

УДК 621.389

А. О. Голунов, Н. В. Горбунов

Программно-аппаратурная система на базе микрокомпьютера *Raspberry Pi 3* для радиационных испытаний электронных компонентов

*Для изучения радиационной стойкости электронных компонентов используются различные источники ионизирующего излучения, с помощью которых компоненты исследуемых систем подвергаются длительному воздействию потоков высокоэнергетических частиц. Изучение радиационной стойкости требует создания специализированных исследовательских комплексов. Такие системы предназначены для отбора элементов, не соответствующих критериям радиационной стойкости, для решения конкретных задач на стадии проектирования оборудования. Разработана система испытаний радиационного упрочнения электронных компонентов на базе микрокомпьютера *Raspberry Pi 3*.*

*Ключевые слова: лазерный инклинометр, пьезостакер, *Raspberry Pi*, Python, фильтрация, шумы*

Об авторах

Голунов Александр Олегович – аспирант 1-го года обучения кафедры проектирования электроники для установок «мегасайенс» государственного университета «Дубна». *E-mail*: agolunov@mail.ru. 141980 Московская область, г. Дубна, ул. Университетская, д. 19.

Горбунов Николай Васильевич – ведущий научный сотрудник ЛФВЭ ОИЯИ, кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования электроники для установок «мегасайенс» государственного университета «Дубна».

Системы электроники, предназначенные для использования в условиях повышенного ионизирующего излучения, должны обладать повышенной радиационной стойкостью для обеспечения функционирования на протяжении всего периода эксплуатации. Подобные радиационные условия характерны для ускорительных комплексов, предназначенных для работы с пучками элементарных частиц и ядер высоких энергий. Также повышенные требования к радиационной устойчивости предъявляются и в других отраслях, таких как космическая и авиационная промышленность, атомная энергетика, медицина и т.д.

Для изучения радиационной стойкости подобных систем применяются различные источники ионизирующего излучения, с использованием которых компоненты исследуемых систем подвергаются длительному воздействию потоков высокоэнергетических частиц. Этот процесс часто занимает много времени, может выполняться на различных установках и требует автоматизации.

Таким образом, исследование радиационной стойкости требует создания специализированных исследовательских комплексов,

которые позволяют оценить надежность компонентов в зависимости от дозы облучения.

В данной статье представлен мобильный программно-аппаратурный комплекс для измерения характеристик электронных компонентов под воздействием ионизирующего излучения на базе встраиваемого микроконтроллера *Raspberry Pi 3B* [9].

Аппаратурные компоненты комплекса

Аппаратурная часть комплекса разделена на две части, находящиеся на расстоянии 40 метров друг от друга: одна непосредственно устанавливается в зоне облучения, вторая – в зоне доступа обслуживающего персонала. Общая схема компонентов комплекса представлена на рис. 1.

Центральной частью комплекса является одноплатный микрокомпьютер *Raspberry Pi 3*. Микрокомпьютер обеспечивает прием информации от платы *LVMB*, применяется для обработки и экспресс-анализа и обеспечивает *WEB*-интерфейс для управления комплексом.

Выбор микрокомпьютера *Raspberry Pi* определяется низкой стоимостью при богатых возможностях: работа под управлением бесплатной операционной системой *Raspbian* на базе *Linux (Debian)*, малое энергопотребление *Raspberry Pi 3* может обеспечивать мо-

бильность комплекса при работе от аккумулятора, наличие средств беспроводного доступа

позволяет организовать удаленное *WEB*-управление комплексом.

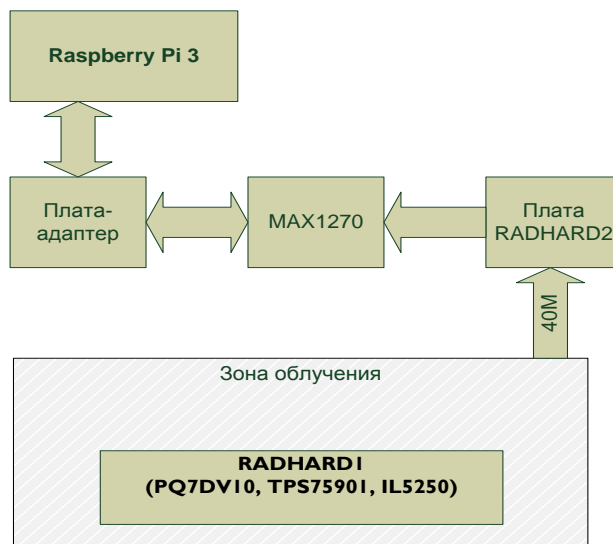


Рис. 1. Схема комплекса

Исследуемые элементы размещаются на плате *RADHARD1*, сигналы с которой по линии связи поступают на плату-адаптер *RADHARD2*, которая непосредственно устанавливается на плату *MAX1270*, обеспечивающую преобразование сигналов в дискретный код.

Плата контроля низковольтных напряжений *LVMB (Low Voltage Monitoring Board)* предназначена для оцифровки входных напряжений и токов. На плате установлено семь ИС *MAX1270* [8], что позволяет измерять до 56 аналоговых каналов с точностью 12 бит в диапазоне от 0 до 10 В. Дополнительно установлены восемь цифровых выходов для управления источниками сигналов для аварийного отключения каналов при обнаружении ошибок в исследуемых образцах. Считывание информации осуществляется по интерфейсу *SPI*.

Плата для монтажа исследуемых элементов *RADHARD1* разработана для проведения радиационных испытаний конкретных элементов. На плате устанавливаются исследуемые регуляторы напряжения: *PQ7DV10, TPS75901, IL5250*. Напряжения и токи с регуляторов передаются на плату-переходник *RADHARD2* кабелем *S/UTP (shielded twisted pair)* на расстояние 40 метров. Одновременно устанавливаются три одинаковых платы с подключенной нагрузкой 1 Ом. Охлаждение элементов платы и нагрузочных резисторов

осуществляется с помощью системы охлаждения стойки с водяным хладагентом.

Программные компоненты комплекса

Программная часть реализована под управлением операционной системы *Raspbian* (рис. 2). ОС базируется на ОС *Linux (Debian)*, что позволяет использовать широкий спектр программного обеспечения и сторонних библиотек, а также использовать сетевые протоколы для передачи данных и внешних коммуникаций. Операционная система на данный момент находится в стадии активной разработки, постоянно совершенствуется и приобретает новые функции. Данные с микросхемы *MAX1270* принимаются модулем считывания и заносятся в базу данных под управлением *MySQL*, откуда доступны для дальнейшего анализа или для онлайн-*WEB*-мониторинга. Обработанные данные становятся доступны через *WEB*-интерфейс в виде графиков. Управление модулем считывания также осуществляется через *WEB*-интерфейс.

Для считывания данных посредством аналого-цифровых преобразователей *MAX1270* разработан модуль на языке *Python*. Модуль позволяет задавать конфигурационные параметры микросхем *MAX1270* (диапазон измерений, разрядность и т.д.), считывать данные поканально или группой, управлять восемью цифровыми выходами, определяет частоту опроса АЦП.

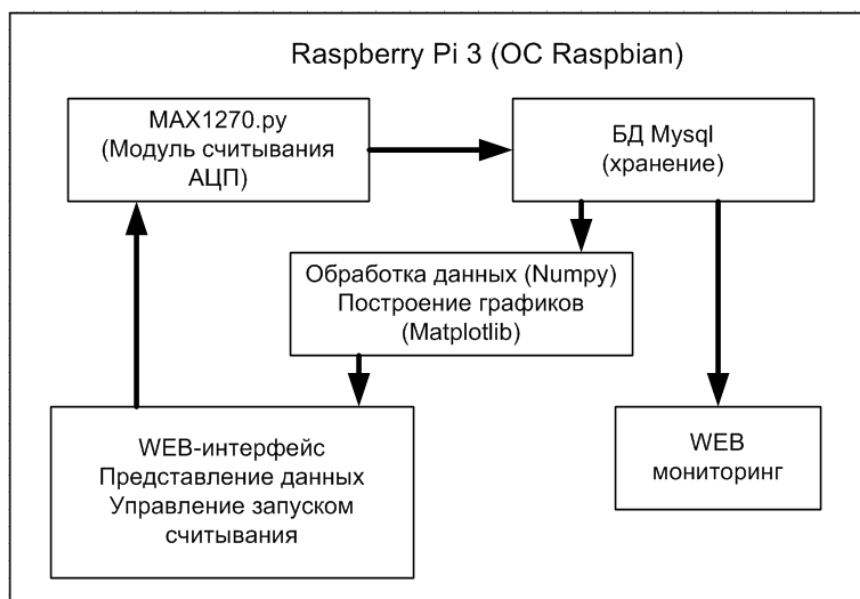


Рис. 2. Схема программной части комплекса

Запись и хранение данных

В качестве хранилища данных выбрана база данных *MySQL* – свободная реляционная система управления базами данных. Язык запросов *SQL (structured query language)* позволяет фильтровать, группировать выборки по различным критериям (времени, номеру измерения, идентификатору измерения и т.д.).

Принятые цифровые данные записываются в базу данных *MySQL* поканально (*ch1*, *ch2* и т.д.) и содержат дополнительные поля: «Номер измерения», «Дата и время измерения», «Идентификатор измерения».

Для обеспечения сохранности данных предусмотрено регулярное резервное копирование данных на удаленном сервере. В качестве средства синхронизации файлов выбрана программа *rsync*, запускаемая через планировщик задач *cron*¹.

Для обработки данных используются внешние библиотеки *Numpy* и *Matplotlib*.

NumPy [3] – это библиотека на языке программирования *Python* [6; 7], обеспечивающая поддержку больших многомерных массивов и матриц. Имеет большой набор высокоуровневых математических функций для операций с различными массивами. Основным объектом *NumPy* является однородный многомерный массив. Это многомерный массив элементов (обычно чисел) одного типа. Средствами библиотеки вычисляются среднее зна-

чение и среднеквадратичное отклонение для каждого канала считывания.

Matplotlib – библиотека на языке программирования *Python* для визуализации данных двумерной графикой. Получаемые изображения могут быть использованы для публикации на *WEB*.

WEB-интерфейс системы

Для удаленного управления набором данных создан *WEB-интерфейс*². Он позволяет исполнять команды начала набора данных, остановки набора данных, старта анализа, а также обеспечивает доступ к уже обработанной информации. Наличие *WEB-интерфейса* позволяет операторам из удаленных центров мониторинга [2; 5] иметь оперативный доступ к экспериментальным данным и контролировать процесс набора данных.

Реализовано наложение списка событий с привязкой ко времени. Для этого создается текстовый файл формата

время:событие

Наличие такого файла позволяет совместить набранные данные и заметки во временном графике (рис. 5).

¹ *Cron* – планировщик задач в *Linux*.

² *WEB-страница* или совокупность *WEB-страниц*, предоставляющая пользовательский интерфейс для взаимодействия с сервисом или устройством посредством протокола *HTTP* и веб-браузера.

Таким образом, созданный комплекс программного обеспечения позволяет оперативно производить оценку набираемых данных, находить момент начала деградации

в зависимости от полученной дозы облучения, управлять набором данных и т.д.

На рис. 3 и 4 представлены графики, демонстрирующие стабильную работу исследуемых элементов в процессе облучения.

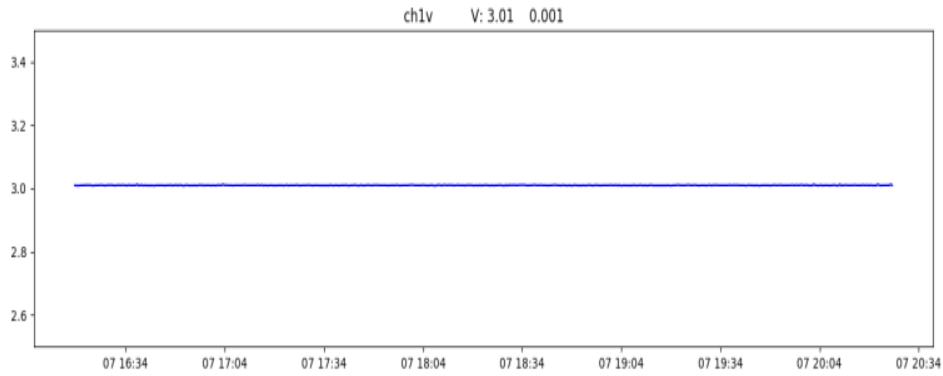


Рис. 3. Пример стабильной работы регулятора по напряжению

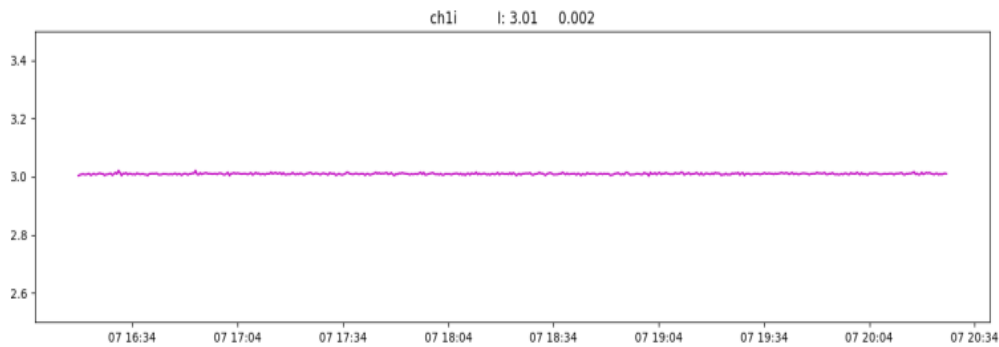


Рис. 4. Пример стабильной работы регулятора по току

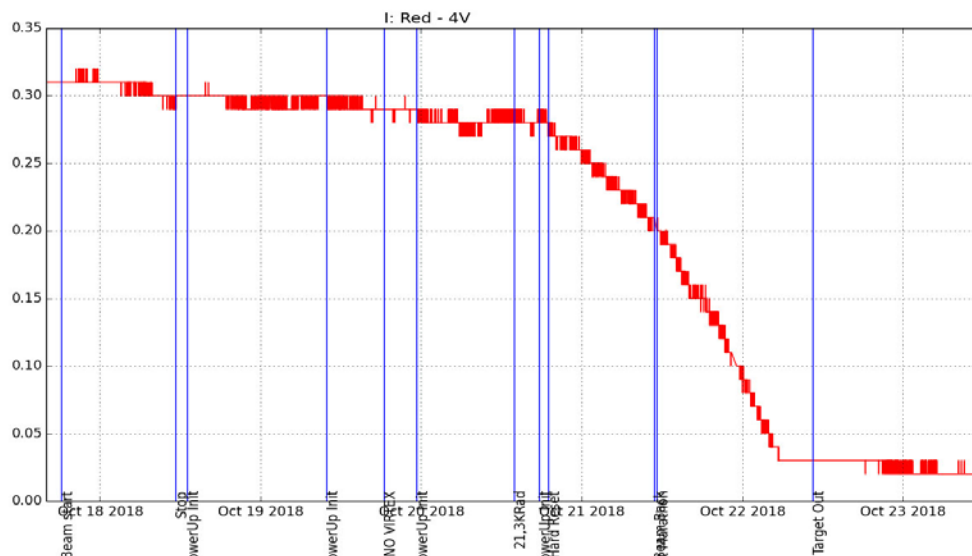


Рис. 5. Пример изменения характеристик элемента под воздействием ионизирующего излучения

Работоспособность разработанного программно-аппаратурного комплекса была проверена в ходе испытаний радиационной стойкости электронных компонентов на установке *CHARM* [1] (*Cern High-energy Accelerator test facility*) в ЦЕРН.

Создан, испытан и применен мобильный программно-аппаратурный комплекс измерения характеристик электронных компонентов в условиях воздействия ионизирующего излучения, обеспечивающий прием данных, хранение, обработку и экспресс-анализ результатов измерений, визуализацию.

Проведены испытания комплекса на действующей экспериментальной установке *CHARM (CERN)*, во время которых исследованы три типа линейных регуляторов напряжения.

По совокупности характеристик созданный комплекс может быть применен в разных отраслях науки, таких как системы автоматического контроля, измерительные приборы с питанием от батареи, промышленные системы управления, системы сбора данных, робототехника, медицинское оборудование и др.

Библиографический список

1. CHARM: A Mixed Field Facility at CERN for Radiation Tests in Ground, Atmospheric, Space

and Accelerator Representative Environments / J. Mekki [et al.] // IEEE Trans. Nucl. Sci. Vol. 63. № 4. 2016. P. 2106–2114.

2. The JINR CMS Remote Operation Center / A.O. Golunov [et al.] // Phys. Part. Nucl. Lett. 2013. Vol. 10. P. 81–84; Письма в ЭЧАЯ. 2013. 10 №1(178). С. 130–134.

3. Idris I. NumPy Beginner's Guide: Build efficient, high-speed programs using the high-performance NumPy mathematical library. Birmingham: Packt Publ., 2015.

4. Никифоров А. Ю., Телец В.А., Радиационная стойкость электронной компонентной базы систем специальной техники и связи // Спецтехника и связь. 2011. № 4–5.

5. Удаленные центры мониторинга эксперимента CMS / А.О. Голунов [и др.] // Ядерная физика и инжиниринг. 2014. 5 № 11. С. 939–943.

6. Прохоренок Н.А. Python 3 и PyQt. Разработка приложений. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 704 с.

7. Хахаев И.А. Практикум по алгоритмизации и программированию на Python. М.: Альт Линукс, 2010. 126 с. (Библиотека ALT Linux).

8. Multirange, +5V, 8-Channel, Serial 12-Bit ADCs. – URL: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/1911.pdf> (дата обращения: 20.08.2019).

9. RASPBERRY PI 3 MODEL B RASPBERRY PI 3 MODEL B: Technical specification. – URL: https://www.terraelectronica.ru/pdf/show?pdf_file=%252Fds%252Fpdf%252FT%252FTechicRP3.pdf (дата обращения: 12.07.2019).

Поступила в редакцию
23.12.2019