

Научная статья

УДК 004.03:621.396

doi 10.34216/2587-6147-2021-1-51-55-57

Эдуард Станиславович Якупов

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

yesfact@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1778-3035>

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА НА БАЗЕ КОНТРОЛЛЕРА SBRIO-9636 И ШИРОКОПОЛОСНОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА MEMS ADXL1005

Аннотация. В данной статье описана измерительная система на базе программируемого одноплатного контроллера sbRIO-9636, которая предназначена для измерений виброускорений. В качестве измерительного датчика используется широкополосный акселерометр с низким уровнем шума MEMS ADXL1005. В работе приведена информация об ограничениях рассматриваемой измерительной системы, связанных с техническими характеристиками контроллера и датчика. Также приведена графическая схема программы, разработанной в среде LabVIEW. Обозначены диапазоны частоты и амплитуды сигналов, которые способна измерять система. Выполнено обоснование приведенных значений. Проведена валидация измерительной системы, результаты которой сведены в таблицу. По результатам работы сделаны выводы, на основании которых можно утверждать, что рассматриваемую измерительную систему целесообразно применять в научно-исследовательских работах, связанных с экспериментальным модальным анализом.

Ключевые слова: LabVIEW, sbRIO-9636, акселерометр ADXL1005, измерительная система, модальный анализ вынужденных колебаний, LabVIEW Real-time, FPGA

Для цитирования: Якупов Э. С. Измерительная система на базе контроллера sbRIO-9636 и широкополосного акселерометра MEMS ADXL1005 // Технологии и качество. 2021. № 1(51). С. 55–57. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2021-1-51-55-57>.

Original article

Eduard S. Yakupov

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

MEASURING SYSTEM BASED ON THE SBRIO-9636 CONTROLLER AND THE MEMS ADXL1005 BROADBAND ACCELEROMETER

Abstract. This article describes a measurement system based on a programmable single-Board controller sbRIO-9636, which is designed to control vibration acceleration measurements. A low-noise broadband accelerometer MEMS ADXL1005 is used as a measuring sensor. This paper provides information about the limitations of the considered measuring system related to the technical characteristics of the controller and sensor. A listing of the programme developed in the LabVIEW environment is also provided. The frequency and amplitude ranges that the system can measure are indicated. The given values are justified. The measurement system was validated, and the results are summarised in a table. Based on the results of the work, conclusions are made, which state that the considered measuring system should be used in research works related to experimental modal analysis.

Keywords: LabVIEW, sbRIO-9636, accelerometer ADXL1005, measurement system, modal analysis of forced oscillations, LabVIEW Real-time, FPGA

For citation: Yakupov E. S. Measuring system based on the sbRIO-9636 controller and the MEMS ADXL1005 broadband accelerometer // *Tekhnologii i kachestvo* = Technologies & Quality. 2021;1(51): 55–57. (In Russ.) <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2021-1-51-55-57>.

В любом упруго деформируемом теле при воздействии на него однократным импульсом (ударом) или периодическим действием вынуждающей силы можно возбудить колебания, характер которых может многое сказать о внутренней структуре тела. В случае воздействия

однократного импульса в теле будут наблюдаться собственные свободные затухающие колебания, которые могут быть разложены на собственные формы (СФ) и собственные частоты (СЧ). Совокупность СЧ и соответствующей ей СФ называется модой колебаний, а процедуру, при которой моды определяются в результате натурального эксперимента, называют эксперимен-

тальным модальным анализом (ЭМА). В статье приведено описание измерительной системы, которая позволяет проводить ЭМА [1].

Описание измерительной системы

Рассматриваемая в статье измерительная система (ИС) используется для экспериментального определения виброускорений. Она включает широкополосный акселерометр MEMC ADXL1005 с низким шумом и одноплатный промышленный контроллер sbRIO-9636, соединенный с компьютером. При сравнении ИС данного типа значительный интерес представляют их диапазоны измерений. Ограничения рассматриваемой ИС главным образом связаны с техническими характеристиками контроллера и датчика. К значимым параметрам контроллера можно отнести частоту его действия, которая составляет 40 МГц. Исходя из этой величины, можно вычислить предельную измеряемую частоту колебания тела, которая будет равна 10 кГц. Это значение является ограничением измерительной системы по частоте. Также к значимым характеристикам контроллера можно отнести дискретность принимаемого сигнала. АЦП, встроенный в sbRIO-9636, преобразует сигнал в дискретные цифровые значения. Количество значений можно определить следующим образом: $2^{16} = 65\,536$ (16-разрядный АЦП). Эти значения равномерно распределены по входному диапазону от -5 В до 5 В, воспринимаемому аналоговым входом. В следующем равенстве представлен расчет LSB (Least Significant Bit):

$$\frac{5 - (-5)}{65\,536} = 152,6 \text{ мкВ.} \quad (1)$$

Акселерометр способен измерять ускорение в диапазоне $\pm 100g$. Данное значение накладывает ограничение на максимальную амплитуду колебаний системы или тела. Также к важным параметрам датчика относится предельная частота измерения, которая равна 23 кГц. Это значение больше значения предельных измеряемых частот f . Следующий значимый параметр датчика – сверхнизкая плотность шума:

$$\frac{75 \mu g}{\sqrt{f}}$$

На низких частотах ($f < 100$ Гц) шумы датчика не будут превышать $750 \mu g$.

Для контроллера разработана программа в среде LabView, которая состоит из двух частей. Первая часть управляет созданием постоянного напряжения на аналоговом выходе (АО0), используемом для питания акселеромет-

ра, и записывает показания с аналогового входа (АИ0), который подключен к выходному контакту акселерометра. Графическое представление программы дано на рис. 1.

Вторая часть программы представлена на рис. 2. Она отвечает за обработку принимаемого сигнала.

Валидация измерительной системы и результаты испытаний

Проверка производилась путем сравнения результатов, полученных при помощи разработанной ИС и поверенной (эталонной) ИС на базе NI USB-4432 и акселерометра Kistler Type 8614A500M1. Результаты измерений приведены в таблице.

Измерения проводились на балке, закрепленной в тисках.

В таблице приведены следующие параметры:

l – длина балки;

f_{A1} – значение первой собственной частоты при измерении разработанной ИС;

f_{A2} – значение первой собственной частоты при измерении поверенной ИС;

A_1/A_2 – отношение измеренных амплитуд разработанной и поверенной ИС соответственно.

Также в таблице приведено значение теоретической первой собственной частоты $f_{\text{теор}}$, которое было вычислено по следующей формуле [2, с. 153]:

$$f_{\text{теор}} = \left(\frac{2k-1}{2} \right)^2 \sqrt{\frac{EJ}{m_0 l^4}}, \quad (2)$$

где k – порядковый номер собственной формы;

EJ – жесткость при изгибе;

m_0 – масса единицы длины стержня;

l – длина стержня.

ВЫВОДЫ

1. Разработана измерительная система на базе sbRIO-9636 и акселерометра MEMC ADXL1005, которая позволяет проводить измерения виброускорений в диапазоне частот от 1 Гц до 10 кГц и амплитудой ускорений до $100g$ с дискретностью $0,015g$, что делает систему пригодной для экспериментального модального анализа.

2. Проведенные эксперименты показали, что отклонения по частоте составляют не более $0,5$ Гц, при этом коэффициент отношения амплитуд сохраняет значение не ниже $0,9$, что позволяет использовать разработанную систему в научно-исследовательских работах.

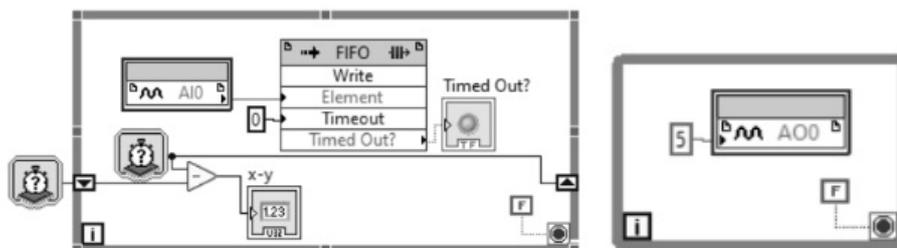


Рис. 1. Графическая схема программы, работающей с акселерометром

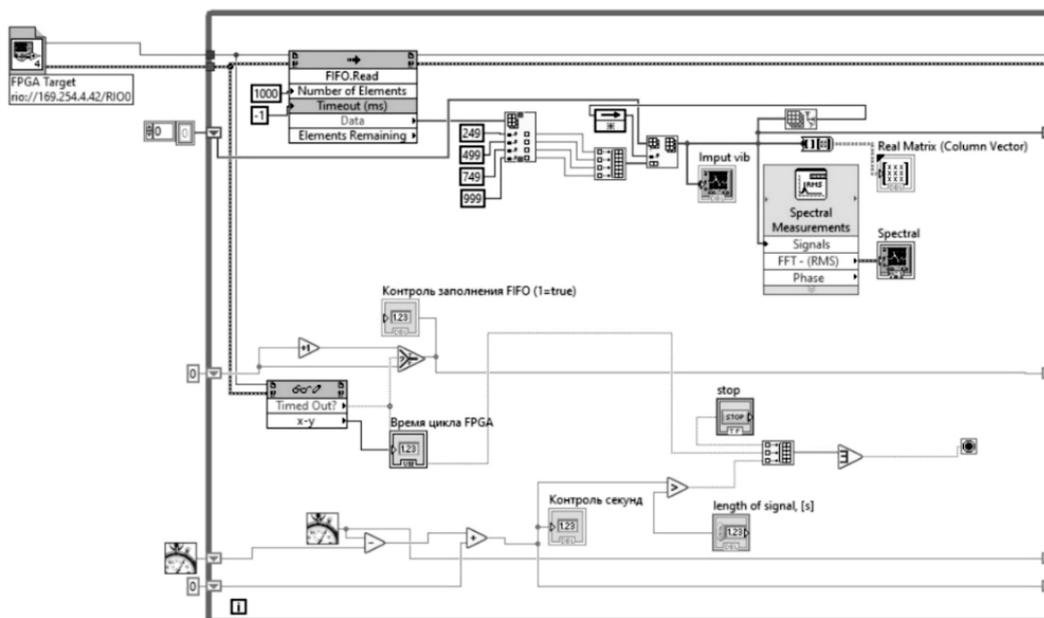


Рис. 2. Графическая схема программы обработки сигнала, выполненная в LabVIEW Real-Time

Т а б л и ц а

Значения, полученные при валидации системы

l , мм	$f_{\text{геор}}$, Гц	Разрабатываемая система		Эталонная система		$\frac{A_1}{A_2}$
		f_{A1} , Гц		f_{A2} , Гц		
400	10,2805	17,5081		17,4444		0,97
300	21,1038	28,4666		28,8889		0,95
200	58,1553	60,6947		60,5556		0,93

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Zhulev V., Kuts M. Contact models verification by the finite element model updating method based on the calculation of the sensitivity coefficient // Matec web of conferences : 14th International scientific-technical conference "Dynamic of technical systems", DTS-2018. Rostov-on-Don : EDP Sciences, 2018. URL: https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2018/85/matecconf_dts2018_02008.pdf (дата обращения: 15.01.2021).
- Бидерман В. Л. Теория механических колебаний. М. : Ленанд, 2017. 416 с.

REFERENCES

- Zhulev V., Kuts M. Contact models verification by the finite element model updating method based on the calculation of the sensitivity coefficient // Matec web of conferences : 14th International scientific-technical conference "Dynamic of technical systems", DTS-2018. Rostov-on-Don : EDP Sciences, 2018. URL: https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2018/85/matecconf_dts2018_02008.pdf (data obrashcheniya: 15.01.2021).
- Biderman V. L. Teoriya mekhanicheskikh kolebaniy. M. : Lenand, 2017. 416 s.

Статья поступила в редакцию 14.01.2021
Принята к публикации 11.03.2021.