

О.В. Дергунов

Національний авіаційний університет, м. Київ

ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ОБРОБЛЕННЯ ЦИКЛІЧНИХ СИГНАЛІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

В статті запропоновано програмний комплекс для моделювання та дослідження циклічних сигналів неруйнівного контролю з використанням методів фазової обробки та перетворення Гільберта-Хуанга. Програмний комплекс реалізований в середовищі Labview.

Ключові слова: програмний комплекс, обробка сигналів, фазова характеристика, перетворення Гільберта-Хуанга, моделювання.

Вступ

Методи фазового оброблення вимірювальних сигналів відомі (1) і використовуються в багатьох видах вимірювальних чи діагностичних пристроїв, в тому числі й в системах неруйнівного контролю (НК). Дослідження можливостей фазових методів, їх вдосконалення та широке впровадження можливе за наявності зручного інструментарію їх застосування для широкого кола задач. Таким інструментарієм виступають програмно-апаратні комплекси, які можуть бути включені до існуючих вимірювальних або діагностичних систем з метою зчитування сигналів та їх опрацювання. Такі комплекси повинні включати засоби введення сигналів в персональний комп'ютер та гнучке програмне забезпечення, яке реалізує методи цифрової обробки сигналів. Якщо вибір апаратної частини таких комплексів є досить тривіальним інженерним завданням, то програмна система обробки вимірювальних сигналів, що задовольняє поставлених вимог, в кожному окремому випадку є унікальною. Огляд сучасних програмних засобів для інженерних розрахунків таких як Matlab, Mathcad, Labview та ін. засвідчив, що вони не містять готових до використання функцій та команд, орієнтованих на отримання та аналіз фазових характеристик вимірювальних сигналів.

Постає науково-технічна задача розробки програмного засобу оброблення сигналів неруйнівного контролю. Такі засоби аналізу виконують у вигляді спеціалізованого комп'ютерного програмного забезпечення. В якості середовища його реалізації доцільно використати програмний пакет LabVIEW 2013.

Метою статті є розробка програмного комплексу, орієнтованого на імпорт вимірювальних сигналів НК з різних джерел, в тому числі з програмного генератору чи АЦП та їх оброблення за допомогою методів, що передбачають аналіз їх фазових характеристик.

Постановка задачі

Необхідно розробити програмний комплекс з наступними функціями:

- 1) моделювання циклічних сигналів неруйнівного контролю (в якості прикладу – сигнали ультразвукового неруйнівного контролю);
- 2) декомпозиція вхідного сигналу НК на циклічні компоненти;
- 3) фільтрація сигналу шляхом відновлення сигналу з виділених циклічних компонент;
- 4) Гільберт-аналіз отриманих циклічних компонент та відновленого сигналу;
- 5) аналіз фазових характеристик відновленого сигналу;
- 6) визначення поточних значень періоду чи частоти сигналів контролю та їх компонент;
- 7) збереження отриманої інформації у текстовому файлі або електронній таблиці, забезпечуючи таким чином сумісність з іншими програмними пакетами (Matlab, Mathcad та інші).
- 8) інтерактивний режим роботи.

Реалізацію програмного комплексу виконати в середовищі LabView.

Розв'язок задачі

Концепція середовища розробки LabVIEW передбачає, що створене програмне забезпечення має панель користувача (інтерфейс) та внутрішню

реалізацію (графічний код). В створеній системі інтерфейс програмного забезпечення базується на наборі вкладок, кожна з яких керує окремим програмним модулем, який в свою чергу реалізує налаштування та керування процесом обробки вхідних даних.

Структуру програмного забезпечення наведено на рисунку 1. Виділено три підсистеми:

- підсистема керування – реалізація службових функцій керування АЦП, побудови графічного інтерфейсу користувача;
- підсистема моделювання – реалізація функцій імітаційного моделювання сигналів неруйнівного контролю та випадкової завади;
- підсистема аналізу – реалізація методичного забезпечення, алгоритмів методів та методик.



Рисунок 1 – Структура програмного комплексу

Огляд методів аналізу наведено в [2]. До методів аналізу включено:

- метод виділення циклічних компонент сигналів неруйнівного контролю на основі емпіричної модової декомпозиції [2,3,4];
- метод фільтрації сигналу шляхом його відновлення з визначених циклічних компонент;
- методи Гільберт-аналізу сигналів – застосування перетворення Гільберта та визначення амплітудних та фазових характеристик сигналів (АХС та ФХС) [1];

- метод визначення миттєвих значень періодів та частот циклічних компонент сигналів за аналізом фазової характеристики [5];
- фазовий метод виявлення радіо-імпульсних сигналів на фоні адитивних завад, що полягає в аналізі фазової характеристики сигналу та визначенні для неї кругової статистичної характеристики – R-статистики [6];
- метод адаптивної медіанної фільтрації імпульсних сигналів.

Загальна структура методики аналізу циклічних сигналів неруйнівного контролю, що

покладена в основу програмного комплексу наведена на рисунку 2.

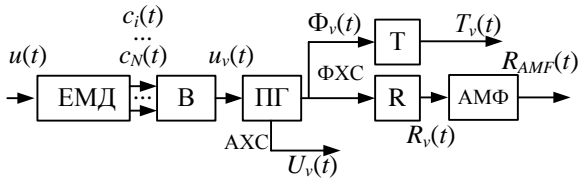


Рисунок 2 – Графічне представлення методики обробки сигналів

На рисунку 2 введені наступні позначення: $u(t)$ – досліджуваній сигнал, $c_i(t) \dots c_N(t)$ – виділені циклічні компоненти, $u_v(t)$ – відновлений сигнал контролю, $U_v(t)$ – амплітудна характеристика відновленого сигналу, $\Phi_v(t)$ – фазова характеристика відновленого сигналу, $T_v(t)$ – миттєві значення періоду відновленого сигналу, $R_v(t)$ – R -статистика відновленого сигналу, $R_{AMF}(t)$ – R -статистика відновленого сигналу після адаптивної медіанної фільтрації, ЕМД – блок виділення циклічних компонент, В – блок відновлення сигналу, ПГ – перетворення Гільберта, Т – блок визначення поточних значень періоду сигналу, R – блок визначення R -статистики, АМФ – блок адаптивної медіанної фільтрації.

Створений програмний комплекс складається з основної програми (головне вікно), модуля імпорту даних з АЦП (рис. 3) та модуля програмного генератора сигналів ультразвукового неруйнівного контролю (рис. 4). Інтерфейс основної програми складається з восьми вкладок: «Імпорт даних», «Емпірична модова декомпозиція», «Відновлення сигналу», «Гільберт-аналіз відновленого сигналу», «Визначення R -статистики відновленого сигналу», «Адаптивна медіанна фільтрація R -статистики», «Визначення миттєвих значень періоду відновленого сигналу» та «Збереження результатів».

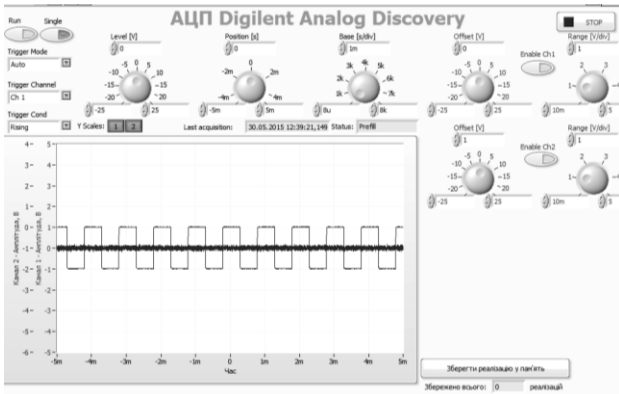


Рисунок 3 – Інтерфейс програми роботи з АЦП Analog Discovery

Взаємодія АЦП з LabView відбувається за допомогою API функцій бібліотеки `dwf.dll`, що встановлюється разом із драйверами на АЦП. АЦП має два диференційних незалежних канали з широким набором доступних режимів роботи, які можуть бути гнучко налаштовані за допомогою розробленого програмного забезпечення (рис. 3).

Модуль «Модельний генератор сигналів ультразвукового контролю» (рис. 4) дозволяє створювати реалізації сигналів $U_{УЗК}(t)$ ультразвукового контролю (луна-імпульсний метод), як послідовність радіоімпульсів за наступною моделлю:

$$U_{\text{ІМП}}(t) = U(t) \cdot \sin(2\pi f_H t), t \in [0, \tau_{\text{ІМП}}],$$

$$U_{\text{УЗК}}(t) = \sum_{k=1}^n k_{\text{ЕАТ},i} \cdot U_{\text{ІМП}}(t - (i-1) \cdot \tau_{\text{ІМП}}), \quad (1)$$

де f_H – частота несучого коливання, $k_{\text{ЕАТ},i}$ – коефіцієнт електроакустичного тракту для кожного імпульсу, $\tau_{\text{ІМП}}$ – тривалість імпульсу. Отриманий сигнал УЗК являє собою послідовність радіоімпульсів з гаусовою обвідною та несучою частотою f_H .

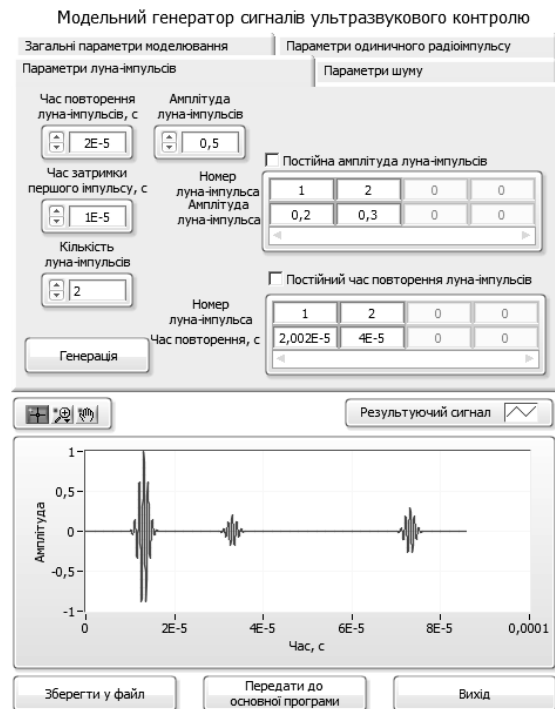


Рисунок 4 – Вкладка параметрів луна-імпульсів програмного модуля модельного генератора сигналів УЗК

До сигналу (1) може бути додано реалізацію адитивної випадкової завади. Можливо згенерувати пакет сигналів з однаковими параметрами, але

різними реалізаціями випадкової завади, імітуючи прийом сигналів з однієї точки об'єкту контролю. Інтерфейс модуля складається з чотирьох вкладок, на яких налаштовують параметри моделювання: «Загальні параметри моделювання», «Параметри одиничного радіоімпульсу», «Параметри луна-імпульсів», «Параметри шуму». Результати моделювання можна зберегти у текстовий файл або передати до основної програми.

До імпортованих сигналів застосовують методику виділення циклічних компонент в основі якої лежить метод емпіричної модової декомпозиції. Емпірична модова декомпозиція – базова складова перетворення Гільберта-Хуанга, ітераційна процедура розкладання досліджуваного сигналу на суму адитивних циклічних функцій, які в прийнятій термінології називаються «власними модовими функціями». Процедура декомпозиції детально розглянута в [3,4].

Комбінації отриманих в результаті декомпозиції циклічних компонент можна використовувати для відновлення досліджуваних сигналів (рис. 5).

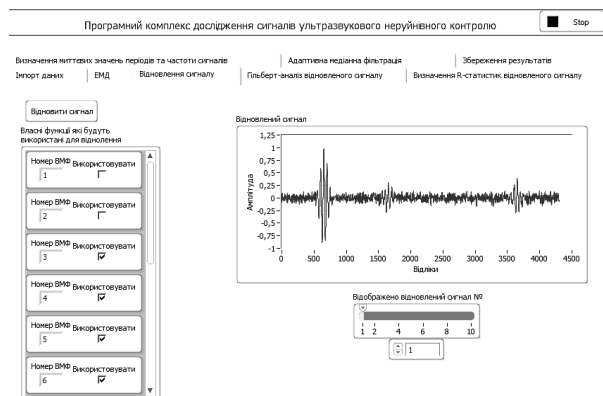


Рисунок 5 – Вкладка відновлення сигналу

Відновлення сигналу з отриманих компонент дозволяє виключити з досліджуваного сигналу певні циклічні чи шумові складові.

За допомогою перетворення Гільберта можна отримати амплітудну та фазову характеристики відновленого сигналу. Це реалізовано на вкладці «Гільберт-аналіз відновленого сигналу» (рис. 6).

В програмному комплексі реалізовано фазовий метод виявлення сигналів ультразвукового неруйнівного контролю [6], який полягає в статистичному аналізі різниці фазової характеристики сигналу УЗК та фазової характеристики гармонічного сигналу з частотою

f_H та подальшим визначенням вибіркової результуючої довжини вектора r , яка є мірою розсіювання значень фазових зсувів сигналів. Поточні значення статистики r визначаються за результатами аналізу вибірки фазових зсувів $\{\varphi[j], j = 1...N\}$ в ковзному режимі, під час руху прямокутного вікна з апертурою M_r відносно цієї вибірки:

$$r[j, M_r] = \frac{1}{M_r} \sqrt{\left(\sum_{k=j-0.5M_r}^{j+0.5M_r} \cos \varphi[k] \right)^2 + \left(\sum_{k=j-0.5M_r}^{j+0.5M_r} \sin \varphi[k] \right)^2},$$

$$j = 0.5M_r, N - 0.5M_r.$$

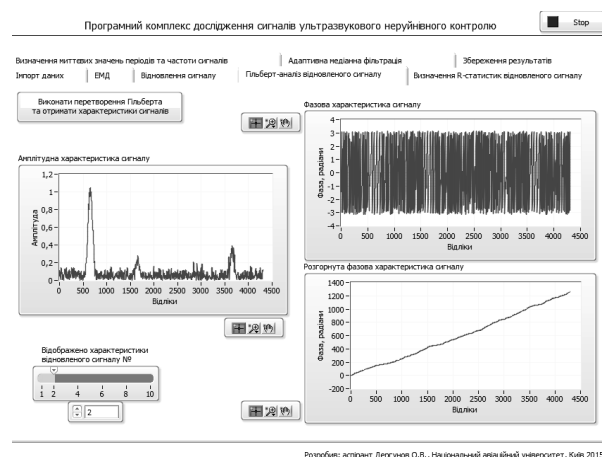


Рисунок 6 – Вкладка Гільберт-аналізу відновленого сигналу

Реалізація фазового методу виконана на відповідній вкладці основної програми комплексу – «Визначення R-статистики відновленого сигналу» (рис 7).

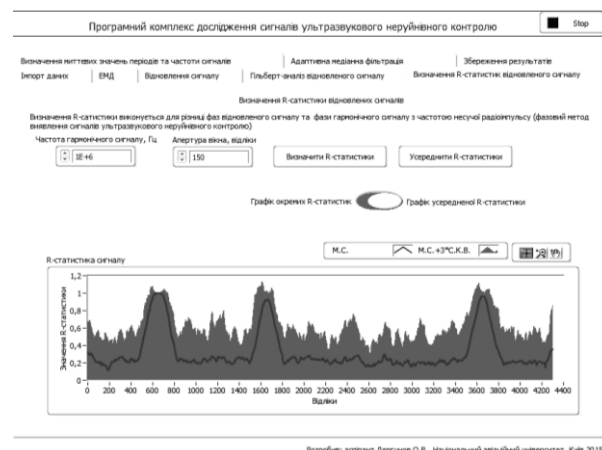


Рисунок 7 – Вкладка визначення R-статистики – усереднення статистик

На виділених вікном M_r ділянках аналізу за наявності луна-сигналу з гармонічною несучою

частотою f значення r збільшуються, а за наявності лише шумової компоненти значення r зменшуються.

У випадку пакетної обробки, коли було імпортовано множину сигналів, отриманих при скануванні однієї ділянки об'єкту контролю є можливість усереднення визначених R -статистик, що підвищує відношення сигнал/шум результату. Для подальшого підвищення відношення сигнал/шум запропоновано використання методу адаптивної медіанної фільтрації. Суть методу полягає в тому, що здійснюють сканування вибірки сигналу ковзним вікном, відбирають частину значень сигналу, для яких знаходять вибірково медіану, присвоюють отримане значення медіани центральному елементу вікна та формують вихідний сигнал як послідовність отриманих медіан. Апертуру вікна змінюють залежно від визначеного наближеного часового положення імпульсів фільтрованого сигналу: при наближенні до імпульсу – апертура зменшується, при віддаленні – збільшується.

Висновки

В роботі розглянуто програмний комплекс, розроблений в середовищі LabView і призначений для моделювання та оброблення циклічних сигналів неруйнівного контролю.

Програмний комплекс дозволяє проводити:

- 1) моделювання циклічних сигналів ультразвукового неруйнівного контролю;
- 2) декомпозицію досліджуваних сигналів з метою виділення окремих циклічних та шумових компонент;
- 3) фільтрацію інформаційних компонент сигналу;
- 4) аналіз фазових характеристик циклічних сигналів неруйнівного контролю.

Програмний комплекс може бути використаний як окремий інструмент наукових досліджень так і в складі систем неруйнівного контролю.

Список літератури

1. Куц Ю.В. Статистична фазометрія [Текст] / Ю.В. Куц., Л.М. Щербак – Тернопіль : 2009,–383с..
2. Дергунов О.В. Використання перетворення Гільберта-Хуанга в ультразвуковому неруйнівному контролі [Текст] / О.В. Дергунов // Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси: VIII МНТК, 18-19 травня 2015 р.: тези доп. – К., 2015.
3. Huang N.E. Hilbert-Huang transform and its Applications [Text] / N.E. Huang – World Scientific Publishing Co. Pte.Ltd, 2005 – 324p.

4. Dergunov O.V., Empirical mode decomposition in signal analysis [Text] / Dergunov O.V., Trots V. M., Kuts Y.V., Shcherbak L.M. // Aviation in the XXI-st century, 2010, (Kyiv, 21-23 September 2010) [etc.]. – К.: NAU, 2010. – P. 12.21 – 12.26.

5. Пат 65208 Україна МПК G01R 23/00 Спосіб визначення поточної частоти модульованих гармонічних сигналів [Текст] / О.В. Дергунов, В.С. Сременко, Ю.В. Куц, Л.М. Щербак; заявник та патентовласник Нац. авіац. ун-т. –u201106508; заявл. 24.05.2011; опубл. 25.11.2011, Бюл. № 22.

6. Бистра І.М. Експериментальні дослідження фазового методу ультразвукового неруйнівного контролю [Текст] / І.М. Бистра, Ю.В. Куц, Ю.А. Олійник // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2013. – № 1/9 (61). – С. 49–53.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.М. Щербак, Національний авіаційний університет, Київ.

Автор: **Дергунов Олексій Володимирович** Національний авіаційний університет, Київ, аспірант кафедри інформаційно-вимірювальних систем. Роб. тел. – (044) 406-75-45, дом. тел. (097) 491-21-25, E-mail – dergunov.av@gmail.com.

Програмный комплекс обработки циклических сигналов неразрушающего контроля

А.В. Дергунов

В статье представлен программный комплекс для моделирования и исследования циклических сигналов неразрушающего контроля с использованием методов фазовой обработки и преобразования Гильберта-Хуанга. Программный комплекс разработан в среде Labview.

Ключевые слова: программный комплекс, обработка сигналов, анализ фазовой характеристики сигнала, преобразование Гильберта-Хуанга, моделирование.

Software for cyclic signal processing in non-destructive testing

O. Dergunov

Software for signal modeling and processing in non-destructive testing systems is presented. Software is based on phase characteristic analysis methods and Hilbert-Huang transform. Software is developed in LabView environment.

Keywords: software package, signal processing, phase characteristic analysis, Hilbert-Huang transform, signal modeling.