

References

1. Afraimovich E. L., Astafyeva E. I., Berngradt O. I., Demyanov V. V. et al. *Izvestiya vuzov. Radiophysics*. 2004, vol. 47, № 7, pp. 509–526.
2. Afraimovich E. L., Lesyuta O. S., Ushakov I. I., Voeykov S. V. *Annals of Geophysics*. 2001, vol. 45 (1), pp. 55–71.
3. Perov A. I., Harisov V. N. *GLONASS: printsipy postroyeniya i funktsionirovaniya* (GLONASS: principles of construction and functioning). Moscow, Radiotekhnika, 2005, 687 p.
4. Kartsan I. N., Anpilogov V. N., Litoshik S. V., Zhukova E. S. *Vestnik SibGAU*, 2011, № 7 (40), pp. 68–73.
5. Kaplan E. D. *Understanding GPS: Principles and Applications*. Artech House, 1996, 556 p.
6. Afraimovich E. L., Karachentsov V. A., Neydakin A. A. *Izvestiya vuzov. Radiophysics*, 2003, № 4, pp. 51–60.
7. Gurtner, W. RINEX: The Receiver Independent Exchange Format. Electronic resource. Version 2. International GNSS Servis. IGS Central Bureau, 1993–2009.

© Карцан И. Н., Тяпкин В. Н., Охоткин К. Г., Карцан Р. В., Пахоруков Д. Н., 2013

УДК 629.78.054:621.396.018

МАГИСТРАЛЬНО-МОДУЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОТРАБОТКИ БОРТОВОЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

С. С. Красненко¹, Д. А. Недорезов¹, В. Б. Кашкин¹, А. В. Пичкалев²

¹Сибирский федеральный университет

Россия, 660041, Красноярск, просп. Свободный, 79. E-mail: t_150@list.ru.

²ОАО «Информационные спутниковые системы» имени М. Ф. Решетнева)

Россия, 662972, Железногорск Красноярского края, ул. Ленина, 52

Обоснована необходимость создания унифицированных автоматизированных комплексов проверки радиоэлектронной аппаратуры. Сформулированы требования к комплексам проверки, удовлетворяющие разработчиков и цех испытаний радиоэлектронной аппаратуры. Предложена реализация автоматизированных комплексов, удовлетворяющих предъявленным требованиям, с использованием магистрально-модульных систем. Приведен пример использования такой системы для испытаний навигационной аппаратуры космического назначения. Рассмотрен вариант реализации имитатора радионавигационного сигнала на магистрально-модульной системе компании National Instruments. Реализация автоматизированных комплексов с использованием магистрально-модульных систем позволяет существенно сократить время проверки радиоэлектронной аппаратуры без потери качества, а также создавать гибкую проверочную аппаратуру. Все это позволит повысить конкурентоспособность производимой продукции.

Ключевые слова: испытания, радиоэлектронная аппаратура, комплексы проверок, магистрально-модульная система, имитатор радионавигационных сигналов.

BUS-MODULAR SYSTEM FOR TEST OF ONBOARD RADIOELECTRONIC EQUIPMENT

S. S. Krasnenko¹, D. A. Nedorezov¹, V. B. Kashkin¹, A. V. Pichkalev²

¹Siberian Federal University

79 Svobodnui prosp., Krasnoyarsk, 660041, Russia. E-mail: t_150@list.ru.

²JSC “Information Satellite Systems” named after academician M. F. Reshetnev”

52 Lenin st., Zhelenogorsk, Krasnoyarsk region, 662972, Russia

The authors substantiate the necessity of creation of the unified automated systems for testing radio-electronic equipment, formulate the requirements to check complexes satisfying developers and workshop testing radio-electronic equipment and propose realization automated systems meet shown requirements using the bus-modular systems with the presentation of the example of use of such a system for testing the navigation equipment for space objects. Along with this the authors consider a variant of the simulator of radio navigation signal on bus-modular system of National Instruments. The implementation of automated systems with bus-modular systems allows to significantly reduce the radio-electronic equipment scan time without loss in quality, and create flexible checkout equipment. All the mentioned above will improve the competitive ability of the products.

Keywords: testing, electronic equipment, systems audits, bus-modular system, simulator of radio navigation signals.

Бортовая радиоэлектронная аппаратура перед запуском на орбиту в составе космического аппарата проходит ряд проверок, которые можно разделить на два этапа:

- лабораторные испытания;
- испытания после сборки аппаратуры – цеховые испытания.

Лабораторные испытания проводятся разработчиками, сюда входят лабораторно-отработочные испытания и конструкторско-доводочные испытания. В ходе этих испытаний выявляются ошибки проектирования и прочие дефекты работы прибора. Цеховые испытания проводятся в цехе-изготовителе для устранения дефектов сборки аппаратуры и проверки ее в составе системы космического аппарата. В цеховые испытания входят автономные испытания, комплексные испытания, межведомственные испытания и предъязывательские испытания. К специальным испытаниям относятся термовакуумные, вибрационные и акустические. Проводятся они как на этапе лабораторных, так и на этапе цеховых испытаний при помощи специальных средств, имитирующих те или иные воздействия. Радиоэлектронные испытания обязательны как для лабораторных, так и для цеховых испытаний и проводятся специализированными комплексами, включающими в себя всю необходимую для проверки конкретного прибора аппаратуру [1].

Перед добавлением новых узлов в бортовой прибор или полной заменой аппаратуры производится весь цикл лабораторных и цеховых испытаний. Проверка нововведенных узлов в цехе затрудняется негибкостью типового оборудования, его загруженностью испытаниями другой аппаратуры. Кроме этого, испытательные комплексы в цехе традиционно имеют статичную структуру, ориентированную на серийное производство продукции, поэтому их доработка требует значительных финансовых и временных затрат. В связи с чем необходима гибкая аппаратура, позволяющая в короткие сроки реконфигурировать, дорабатывать испытательные комплексы. Мобильность такой аппаратуры повысит ее надежность при переносе к испытательным стендам специальных воздействий. Однако стоит отметить, что отладочное оборудование разработчиков, удобное для лабораторной отработки и удовлетворяющее этим требованиям, зачастую неприменимо в условиях цеха из-за четких оговоренных требований к испытательной аппаратуре. В связи с этим требуется такой испытательный комплекс, который будет и удовлетворять разработчиков для лабораторных испытаний, и соответствовать стандартам цеха в части эксплуатации испытательного оборудования.

Автоматизация работы комплексов испытаний позволяет проводить более полную и всестороннюю проверку за меньшее время, а также способствует получению большего объема и лучшего качества испытательной информации. Кроме того, автоматизация испытаний исключает влияние человеческого фактора. Все это позволяет обеспечить требуемый для космического машиностроения уровень проверки.

Принимая во внимание вышеизложенное, можно выделить следующие требования к комплексам проверки радиоэлектронной аппаратуры:

- предоставление комплексом полноты, достоверности, точности экспериментальных данных;
- универсальность по отношению к видам и объемам испытаний;
- способность комплекса быстро адаптироваться к изменению задач и условий испытаний;
- надежность функционирования технических средств испытаний;
- мобильность испытательного комплекса;
- удобство управления испытательной аппаратурой;
- простота технического обслуживания и ремонтпригодность;
- простота разработки программного обеспечения для комплекса.

Обеспечить автоматизацию и выполнить все предъявленные требования к комплексам проверок можно, используя магистрально-модульные системы (ММС). Иностранные производители ММС предоставляют потребителям продукцию широкого спектра применения в различных стандартах. Для таких систем разработана огромная номенклатура технических средств и самое разнообразное программное обеспечение, которое позволяет полностью автоматизировать их работу. Отсутствующие компоненты можно разрабатывать самостоятельно или заказывать специалистам, что не значительно скажется на общей стоимости комплекса [2].

В качестве примера можно рассмотреть практическое применение ММС для испытаний аппаратуры радионавигации (АРН). АРН – это специализированный прибор, устанавливаемый на космические аппараты, находящиеся на геостационарной и высокоэллиптической орбитах, для их позиционирования в космическом пространстве. На ММС разрабатывается автоматизированный комплекс для проверки этой аппаратуры.

Данный комплекс имитирует внешнюю, по отношению к АРН, среду, с использованием контрольно-измерительной аппаратуры на базе серийных модулей РСІ, сРСІ/РХІ (модули цифрового ввода-вывода, ЦАП, АЦП, специализированные интерфейсные модули, устройства коммутации сигнала, осциллографы, генераторы и т. д.), управляемых промышленным или персональным компьютером, в котором реализована автоматизированная система обработки информации и управления. Таким образом, организуется процесс, подобный штатной эксплуатации прибора в составе космического аппарата.

При помощи устройства цифрового ввода-вывода имитируются управляющие воздействия блока управления космическим аппаратом и выдача в него команд из АРН. Аналогово-цифровой преобразователь контролирует аналоговые сигналы, поступающие от аппаратуры радионавигации. Модули релейной коммутации сигнала обеспечивают электропитание прибора. Также в составе комплекса проверок применяется специализированное интерфейсное устройство –

контроллер мультиплексного канала обмена. Для создания соединителей удобно использовать выносные клеммные модули, что избавляет от создания кабелей и позволяет оперативно переконфигурировать соединения при необходимости. Такой метод испытаний эффективен тем, что довольно просто и быстро позволяет переконфигурировать испытательные комплексы, если цели и методы обработки меняются.

Обеспечив все необходимые параметры и воздействия, оператор-испытатель, при помощи управляющего компьютера с необходимым программным обеспечением, начинает проверку АРН и сбор данных о его работе, после чего выводится протокол всех отказов и неисправностей, если таковые имеются. Таким образом, использование аппаратуры на базе серийных модулей и специализированного программного обеспечения позволяет создавать автоматизированные комплексы проверок, удовлетворяющих всем вышеописанным требованиям.

Кроме модулей, имитирующих параметры, характерные для большинства бортовой аппаратуры, АРН также необходим имитатор радионавигационных сигналов (ИРНС), который будет воссоздавать навигационную обстановку, подобную реальной, от спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС и GPS.

Сегодня аппаратура имитации навигационных сигналов весьма востребованна и некоторыми компаниями производится серийно, но все они ориентированы на потребителей, находящихся в околоземном пространстве, поэтому не подходят для проверки и испытаний АРН. В связи с этим необходима разработка специального ИРНС, с возможностью перепрограммирования, что позволит использовать его для обработки разных типов навигационных приемников.

На сегодняшний день наиболее известны три типа формирователей навигационного радиосигнала:

- на дискретных синтезаторах;
- цифровой схеме;
- векторном генераторе.

Первый тип формирователя характеризуется тем, что сигнал от каждого навигационного спутника генерируется отдельным синтезатором, формируя квадратурный сигнал, манипулированный по фазе псевдослучайной последовательности, используемой в навигационных системах ГЛОНАСС и GPS с наложенной на нее соответствующей цифровой информацией. Сигналы со всех синтезаторов суммируются, фильтруются, преобразователем частоты вверх переносятся в требуемую область частот и перед выходом ИРНС регулируются по мощности узлом аттенуаторов. Главной проблемой этой реализации ИРНС является синхронизация большого числа дискретных синтезаторов. Именно это послужило основной причиной для отказа от данной схемы при разработке современных многоканальных имитаторов [3].

Во втором типе формирователя в качестве цифровой схемы можно использовать программируемую логическую интегральную схему (ПЛИС), в которой реализован цифровой синтез и суммирование сигнала. При помощи схемы управления интегрированные

синтезаторы формируют навигационные сигналы в цифровом виде, после чего они суммируются и переводятся внешним цифро-аналоговым преобразователем в аналоговую форму. Таким образом, получается требуемый сигнал на промежуточной частоте. Далее преобразователь частоты переносит его на рабочие частоты навигационных спутников [3].

Третий тип формирователя наиболее гибок в части быстрого изменения формата заданного сигнала. Векторный генератор представляет собой быстродействующий ЦАП и преобразователь частоты вверх. На его вход подается изменяющийся цифровой код, описывающий навигационный сигнал от нескольких движущихся по соответствующей орбите спутников. Для расчета этого кода используется процессор с требуемым программным обеспечением. При необходимости имитации большого числа навигационных спутников (порядка 12) можно использовать внешнюю память, на которой будет храниться рассчитанный ранее цифровой код, так как в этом случае процессор не сможет обеспечить генерацию кода в режиме реального времени [3].

Для обеспечения требований, предъявляемых к комплексам автоматизированной проверки, при разработке ИРНС также необходимо использовать ММС. Компания National Instruments предлагает технологии ММС, которые позволяют реализовать 2-й и 3-й типы формирователя навигационного сигнала. Ниже рассмотрен 2-й тип.

Для данной реализации наиболее подходят модули PXIe-5641R и PXI-5610. Эти модули управляются в среде графического программирования LabVIEW, которая работает как в операционных системах реального времени, так и в Windows. Данные модули устанавливаются в шасси, например NI PXIe-1075, находящейся под управлением системного контроллера NI PXIe-8130.

Модуль PXIe-5641R является универсальным устройством, с помощью которого можно принимать сигнал и производить его обработку, а также синтезировать и воспроизводить его в диапазоне от 250 кГц до 80 МГц с полосой 20 МГц. Для этого он имеет по два аналоговых входа и выхода, оснащенные АЦП и ЦАП соответственно, а также ПЛИС, в которой происходит обработка и синтез сигналов в цифровой форме. Аналоговые входы и выходы имеют встроенные цифровые преобразователи частоты вниз и вверх. Модуль PXI-5610 – это преобразователь частоты в диапазоне от 250 кГц до 2,7 ГГц [4].

Таким образом, реализовав на ПЛИС модуля PXIe-5641R цифровое формирование навигационных сигналов и перенеся его в необходимый нам диапазон частот, получаем ИРНС ГЛОНАСС/GPS в модульном исполнении.

В заключение можно упомянуть, что современные тенденции космического машиностроения предъявляют жесткие требования к созданию космических аппаратов и обязывают поддерживать высокую конкурентоспособность завода-изготовителя, в которой существенную роль играет время создания аппарата,

немалую часть которого занимает качественная проверка его аппаратуры. Для уменьшения времени проверки радиоэлектронной аппаратуры необходимо использовать современное оборудование, чем и являются комплексы на ММС.

Компания National Instruments предлагает технологии ММС и огромную номенклатуру технических средств с самым разнообразным программным обеспечением к ним. Их модули программируются в среде графического программирования LabVIEW. Данная среда позволяет разрабатывать прикладное программное обеспечение для организации взаимодействия с измерительной и управляющей аппаратурой, сбора, обработки и отображения информации, а также моделирования как отдельных объектов, так и автоматизированных систем в целом. В состав LabVIEW входят библиотеки управления различными аппаратными средствами с такими интерфейсами, как PCI, cPCI/PXI, VXI, GPIB. Программные продукты, созданные с использованием LabVIEW, могут быть дополнены фрагментами, разработанными на общепринятых языках программирования C++, VHDL, Pascal и т. д. Кроме того, подавляющее число разработчиков серийных контрольно-измерительных устройств снабжают свою продукцию драйверами для LabVIEW, что избавляет разработчика программного обеспечения от низкоуровневого программирования. LabVIEW позволяет разрабатывать практически любые приложения, взаимодействующие с любыми видами аппаратных средств, поддерживаемых операционной системой компьютера и идеально подходит для автоматизации работы с радиоэлектронной аппаратурой [5].

Таким образом, комплексы автоматизированных проверок, выполненных на ММС являются наиболее перспективными в области проверки радиоэлектронной аппаратуры. Благодаря использованию серийных модулей различного назначения данные комплексы будут весьма гибкими и мобильными, с относительно небольшими временными и финансовыми затратами в случае необходимости доработки. На примере реализации ИРНС показаны практически неограниченные возможности ММС. Полученный ИРНС является оптимальным для использования в комплексах испытаний на ММС, он обеспечивает требуемые параметры, а именно: многоканальность, требуемое созвездие навигационных спутников и параметры движения приемника на борту космического аппарата.

Библиографические ссылки

1. Испытания радиоэлектронной, электронно-вычислительной аппаратуры и испытательное оборудование / О. П. Глудкин [и др.] / под ред. А. И. Коробова. М. : Радио и связь, 1987.

2. Пичкалев А. В. Создание автоматизированного мобильного испытательного комплекса для цеховых испытаний программно-управляемой радиоэлектронной аппаратуры // Решетневские чтения : материалы XIII Междунар. науч. конф. ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2009. Ч. 2.

3. Красненко С. С., Пичкалев А. В. Способы формирования сигналов в радионавигационных имитаторах // Тезисы докладов Междунар. науч.-техн. конф., посвященной 30-летию запуска на орбиту первого навигационного космического аппарата «Глонасс» / под общ. ред. Н. А. Тестоедова ; ОАО «Информационные спутниковые системы» ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2012.

4. Красненко С. С., Недорезов Д. А. Практическое применение модульных приборов компании National Instruments при разработке имитаторов радионавигационных сигналов // Интеллект и наука : тр. XII Междунар. науч. конф. Железногорск, 2012.

5. National Instruments измерительные платформы и приборы [Электронный ресурс]. URL: <http://www.labview.ru>.

References

1. Korobov A. I. *Ispytanie radioelektronnoi, elektronno-vychislitelnoi apparatyru i isputatelnoe oborudovanie* (Tests of electronic, electronic computing equipment and test equipment: studies. aid for higher education). Moscow, 1987, 272 p.

2. Pichkalev A. V. Creation of the automated mobile test complex for industrial tests of program-controlled radio-electronic equipment [Sozdanie avtomatizirovannogo mobilnogo kompleksa dla cehovuh isputanii programno-uypravlaemoi radioelektronnoi apparatyru]. *Materialu XIII mezhdunarod. nauch. konf. "Reshetnevskie chtenia"* (Proceedings of XIII International. Scientific. Conf. "Reshetnev reading"). Krasnoyarsk, 2009, Part 2, 528 p.

3. Krasnenko S. S., Pichkalev A. V. Ways of signal formation in radionavigating simulators [Sposobu formirovaniy signalov v radionavigacionnuyh imitatorah]. *Navigacionnue sputnikovue sistemu, ih rol i znachenie v zhizni sovremennogo cheloveka* (Abstracts of the 2nd Int. scientific and engineering. conf. dedicated to the 30th anniversary of the launch into orbit of the first navigation of the spacecraft "Glonass"). Krasnoyarsk, 2012, 75 p.

4. Krasnenko S. S., Nedorezov D. A. Practical application of modular instruments at National Instruments in the development of radio navigation signals simulators [Prakticheskoe primenenie priborov kompanii National Instruments pri razrabotke imitatorov radionavigacionnuyh signalov]. *Trydu XII mezhdunar. nauch. konf. "Intelekt i nauka"* (Tr. XII Intern. Scientific. Conf "Intelligence and Science"). Zheleznogorsk, 2012, 43 p.

5. National Instruments izmeritelnye platformy i pribory (National Instruments measurement platforms and devices). Available at: <http://www.labview.ru>.

© Красненко С. С., Недорезов Д. А., Кашкин В. Б., Пичкалев А. В., 2013