



THE EXPERIMENTAL RESEARCH OF EDDY CURRENT TESTING SYSTEM FOR LARGE OBJECTS

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВИХРЕТОКОВОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Проф., д.т.н. Куц Ю.В.¹, доц., к.т.н. Петрик В.Ф.², аспирант Лысенко Ю.Ю.², аспирант Дугин А.Л.²

¹ Институт информационно – диагностических систем, Национальный авиационный университет – Киев, Украина

² Приборостроительный факультет, Национальный технический университет Украины

“Киевский политехнический институт” – Киев, Украина

e-mail: j.lysenko@kpi.ua

Abstract: *In this paper some current problems of large objects nondestructive testing are discussed. The implementation of system for eddy current testing of large objects using a wireless Bluetooth module was proposed. The experimental results of impulse operation mode are given. The using of signal frequency and attenuation as information parameters of testing are shown.*

KEY WORDS: *PULSED EDDY CURRENT MODE, HILBERT TRANSFORM, FREQUENCY AND ATTENUATION OF SIGNAL*

1. Введение

Одним из наиболее распространенных видов контроля крупногабаритных изделий из электропроводящих материалов является вихретоковый неразрушающий контроль (ВТНК).

Расширение номенклатуры объектов контроля (ОК) и применение новых материалов требуют постоянного развития и совершенствования методов и средств НК. Этот процесс в последнее время развивается по нескольким направлениям. Во-первых, все больше внимания уделяется многочастотным методам ВТНК, позволяющим проводить многопараметровый контроль. Во-вторых, все шире исследуются возможности применения импульсного режима работы вихретоковых преобразователей (ВТП), который способствует расширению функциональных возможностей контроля. В-третьих, постоянно ведутся работы по усовершенствованию ВТП, в частности, в [1] приводятся результаты разработки и исследований мультидифференциальных преобразователей, позволяющих увеличить чувствительность к дефектам.

Реализация ВТНК часто наталкивается на трудности технологического характера, связанные с большими габаритами ОК и ограниченностью доступа к его отдельным участкам. В таких условиях задача выполнения ВТНК в труднодоступных местах ОК становится особенно актуальной.

Такую задачу можно решить путем применения беспроводных технологий передачи сигналов ВТНК от первичных преобразователей к блокам обработки данных [2]. Это позволяет разделить пространственно преобразовательную часть и блок обработки сигналов, что значительно упрощает практическую реализацию контроля крупногабаритных ОК в труднодоступных местах. Однако все эти вопросы не рассматривались комплексно в рамках разработки одного средства контроля.

Определенный интерес представляет также вопрос применения в средствах ВТНК различных методов цифровой обработки сигналов (ЦОС). Так в работе [3] предложено использование преобразования Гильберта для получения амплитудной и фазовой характеристик сигнала (АХС и ФХС) ВСНК [4] и их анализ.

Целью работы является разработка и анализ экспериментального макета беспроводной системы ВТНК,

реализующей различные режимы контроля и различные методы обработки и отображения информации.

2. Постановка задачи

Необходимо предложить и реализовать структуру системы ВТНК с беспроводной связью преобразовательной части и блока обработки, которая должна обеспечивать:

- возможность контроля объектов в местах недоступных для стандартных средств ВТНК;
- реализацию различных режимов вихретокового контроля;
- адаптивный выбор способа и алгоритма обработки сигналов ВТНК;
- визуализацию результатов контроля в виде 2D и 3D графиков;
- архивирование результатов контроля с последующей их загрузкой в базу данных.

3. Описание разработанной системы

Реализация беспроводного режима в разработанной системе выполнена на базе Bluetooth модуля, который обеспечивает связь между блоками обработки и преобразования на расстоянии до 300 метров. На рис. 1 приведена структура системы. Преобразовательный блок состоит из ВТП, на первичную катушку которого через усилитель мощности поступает сигнал в зависимости от режима контроля. Синтезатор частоты СЧ используется для режима возбуждения ВТП сигналом гармонической формы, а формирователь прямоугольных импульсов ФПИ – для импульсного режима работы. С измерительной катушки ВТП сигнал усиливается и оцифровывается аналого-цифровым преобразователем АЦП. Полученные данные записываются в буфер памяти для последующей передачи в блок обработки. Эта передача осуществляется через микроконтроллер МК и беспроводной модуль БМ связи Bluetooth. Синхронизация работы основных элементов блока преобразования обеспечивается блоком управления БУ.

Блок обработки включает приемник (Пр), персональный компьютер (ПК) со специальным программным обеспечением (ПО).

4. Обсуждение полученных результатов

Проверка работоспособности системы и проведение экспериментов выполнялись для импульсного режима работы. Программное обеспечение системы было разработано в среде Matlab, и реализовывало алгоритм анализа сигналов ВТНК во временной области на базе преобразования Гильберта. Информационный сигнал с ВТП представляет собой отклик-реакцию системы «ВТП-ОК» на фронт возбуждающего сигнала и допускает представление моделью (1):

$$u_{\text{ВТП}}(t) = U_m e^{-\alpha \cdot t} \cdot \cos 2\pi \cdot f \cdot t + u_{\text{ш}}(t), \quad t \in (t_1, t_2), \quad (1)$$

где U_m – амплитудное значение информационной составляющей сигнала ВТП, α – декремент сигнала, f – частота колебаний сигнала ВТП, t – текущее время, (t_1, t_2) – интервал времени анализа сигнала ВТП (реакции на скачок амплитуды возбуждающего сигнала), $U_{\text{ш}}(t)$ – шумовая составляющая сигнала (реализация гауссовского шума с дисперсией σ^2 и нулевым матожиданием). Пример одного из сигналов ВТП приведен на рис. 2.

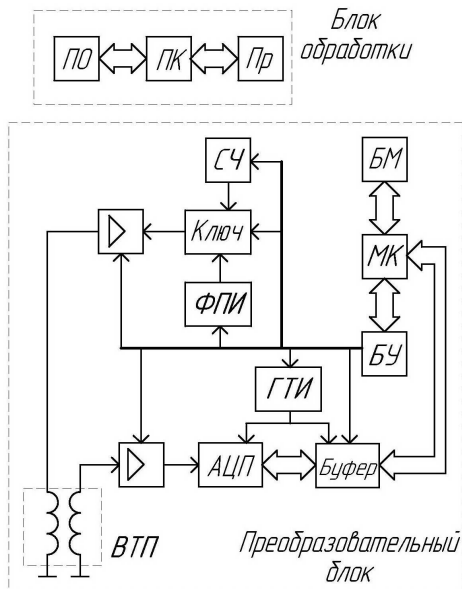


Рис.1. Вихретоковая система контроля крупногабаритных изделий

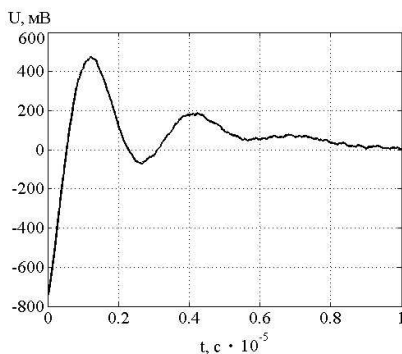


Рис.2. График участка сигнала ВТП

Для тестирования системы использовался образец в виде пластины из слабомагнитной стали с дефектами типа трещин, с раскрытием $h \in (0.1 \div 1.0)$ мм и глубиной 0.5 мм, и ВТП трансформаторного типа с ферритовым сердечником, радиуса $r = 5$ мм. Частота дискретизации сигнала АЦП - $f_{\text{д}} = 32$ МГц.

Обработка и анализ характеристик сигналов ВТП включали определение их гильберт-образов согласно формулы:

$$u_H [t] = \mathbf{H}[u_{\text{ВТП}} [t]], \quad (2)$$

где \mathbf{H} - оператор дискретного преобразования Гильберта. Амплитудная и фазовая характеристики [4, 5] сигналов определялись соответственно как:

$$\hat{U}[t] = \sqrt{u_{\text{ВТП}}^2 [t] + u_H^2 [t]}, \quad (3)$$

$$\hat{\Phi}[t] = \arctg \frac{u_H}{u_{\text{ВТП}}} + \mathbf{L}(u_H [t], u_{\text{ВТП}} [t]), \quad (4)$$

где \mathbf{L} - оператор развертывания ФХС за пределами интервала однозначности функции \arctg .

Предложено в качестве информационных параметров использовать декремент $\alpha(h)$ и частоту $f(h)$ сигнала ВТП. Определение декремента сигнала производилось по АХС согласно формулы:

$$\alpha(h) = \frac{1}{\Delta T} \ln \frac{\hat{U}(t_1, h)}{\hat{U}(t_2, h)} \quad (5)$$

где $\hat{U}(t_1, h)$, $\hat{U}(t_2, h)$ – значения АХС соответственно в моменты времени t_1 и t_2 . На рис. 3 приведен график полученной зависимости $\alpha = F(h)$, который указывает на увеличение декремента сигнала ВТП для дефекта по сравнению с бездефектным участком.

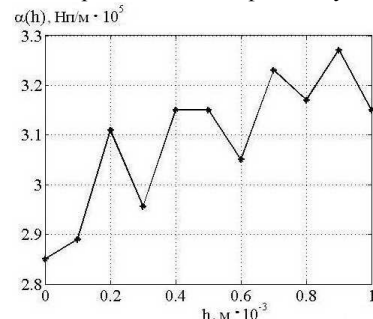


Рис.3. Зависимость декремента сигнала ВТП от размера трещины

Определение частоты сигнала ВТП выполнялось по ФХС:

$$f(h) = \frac{\Delta \hat{\Phi}[h]}{2\pi \Delta T}, \quad (6)$$

где $\Delta \hat{\Phi}[h]$ – фаза информационного сигнала ВСП, накопленная за время ΔT (например за время $(t_2 - t_1)$). Полученные данные приведены в качестве графиков (рис. 4) зависимости частоты сигнала ВТП как функции от ширины раскрытия трещины.

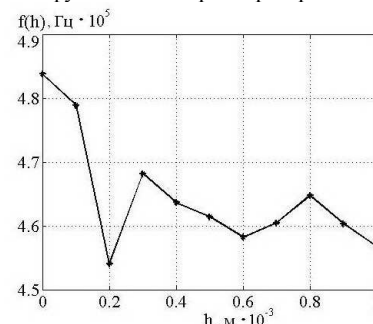


Рис.4. График зависимости частоты сигнала ВТП от размера трещины

4. Заключение

Предложенная система ВТНК дает возможность исследовать объекты больших габаритов в труднодоступных местах за счет небольших размеров преобразовательного блока, и использования беспроводной связи Bluetooth. Показана возможность использования в импульсном ВТНК таких параметров как декремент и частота колебаний

информационного сигнала. Установлен общий характер зависимости этих параметров от раскрытия дефекта.

5. Литература

1. Учанин В.Н. Вихретоковые мультимодальные преобразователи и их применение / В.Н. Учанин // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2006ю - №3. – с. 34-41.

2. Дугін О.Л. Мобільний вихрострумний дефектоскоп / Дугін О.Л., Кустовський О.Л., Петрик В.Ф. // Сучасні методи та

засоби неруйнівного контролю та технічної діагностики: XX-та Міжнар. конф. та вист., 01 - 05 жовтн. 2012 р. – 2012. – с. 239.

3. Лисенко Ю.Ю. Дослідження імпульсного режиму збудження вихрострумних перетворювачів / Лисенко Ю.Ю., Куц Ю.В. // НК та технічна діагностика - UkrNDT-2012: VII Нац. наук.-техн. конф., 20 - 23 лист. 2012 р. – 2012. – с. 162-163.

4. Куц Ю.В. Статистична фазометрія / Ю.В. Куц, Л.М. Щербак. – Тернопіль: Тернопільський державний університет ім. І. Пулюя, 2009. – 383 с.

5. Цифровая обработка сигналов / А.Б. Сергиенко – СПб.: Питер, 2003. – 604 с.: ил.