения энергии каждой составляющей спектра по формуле

$$E_{\text{сп}}^{\text{уд}} = \frac{x_i^2}{\sum_{i=1}^n x_i^2} \cdot 100\%. \quad (4)$$

Проводится сортировка по величине удельной энергии спектральной составляющей.

Проводится восстановление сигнала с помощью обратного преобразования Хартли, устанавливая спектральные составляющие в порядке их величины. После каждой введённой составляющей рассчитываем приращение удельной энергии сигнала и качество оценивания по СКО (табл. 2)

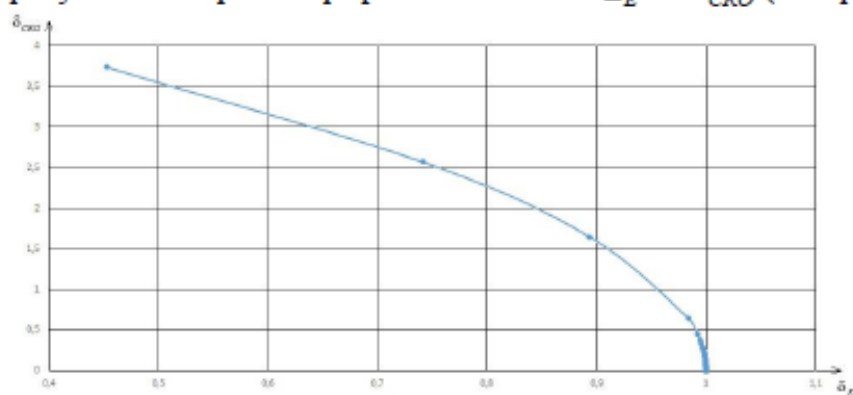
$$\delta_{\text{СКО}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{\text{исх}} - x_{\text{восст}})^2}, \quad (5)$$

$$\Delta_E = \frac{\sum_{i=1}^n x_{\text{восст}}^2}{\sum_{i=1}^n x_{\text{исх}}^2} \quad (6)$$

Таблица 1.

№ спектральной составляющей	Удельная энергия спектральной составляющей	Среднеквадратическая погрешность	Приращение удельной энергии сигнала
1	45,24079	21,1554	0,45240
2	28,92164	14,5318	0,741627
32	15,18936	9,32892	0,893521
31	9,024587	3,64279	0,983768
3	0,840915	2,52925	0,992177
29	0,237172	2,11155	0,994548
28	0,122187	1,86011	0,99577
30	0,118128	1,57941	0,996952
4	0,091213	1,32252	0,997864
7	0,050881	1,15464	0,998373
6	0,047174	0,973472	0,998844
27	0,043757	0,768127	0,999282
8	0,018536	0,662208	0,999467

На рисунке 3 изображён график зависимости Δ_E от $\delta_{\text{СКО}}$ (смотри рис.3).

Рисунок 3. График зависимости $\delta_{\text{СКО}}$ от Δ_E

Проведя анализ зависимости, что для достаточно точного восстановления сигнала можно использовать шесть энергетически наибольших спектральных составляющих.

На рисунке 4 приведены примеры восстановления сигнала по четырех спектральных составляющих и по шести. Белым цветом выделен исходный сигнал, красным – восстановленный.

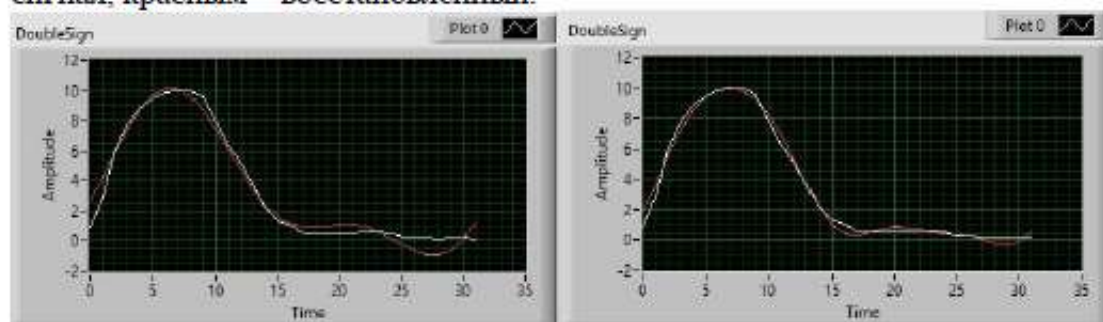


Рисунок 4. Сигнал, восстановленный по 4 спектральных составляющих (с лево) и по 6 спектральных составляющих (с право)

ВЫВОДЫ

Проведено исследование возможности спектрального анализа моноимпульсного сигнала в базисе преобразования Хартли. Был разработан программный инструмент, позволяющий произвести моделирование моноимпульсного сигнала по базису Хартли. В отличие от преобразований Фурье, преобразование Хартли использует вещественные функции.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Брейсуэлл, Р. Преобразование Хартли. Теория и приложения / Р. Брейсуэлл; пер. з англ. А. И. Папкова. — М.: Мир, 1990. — 175с.
2. Свиридов, Е. В. Разработка прикладного программного обеспечения в среде LabVIEW / Е.В.Свиридов, Я.И.Листратов, Н.А.Виноградова. — М.: МЭИ, 2005. — 50 с.
3. LabVIEW: практикум по основам измерительных технологий: Батоврин В. К., Бессонов А. С., Мошкин В. В., Папуловский В. Ф. / под ред. В. К. Батоврина. 2-е изд. переработ. и доп. — М.: Д М К Пресс. - 232 с.

Научный руководитель – д.т.н., проф. Еременко В.С.



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ПРИЛАДОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

*XII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів,
аспірантів та молодих вчених*

"ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ"

15-16 травня 2019 р.
м. Київ, Україна

Збірник праць конференції



КИЇВ 2019

XII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ», 15-16 травня 2019 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

УДК 004.891:004.946:681.518.5

*Б.М. Щуба, студент гр. ВВ-81мп, д.т.н., проф. Єременко В.С.
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

СИСТЕМА АНАЛІЗУ І СИНТЕЗУ СИГНАЛІВ ІЗ ЗАДАНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Анотація. В доповіді представлена система для аналізу та синтезу інформаційних сигналів довільної форми із заданими характеристиками, які можуть використовувати в якості еталонних сигналів для налаштування дефектоскопів та систем діагностики.

Ключові слова: інформаційний сигнал, дискретне перетворення Хартілі, синтез, спектральні складові, LabVIEW, National Instruments.

ВСТУП

Віртуальну міру для оцінювання характеристик досліджуваних об'єктів можна розглядати як образ сигналу або сигнального поля, отриманий з використанням імітаційної моделі, побудованої на основі апріорної інформації про закономірності зміни характеристик інформаційного сигналу при відповідній зміні стану досліджуваного об'єкта. Знання про характер змін інформаційних сигналів можуть бути отримані або експериментальним шляхом з використанням еталонних зразків (фізичних мір) або на основі математичного моделювання - побудови функціональної залежності зміни інформативної ознаки від зміни стану. Для побудови таких віртуальних мір розроблено систему аналізу і синтезу сигналів.

СТРУКТУРА СИСТЕМИ

Структурну схему системи аналізу і синтезу сигналів із заданими характеристиками зображено на рисунку 1.

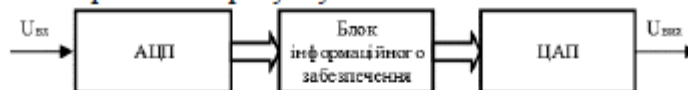


Рисунок 1. Структурна схема системи

Система складається з аналого-цифрового перетворювача (АЦП), блока інформаційного забезпечення та цифро-аналогового перетворювача (ЦАП).

Вхідний сигнал подається на АЦП. В якості АЦП було використано 16-бітний модуль NI-9215. Він має 4 канали, діапазон напруги аналогового вводу ± 10 В, частоту дискретизації до 100 кВиб/с/канал. В якості ЦАП було використано 16-бітний модуль вихідної напруги NI-9263. Модуль має 4 канали виводу напруги в діапазоні ± 10 В. Максимальна частота оновлення вихідних значень складає 100 кВиб/с/канал. Модулі були розроблені компанією National Instruments.

Модулі скомпоновані в шасі CompactDAQ—cDAQ-9172, який використовує інтерфейс Hi-Speed USB 2.0. Його можна використовувати разом з модулями вводу-виводу для створення комбінації аналогових і цифрових ввідів-виводів, а також лічильників/таймерів [1].

Загальний вигляд системи зображено на рисунку 2.

Блок інформаційного забезпечення розроблено в середовищі візуального програмування LabVIEW 16 компанії National Instruments.



Рисунок 2. Загальний вигляд системи

Блок інформаційного забезпечення виконує функції:

- вибір інформаційних сигналів та отримання його спектральних складових в базисі Хартлі [2];
- пошук найбільш інформативних спектральних складових заданої кількості;
- відновлення

інформаційних сигналів по знайденим спектральним складовим;

- розрахунок значень середньоквадратичних похибок відновлених сигналів та приростів питомих енергій сигналів;
- відновлення інформаційних сигналів за відібраними спектральними складовими, а також розрахунок середньоквадратичних похибок після відновлення.

Блок інформаційного забезпечення має такі інтерфейси користувача:

- вхідний інтерфейс для встановлення параметрів роботи АЦП;
- інтерфейс за допомогою якого проводиться аналіз і синтез інформаційних сигналів;

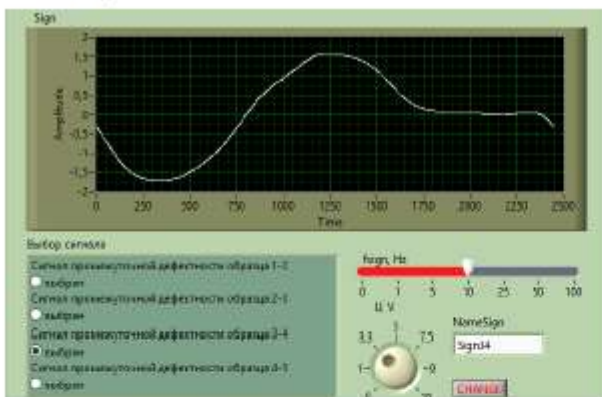


Рисунок 3. Інтерфейс для встановлення параметрів вихідних аналогових сигналів

- інтерфейс для аналізу зміни спектральних складових в залежності від номера сигналу, на основі якого буде відбуватись побудова інформаційних сигналів, які матимуть проміжну форму;

- інтерфейс для встановлення параметрів вихідних сигналів (напруга, частота, канал ЦАП, вибір сигналу)(рисунк 3).

АНАЛІЗ ТА СИНТЕЗ СИГНАЛІВ

Інформаційні сигнали після аналого-цифрового перетворення за допомогою модуля NI-9215 поступають в блок інформаційного забезпечення, де відбувається представлення сигналу в базисі Хартлі, розрахунок питомого значення енергії кожної складової спектра, а також після кожної введеної складової розраховується приріст питомої енергії сигналу і середньоквадратична похибка відновлення [3].

ХІІ Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ», 15-16 травня 2019 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Таблиця 1. Відбір спектральних складових для еталонного сигналу №1

№ по порядку	№ спектр. складової	Питома енергія складової	Приріст питомої енергії сигналу	Сер.квадратична похибка
1	3	0,418189	0,418189	0,235351
2	2448	0,190666	0,608855	0,192971
3	2450	0,183264	0,792119	0,14068
4	4	0,0821816	0,874301	0,109393
5	2447	0,0513677	0,925668	0,0841223
6	2	0,0310896	0,956758	0,064162
7	2445	0,0115289	0,968287	0,0549471
8	5	0,00860135	0,976888	0,0469075
9	2444	0,00568735	0,982575	0,0407291
10	2449	0,00234339	0,984919	0,0378915
11	8	0,00224515	0,987164	0,0349574
12	2441	0,00203757	0,989202	0,0320631
13	2442	0,00159821	0,9908	0,0295954
14	2438	0,00155945	0,992359	0,0269708
15	7	0,00138742	0,993747	0,0243995

Критерієм вибору кількості спектральних складових для відновлення інформаційних сигналів є середньоквадратична похибка. Було задано похибку 0,05. Для забезпечення цієї похибки найбільше спектральних складових слід задіяти при синтезі вхідного еталонного сигналу №1. А саме, 8 спектральних складових ранжированих по питомій енергії вхідного еталонного сигналу №1 забезпечує похибку 0,047. Порівняння синтезованого по восьми спектральним складовим сигналу і вхідного сигналу зображений на рисунку 4.

Для подальшої обробки сигналу необхідно забезпечити використання однакових за номером спектральних складових. Для цього набір номерів спектральних складових вхідного еталонного сигналу №1 доповнюється номерами спектральних складових інших інформаційних сигналів. Цей набір номерів буде застосовуватись для кожного інформаційного сигналу. Отже, початкова кількість з 8 спектральних зростає до 11.

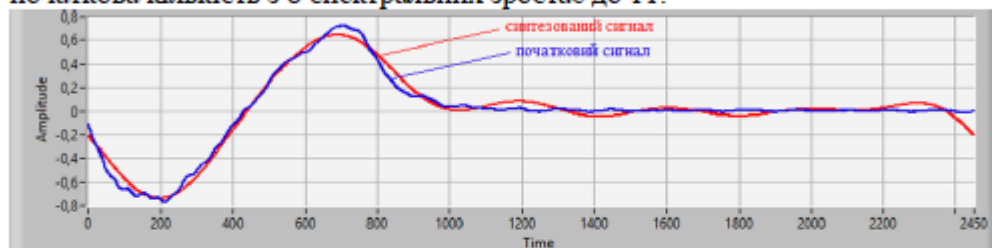


Рисунок 4. Початковий та синтезований по восьми спектральним складовим інформаційні сигнали

В таблицю 2 зведені значення спектральних складових за якими буде відбуватись відновлення інформаційних сигналів.

Лінійно проінтерполювавши значення спектральних складових з таблиці 2, отримуємо значення спектральних складових для побудови інформаційних сигналів, які відповідають проміжній формі сигналів. Для отримання таких сигналів, перетворюємо отримані спектральні складові за допомогою зворотного перетворення Хартлі.

Таблиця 2. Значення спектральних складових синтезованого сигналу

№ по порядку	№ спектр. складової	Вхідний еталонний сигнал				
		№1	№2	№3	№4	№5
1	2	-133,29	-347,288	-479,752	-334,199	-239,258
2	3	-488,851	-166,175	46,533	34,383	-20,053
3	4	-216,709	4,388	-9,689	-25,747	-18,712
4	5	70,109	-22,211	24,895	-12,58	-3,326
5	2443	1,966	32,18	10,674	9,323	4,395
6	2445	81,168	57,851	8,632	20,714	3,195
7	2446	26,563	10,293	34,356	20,965	5,089
8	2447	171,331	96,183	10,733	10,416	6,381
9	2448	330,086	23,134	27,889	55,095	15,504
10	2449	-36,594	295,081	299,737	125,679	22,599
11	2450	-323,615	-241,724	-133,243	-58,415	147,163

Приклад синтезованого сигналу з проміжною формою зображено на рисунку 5.



Рисунок 5. Вхідний еталонний сигнал №2 (а), сигнал проміжної форми (б) і сигнал №3 (в)

Система була використана для налаштування дефектоскопа і коригування його основних параметрів при неруйнівному контролю стільникових панелей методом низькошвидкісного удару.

ВИСНОВОК

Розроблена система аналізу і синтезу сигналів із заданими характеристиками, завдяки покладеному в основу алгоритму, здатна побудувати множину інформаційних сигналів. Система виконує спектральний розклад отриманих інформаційних сигналів по базису Хартлі, що робить можливим провести аналіз сигналів та обробку для подальшого синтезу. Практична значущість розробленої системи полягає у тому, що виключає потребу проведення експериментів на реальних об'єктах, що призводить до зменшення часових, технічних та економічних витрат.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Теоретичні основи інформаційно-вимірювальних систем: Підручник / В.П. Бабак, С.В. Бабак, В.С. Єременко та ін.; за ред. чл.-кор. НАН України В.П. Бабака / 2-е вид., перероб. і доп. – К.: Ун-т новітніх технологій, НАУ, 2017. – 496 с.
- [2] Брейсуэлл, Р. Преобразование Хартли. Теория и приложения / Р. Брейсуэлл; пер. з англ. А. И. Папкова. — М.: Мир, 1990. – 175с.
- [3] Виртуальный инструмент для анализа и синтеза моноимпульсных сигналов / Б. Н. Шуба // Эффективність інженерних рішень у приладобудуванні : збірник тез доповідей XIV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, лист. 2018 р. – К. : НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2018. – С. 374–377.