



Экспериментальная система неразрушающего контроля композиционных материалов

Ю.В. Куц, В.С. Еременко, Е.Ф. Сулов, А.В. Передедко
 Национальный авиационный университет, г.Киев

В последние годы в авиационной промышленности широкое распространение получили композиционные материалы. Если раньше доля композитов по отношению к другим конструкционным материалам применяемых в летательных аппаратах была сравнимо невелика: из них выполнялись лишь отдельные элементы планера, то сейчас она приближается к 40% для самолетов тяжелой и 80-90% для малой и сверх малой авиации. Столь широкое распространение подобных материалов привело к необходимости разработки более совершенных методов контроля. Необходимо подчеркнуть, что композит в силу значительных различий характеристик его составляющих имеет широкую номенклатуру возможных дефектов, зачастую индивидуальную, для каждой из возможных композиций.

Теоретическая основа, а также физические принципы большинства применяемых сегодня методик контроля композитов разрабатывались в

60-80 годы, когда средства обработки не позволяли выполнять комплексный анализ сигнала с применением различных математических преобразований. Это привело к тому, что основными информативными параметрами сигнала выбирались те, регистрация которых вызывала меньше всего затруднений, а именно: амплитуда при импульсном возбуждении датчика и фаза при непрерывном.

Современные вычислительные системы, устройства сбора и обработки сигналов позволяют реализовать алгоритмы анализа высокой сложности, что дает возможность выделять из информативных сигналов большее количество параметров, которые в дальнейшем можно применять в качестве информативных, повышая тем самым достоверность контроля. Таким образом, задачи разработки и внедрения новых методик обработки информационных сигналов датчиков систем неразрушающего контроля является достаточно актуальной.

На сегодняшний день одним из основных методов экспресс контроля является импедансный. Метод основан на влиянии дефекта многослойной конструкции на ее механический импеданс. Механическим импедансом Z называют комплексное отношение гармонической (синусоидальной) возмущающей силы F , действующей на поверхности или в точке механической системы к средней колебательной скорости V в направлении силы: $Z=F/V$. Механический импеданс является комплексной величиной и имеет активную R и реактивную X составляющие. Активная составляющая импеданса характеризует необратимые потери. Последние обусловлены поглощением в материале системы, потерями энергии в нагрузке и элементах крепления, а также излучением упругих волн в окружающую среду. Реактивная составляющая импеданса характеризует кинетическую и потенциальную энергию, запасаемую и отдаваемую реактивными элементами системы. Реактивными элементами системы являются инерционность и упругость. Инерционность связана с накоплением кинетической энергии движущейся массы, упругость - с потенциальной энергией упругого элемента.

Метод позволяет выявлять непроводящие, расслоения, нарушения целостности сотового наполнителя, а также ряд иных дефектов, приводящих к изменению физико-математических характеристик материалов. Основными информативными характеристиками сигнала являются, в зависимости от типа возбуждения преобразователя, амплитуда либо фаза.

Подобный подход чреват значительным ограничением числа возможных информационных призна-



ков, свидетельствующих о наличии дефекта. Информативными параметрами для импедансного метода также могут быть энергия сигнала, кумулятивная и мгновенная фазы, частота несущей сигнала. Из этого следует, что актуальной остается задача исследования методов обработки информационных сигналов позволяющих выделить частотный и фазовый сдвиг.

Одним из таких методов является преобразование Гильберта. Преобразование Гильберта действительного сигнала $X(t)$, определенного во всей временной области $t \in (-\infty, \infty)$, - это действительный сигнал

$$\tilde{X}(t) = H[X(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{X(\tau)}{\pi(t-\tau)} d\tau$$

Сумма действительного сигнала $X(t)$ и его Гильберт-образа $\tilde{X}(t)$ образует комплексный аналитический сигнал

$$Z(t) = X(t) + j\tilde{X}(t)$$

Данный комплексный сигнал можно представить в полярных координатах

$$Z(t) = A(t) \cdot \exp[jQ(t)]$$

где $A(t)$ и $Q(t)$, соответственно, модуль и аргумент аналитического сигнала. Функция $A(t)$ описывает огибающую исходного сигнала $X(t)$, а функция $Q(t)$ задает мгновенную фазу данного сигнала в зависимости от времени. Следовательно, огибающую сигнала, мгновенную фазу и мгновенную частоту можно определить следующими соотношениями:

$$A(t) = \sqrt{X^2(t) + \tilde{X}^2(t)},$$

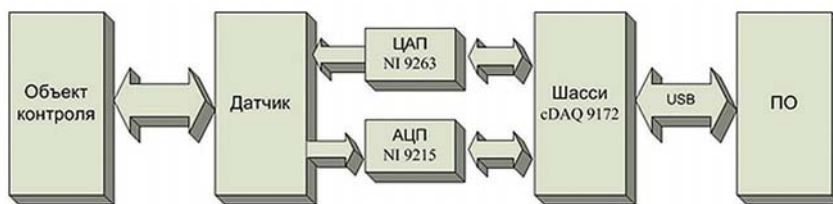
$$Q(t) = \arctg \left[\frac{\tilde{X}(t)}{X(t)} \right],$$

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{dQ(t)}{dt}$$

Таким образом, благодаря применению преобразования Гильберта достаточно просто определяются огибающая, мгновенная фаза и мгновенная частота исходного импульсного сигнала $X(t)$.

Мгновенная фаза определена на интервале $[-\pi/2, \pi/2]$, поэтому для расчета фазовой характеристики на интервале $[0, 2\pi]$ уравнение необходимо преобразовать к следующему виду:

$$Q(t) = \arctg \left[\frac{\tilde{X}(t)}{X(t)} \right] + \frac{\pi}{2} [2 - \text{sign}\tilde{X}(t)(1 + \text{sign}X(t))]$$



Система, выполняющая моделирование применения преобразования Гильберта для выделения информативных характеристик сигналов датчиков механического импеданса, является аппаратно-программным комплексом и применяется в учебном и исследовательском процессе по тематике неразрушающего контроля на кафедре информационно-измерительных систем Национального авиационного университета.

Для моделирования зондирующего сигнала, а также сигнала реакции датчика, был разработан программный генератор последовательностей радиоимпульсов. Программный код генератора сигналов состоит из следующих модулей:

- управления параметрами модулирующего и модулируемого сигналов;
- генерации единичного импульса;
- формирования периодической последовательности с заданной час-

тотой повторения на основе сгенерированного единичного импульса;

- модулирования сигналов;
- вывода и отображения сгенерированной периодической последовательности.

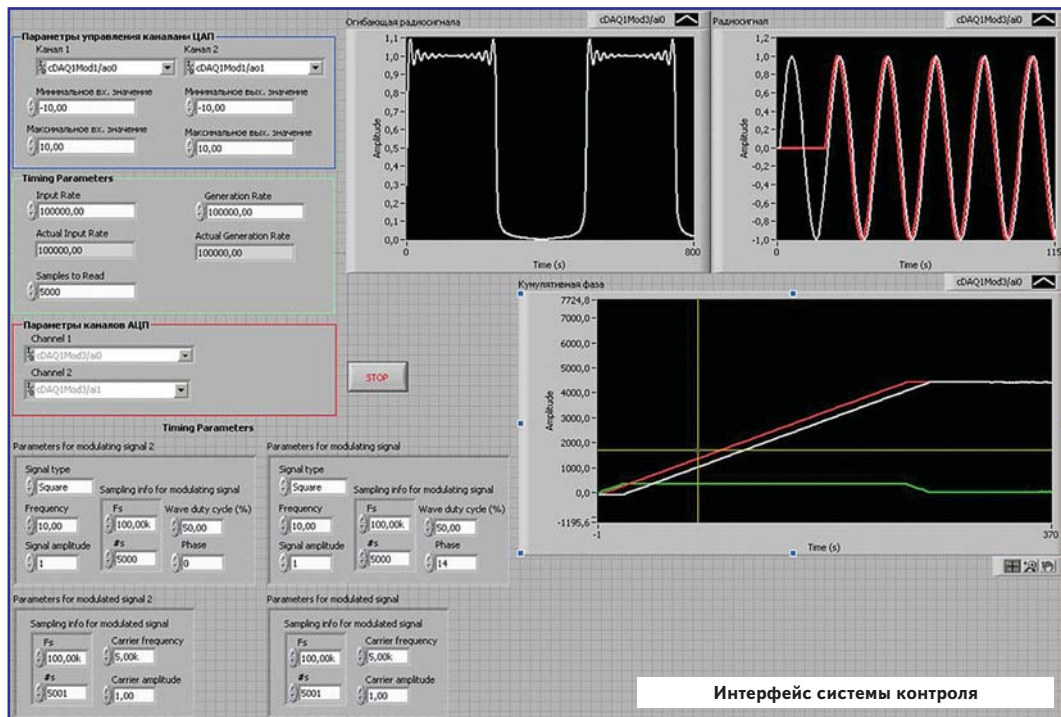
Генератор позволяет формировать последовательности импульсов треугольной и прямоугольной форм, полуволны синусоиды, а также гауссового радиоимпульса. Перечень исходных видов огибающих радиоимпульсных сигналов может быть расширен в зависимости от поставленных задач.

ЦАП выполняет генерацию двух сигналов - один из них представляет собой сигнал возбуждения датчика, второй - модель его реакции взаимодействия с объектом контроля. Синхронизация модулей выполнена с помощью внутренних линий, в качестве события запуска ЦАПа используется такт, обозначающий начало цикла за-

полнения буфера АЦП (режим ai/Start Trigger). Такой подход позволяет точно зафиксировать начальные точки зондирующего и принятого сигналов.

Массив мгновенных значений принятых сигналов поступает на вход подпрограммы, реализующей преобразование Гильберта. Функция *Hilbert.vi*, возвращающая Гильберт-образ сигнала, присутствует в стандартном наборе математических операторов LabVIEW. Для получения кумулятивной и мгновенной фаз, а также частоты сигнала применяются модули, реализующие описанные выше алгоритмы. Информацию об изменении характеристик материала дает временная задержка между принятыми радиоимпульсами, определяемая по формуле:

$$\Delta t(t) = \frac{Q_1(t) - Q_2(t)}{2\pi} \cdot T$$

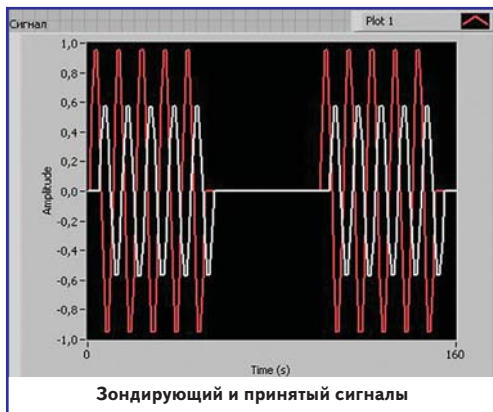


Интерфейс системы контроля

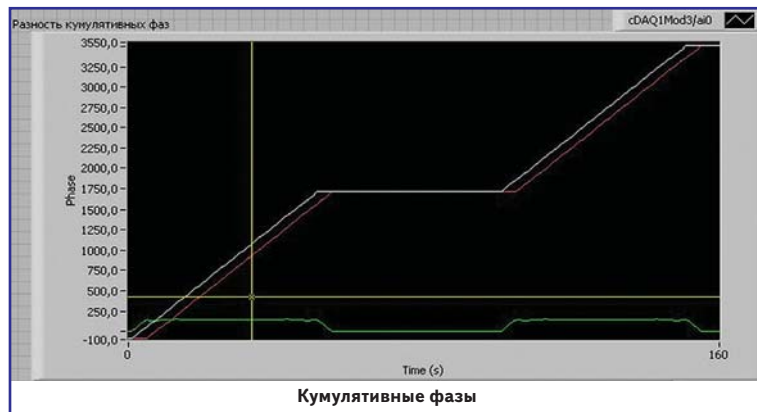
Преобразование Гильберта также позволяет выделять огибающую сигнала как безинерциальный детектор, т.е. без искажения спектральных характеристик. Огибающая может быть в дальнейшем использована при оценке интегральных характеристик радиоимпульса, которые также могут рассматриваться в качестве информативных параметров.

что приводит к уменьшению разрешающей способности по частоте. Преобразование же Гильберта, в свою очередь, позволяет вычислить интегральную частоту радиоимпульса вне зависимости от его длительности.

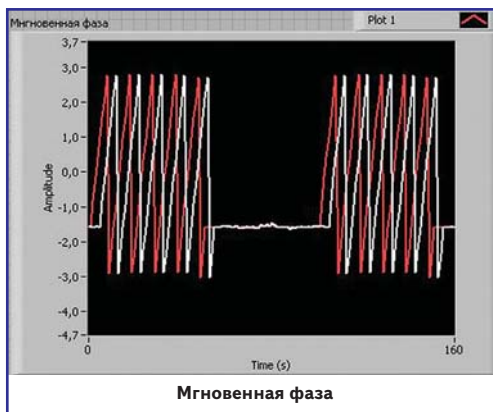
Результатом проведенной работы стало создание системы обработки сигнала, выделяющей огибающую, мгновенную и кумулятивную фазы,



Зондирующий и принятый сигналы



Кумулятивные фазы



Мгновенная фаза

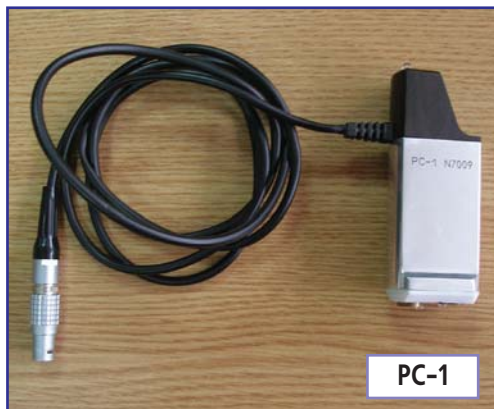
При изменении физико-механических характеристик материала наблюдается изменение несущей частоты информационного сигнала импульсного датчика механического импеданса. Анализ этого отклонения, основанный на спектральной оценке, например, с помощью преобразования Фурье, представляется затруднительным, т.к. импульс реакции имеет малую длительность,

частоту, а также временной сдвиг между радиоимпульсами, основанный не на компараторном методе оценки уровня сигнала.

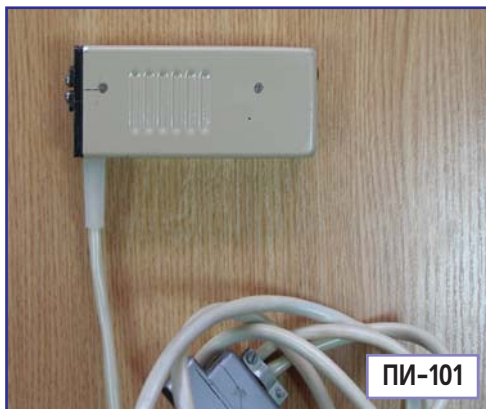
Система контроля реализована на базе платформы CompactDAQ и среды графического программирования LabVIEW 8.5 (National Instruments, США).

В 8-слотовое шасси cDAQ 9172 с пропускной способностью до 3,2 Мб/с установлены два модуля c-серии:

Датчики системы измерительного контроля



PC-1



ПИ-101



ПАД 118-С

- 4-х канальный АЦП NI 9215 (входной диапазон $\pm 10V$, разрядность 16 бит, частота дискретизации 100кГц/канал, синхронный поканальный ввод);

- 4-х канальный ЦАП NI 9263 (выходной диапазон $\pm 10V$, разрядность 16 бит, частота вывода до 100кГц/канал).

Связь шасси с компьютером осуществляется через интерфейс USB 2.0, что дает возможность эксплуатировать систему как в стационарном, так и в мобильном вариантах.

На данном этапе система применяется для отладки описанного выше метода обработки сигналов ультразвуковых датчиков, а также раздельно-совмещенных датчиков механического импеданса. В дальнейшем она может быть использована как полноценная система контроля состояния композитов. Результаты, полученные в процессе исследования, также планируется применить в разработке системы импедансного контроля композиционных материалов.



КОНТАКТЫ:

тел.: 8 (044) 406-74-35
E-mail: nau_307@ukr.net

**13-15 ТРАВНЯ
2009 РОКУ**

**III спеціалізована
науково – технічна
виставка**



Інформаційні
партнери виставки



Журнал "ПиКАД"

Мир
Автоматизації



СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ

В ОСВІТІ ТА ВИРОБНИЦТВІ

Кременчуцький державний політехнічний
університет імені Михайла Остроградського
Інститут електромеханіки, енергозбереження
та комп'ютерних технологій

Розділи виставки:

електромеханічні і енергозберігаючі
системи

автоматизація виробництва

інформаційні системи і технології

електротехнічне та енергетичне
обладнання

сучасні засоби підготовки
та перепідготовки кадрів

Україна, 39614
м.Кременчук,
Полтавська обл.,
вул. Першотравнева, 20

Контактні телефони:
факс. (05366) 3-60-00
тел. (05366) 2-51-67,
моб. (050)-900-8-110
e-mail: ieeekt@polytech.poltava.ua

