УДК 621.3.08

В.Н. Костюков, V.N. Kostyukov, e-mail: post@dynamucs.ru
Ал. В. Костюков, Al.V. Kostyukov, e-mail: post@dynamucs.ru
А.В. Боярников, Al.V. Boyarnikov, e-mail: post@dynamucs.ru
А.В. Щелканов, A.V.Schelkanov, e-mail: post@dynamucs.ru
Д.В. Казарин, D.V. Kazarin, e-mail: post@dynamucs.ru
А.Е. Цурпаль, A.E. Tsurpal, e-mail: post@dynamucs.ru
К.В. Юдин, K.V. Yudin, e-mail: post@dynamucs.ru
И.В. Александров, I.V. Aleksandrov, e-mail: post@dynamucs.ru
В.В. Мельк, V.V. Melk, e-mail: post@dynamucs.ru
ООО «НПЦ «Динамика», г. Омск, Россия
Ltd. "SPC "Dynamics", Omsk, Russia

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

SYSTEM OF THE BROADBAND VIBROACOUSTIC PROCESSES MEASUREMENT

The article shows the results of the development of the experimental unit applied within the comprehensive research program concerning vibroacoustic processes aimed at data collection on vibration of rolling stock mechanical part assemblies, working in real operation conditions.

Представлены результаты разработки экспериментальной установки, применяемой в рамках комплексной программы исследования виброакустических процессов для получения данных о вибрации узлов механической части подвижного состава, работающего в реальных условиях эксплуатации.

Ключевые слова: *процессор, АЦП, сигнал, вибрация, частота дискретизации, динамический диапазон, спектр, спектрограмма*

Keywords: *processor, ADS, signal, vibration, sampling frequency, dynamic range, spectrum, spectrogram*

Выдающиеся возможности новейших программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), а именно встроенные процессорные ядра, гигабитные трансиверы, сотни высокоскоростных интерфейсов ввода-вывода общего назначения (GPIO) и сотни тысяч перепрограммируемых логических ячеек крайне редко используются в практических разработках. Связано это, прежде всего, с высокой стоимостью данных микросхем, достигающей нескольких тысяч долларов, и сложностью отладки разрабатываемых проектов.

Большое распространение на практике получили коммерчески доступные ПЛИС без встроенных процессорных ядер и трансиверов, стоимостью до 100 долларов. Использование данных ПЛИС (FPGA) накладывает некоторые ограничения на объём реализуемого проекта, связанные с необходимостью выделения большого объёма логических ячеек на реализацию интерфейсов связи с управляющими устройствами и интерфейсов подключения внешней памяти.

Наиболее перспективным направлением в разработке высоко-эффективных измерительных устройств является совместное применение ПЛИС и сигнального процессора, например 16-разрядного Blackfin. Семейство Blackfin – это результат совместных усилий фирм Analog Devices и Intel по разработке новой архитектуры Micro Signal Architecture ADI. Особенностью данной архитектуры является сочетание в одном микропроцессоре возможностей цифровой обработки сигналов и RISC подобный набор команд. Главная цель создателей семейства Blackfin состояла в реализации цифровых процессоров обработки сигналов массово-

го применения с наивысшими показателями производительности при минимальной стоимости.

Распределение функций между ПЛИС и сигнальным процессором Blackfin позволяет создавать многоканальные высокопроизводительные измерительные системы (см. рис. 1), в которых на ПЛИС возлагаются функции управления АЦП и предварительная обработка получаемых данных – цифровая фильтрация, выделение акустических импульсов и расчёт их параметров, организация потока данных для приёма по каналу DMA и прочее [1]. На долю процессора возлагается реализация функций связи с управляющими устройствами по интерфейсу Ethernet, поддержка Web-интерфейса, хранение полученных от ПЛИС данных во внешней памяти, окончательная обработка полученных данных.

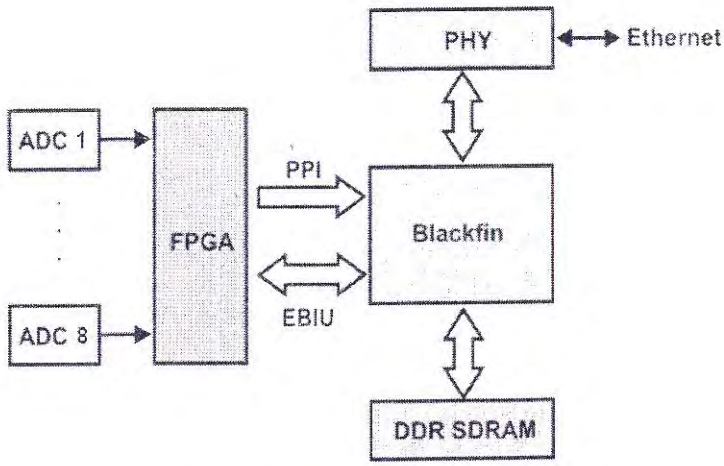


Рис. 1. Структурная схема измерительной системы на базе ПЛИС и микропроцессора Blackfin (ADC1.. ADC8 – блоки аналого-цифровых преобразователей, FPGA – программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС), Blackfin – цифровой процессор обработки сигналов, DDR SDRAM – память хранения временной реализации, PHY – физический уровень интерфейса Ethernet)

Отличительной особенностью разработанного, в соответствии с вышеописанной архитектурой, измерительного модуля 3541 (рис. 2) является возможность непрерывной и равномерной (без пропусков данных) регистрации сигналов [2].

Применяемые в модуле 24-разрядные АЦП производства Analog Devices позволяет получить временную реализацию с разрешением в 16 «чистых» разрядов и частотой дискретизации до 4000 кГц. Основные технические характеристики модуля 3541 приведены в табл. 1.

Рис. 2. Измерительный модуль 3541

Таблица 1

Технические характеристики модуля 3541

Количество измерительных каналов	8
Тип входа	дифференциальный
Разрядность АЦП (результирующая), бит	16
Размер буфера временной реализации, Мб	8
Диапазон частот дискретизации АЦП по всем каналам одновременно, кГц	0.1÷4000
Полоса пропускания при максимальной частоте дискретизации (по уровню – 3дБ), кГц	0÷1500
Динамический диапазон, дБ, не менее	не менее 76
Диапазон входного сигнала: – канала измерения напряжения, мВ – канала измерения тока, мА	 ±(0÷1000) ±(0÷5)
Относительная основная погрешность – канала измерения напряжения, %, не более – канала измерения тока, %, не более	 0,05 0,1
Напряжение питания модуля, В	15
Потребляемая мощность, Вт, не более	10
Интерфейс	Ethernet 100 Мбит/с

На рис. 3 в качестве примера показан результат работы модуля – выборка сигнала вибрации тягового электродвигателя электропоезда длительностью 250 секунд и частотой дискретизации 65 кГц, построенная в виде спектрограммы.

На спектрограмме выделяются два пика резонансной зоны датчика вибрации, использованного для получения данного сигнала (поз. 1). Кроме того выделяются пики (поз. 2), частота и уровень которых не зависят не только от скорости движения электропоезда (оборотной частоты), но и от наличия возмущающего воздействия на датчик (присутствуют, даже тогда, когда электропоезд не движется).

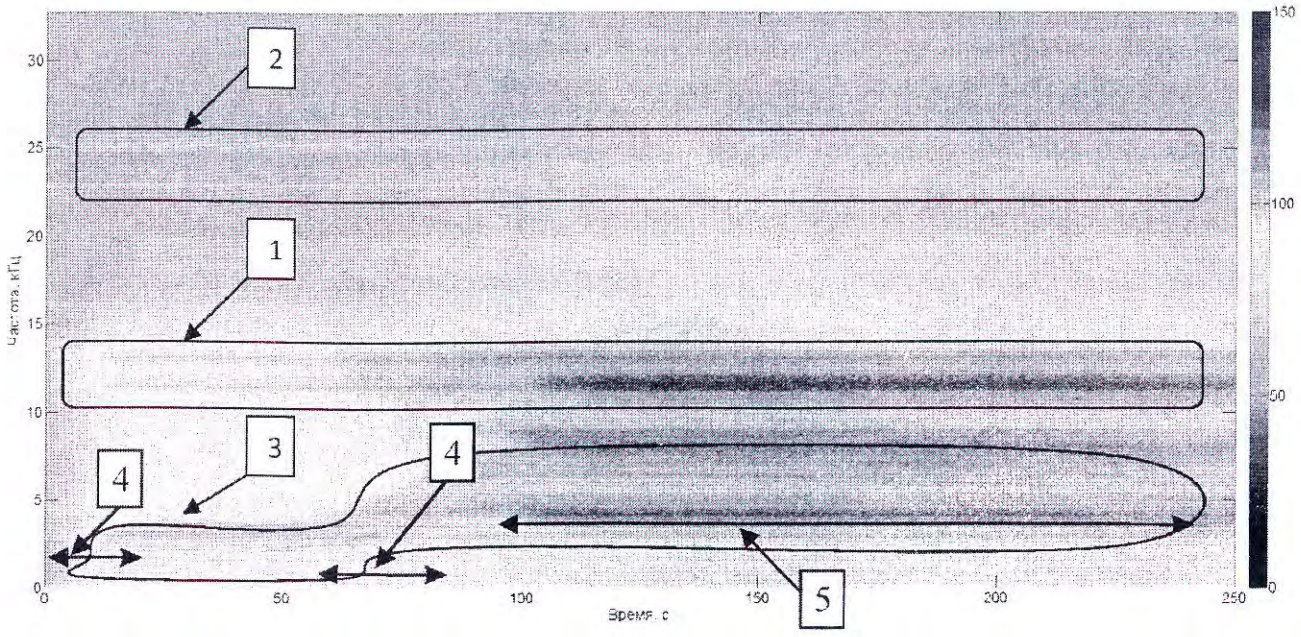


Рис. 3. Спектрограмма виброакустического сигнала тягового электродвигателя электропоезда длительностью 250 секунд в диапазоне частот от 0 до 32 кГц

Гармонические составляющие спектра сигнала вибрации, частота которых изменяется пропорционально скорости движения электропоезда (поз. 3) сосредоточены в основном в диапазоне от 0 до 10 кГц в диапазоне скоростей от 0 до 120 км/час. На представленной форме визуализации данных отчетливо видны области, в которых электропоезд осуществлял разгон (поз. 4), а также двигался на выбеге (поз. 5).

На рис. 4 представлен амплитудно-частотный спектр сигнала вибрации того же тягового двигателя с разрешающей способностью по частоте 0,1 Гц, построенный по временной реализации с частотой дискретизации 260 кГц. На представленном спектре однозначно можно выделить аналогичные характерные области.

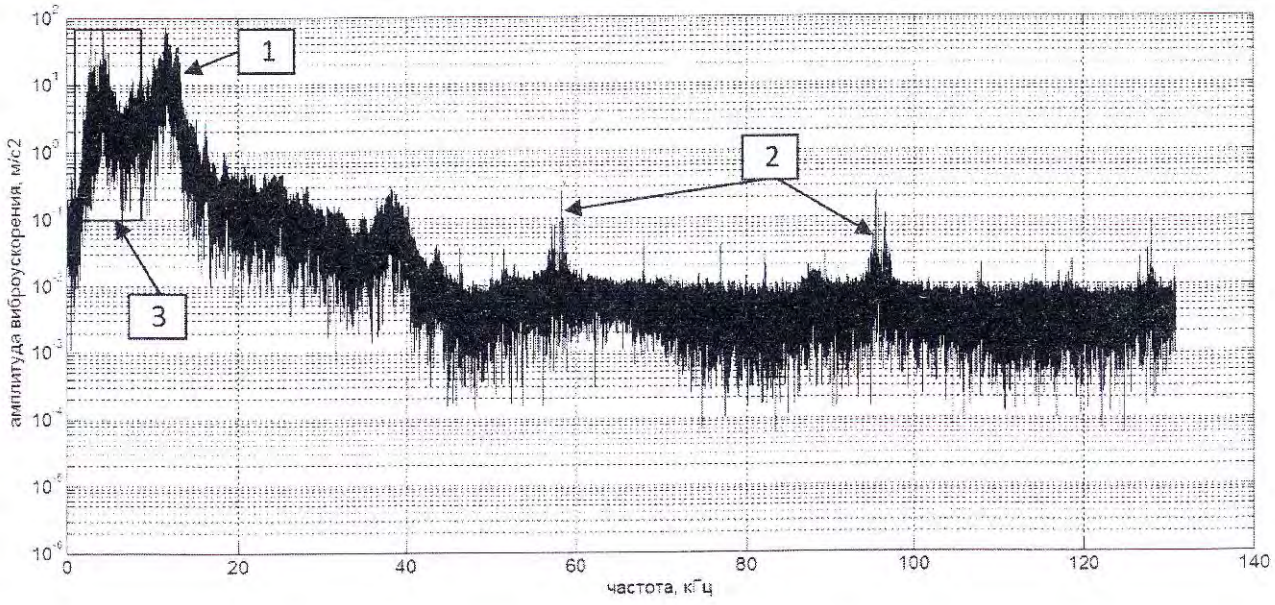


Рис. 4. Амплитудно-частотный спектр виброакустического сигнала тягового электродвигателя электропоезда в диапазоне частот от 0 до 130 кГц

Система, созданная на базе модуля 3541, позволяет проводить в реальном времени виброакустическую и акустико-эмиссионную диагностику оборудования, в том числе работающего в нестационарных режимах [3].

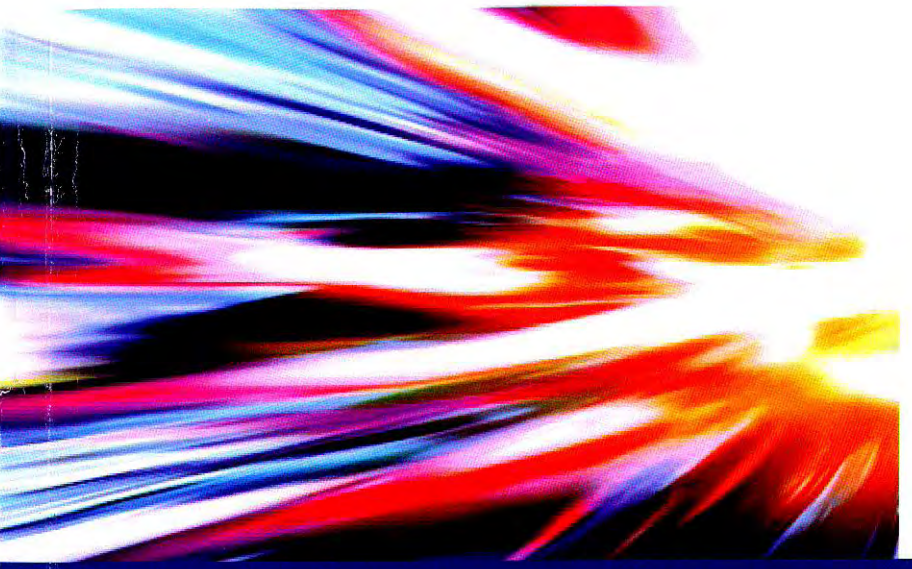
Библиографический список

1. Костюков В. Н. Автоматизированные системы управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств (АСУ БЭР – КОМПАКС®) /В. Н. Костюков, С.Н. Бойченко, Ал.В. Костюков. – М.: Машиностроение, 1999. – 163 с.

2. Модуль 3541. URL: http://www.dynamics.ru/products/controllers-moduls-sensors/modul-3541/ (дата обращения: 10.02.2014).

3. Костюков, В.Н. Мониторинг безопасности производства / В.Н. Костюков. – М.: Машиностроение, 2002. – 224 с.

ISSN 2310-9793



Омский
государственный
технический
университет

ДИНАМИКА СИСТЕМ, МЕХАНИЗМОВ И МАШИН

№ 4, 2014

Радиотехнические системы, устройства и СВЧ-технологии, информационно-телекоммуникационные системы и безопасность

Вибродиагностика, мониторинг, риски

Техносферная безопасность

ISSN 2310-9793

ДИНАМИКА СИСТЕМ, МЕХАНИЗМОВ И МАШИН

DYNAMICS OF SYSTEM, MECHANISMS AND MASHINES (DYNAMICS)

Шесть номеров в год
с периодичностью один раз в два года

№ 4, 2014

Учредитель:

Омский государственный технический университет

Редакционная коллегия:

В. В. Шалай, доктор технических наук
Е. А. Андреева, доктор технических наук
П. Д. Балакин, доктор технических наук
С. В. Бирюков, доктор технических наук
А. В. Бубнов, доктор технических наук
Ю. А. Бурьян, доктор технических наук
В. Н. Горюнов, доктор технических наук
А. А. Колоколов, доктор физ.-мат. наук
А. В. Косых, доктор технических наук
В. И. Левченко, доктор технических наук
Ю. К. Машков, доктор технических наук
А. П. Моргунов, доктор технических наук
В. И. Потапов, доктор технических наук
В. Ф. Фефелов, кандидат химических наук

Главный редактор:

А. В. Косых,
первый проректор –
проректор по научной работе ОмГТУ

© ОмГТУ, 2014

Технические редакторы:

О. И. Бабенко
Р. Х. Багаутдинова
М. А. Галега
М. С. Романовская
М. А. Федорова
И. М. Чумаченко
И. В. Шукшина

Язык публикаций:
русский, английский

Дата и номер договора о включении рецензируемого научного издания в систему Российского индекса научного цитирования:
213-04/2014 от 14.04.2014

Адрес в РИНЦ:
http://elibrary.ru/title_about.asp?id=50500

Адрес редакции:
644050, г. Омск, пр. Мира, 11, каб. 203а
Контактный телефон:
8 (381-2) 65-35-36
e-mail: fap_omsk@omgtu.ru
Телефон для рекламодателей: 65-35-36

В журнал вошли материалы конференции «Динамика систем, механизмов и машин», которая проводится в ОмГТУ с 1995 г.

Дата создания журнала 2014 г.

Печатается в авторской редакции

Компьютерная верстка *О. Г. Белименко*

Подписано в печать 16.10.14. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.
Отпечатано на дупликаторе. Усл. печ. л. 18,00. Уч.-изд. л. 18,00.
Тираж 200 экз. Заказ 594.

Издательство ОмГТУ. 644050, г. Омск, пр. Мира, 11; т. 23-02-12.
Типография ОмГТУ