

Методы контроля и измерений составных частей бортового радиотехнического комплекса

А.В. Куликов

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева
443086, Россия, г. Самара,
Московское шоссе, 34

Аннотация – Обоснование. Актуальность темы данной работы обусловлена необходимостью повышения достоверности и качества результатов измерительного контроля модулей различного уровня и антенных решеток, входящих в состав бортового радиотехнического комплекса, а также повышением надежности и параметрической эффективности радиотехнического комплекса. **Цель.** Разработка метода и методики комплексного контроля радиочастотных модулей 1, 2, и 3-го уровней в процессе проектирования, производства и испытания на основе современных средств и процессов автоматизации. **Методы.** Используются натурный эксперимент, компьютерное моделирование, программирование, экспертные оценки, исследовательские, автономные и приемосдаточные испытания. **Результаты.** Был сделан выбор рабочей модели контроля. На основе ее разработано автоматизированное рабочее место. В его состав интегрировано контрольное и измерительное оборудование, управляемое специальным программным обеспечением – программным комплексом с общим интерфейсом оператора. Для управления процессом тестирования разработан программный комплекс, который в автоматизированном режиме устанавливает необходимые режимы работы модулей и подает с векторного анализатора цепей стимулирующий сигнал в соответствии с заданными параметрами. После окончания тестирования формируется и выводится на печать протокол испытаний. Если проводятся испытания модулей на соответствие ТУ, то протокол формируется в соответствии с ГОСТ. Тестовая последовательность разрабатывается с помощью среды для организации автоматизированного тестирования NI TestStand, а подпрограммы, управляющие режимами работы изделий, с помощью C/C++ и средствами графической разработки NI LabVIEW. Автоматизированное рабочее место реализует следующие функции: функциональный электронный контроль цепей и узлов радиочастотных модулей и изделия в целом, электрический контроль целостности цепей и узлов радиочастотных модулей, программирование цифровых компонентов, проведение комплексных испытаний радиочастотных модулей, проведение комплексных испытаний антенн и антенных решеток. Разработанный алгоритм включает этап самотестирования аппаратной части автоматизированного рабочего места. После ввода необходимой информации запускается пошаговый цикл контроля параметров модуля. Он начинается с подключения тестируемого устройства к автоматизированному рабочему месту и заканчивается составлением протокола испытаний и сообщением о годности или негодности по совокупности измеренных значений параметров. Заключительный вывод о работоспособности объекта контроля делается автоматически после окончания измерения всех параметров в виде всплывающего диалогового окна. Оно содержит одно из двух взаимоисключающих утверждений: «Контроль успешно пройден», «Контроль не пройден». **Заключение.** Разработан алгоритм и методика автоматизированного контроля и настройки, который позволяет повысить достоверность и точность (на 5–15 %) результатов измерений электрических параметров приемо-передающего модуля на этапах настройки и испытаний. Разработан программный комплекс автоматизированного контроля. Разработано автоматизированное рабочее место контроля.

Ключевые слова – автоматизированный контроль; методы контроля; достоверность контроля; измерительный контроль; методика измерений; надежность.

Введение

Основными задачами бортовых радиотехнических комплексов (РТК) являются прием и передача сигнала, обработка и анализ полученных данных, измерение и преобразования информации. Надежность и эффективность бортового РТК во многом определяются качеством изготовления составных частей РТК, т. е. входящими в его состав узлами, модулями, блоками. Затраты на выявление и замену узлов, не соответствующих техническим требованиям, многократно возрастают при обнаружении отказа на каждой последующей стадии производства и эксплуатации.

В связи с этим большое значение на данном этапе приобрели вопросы контроля качества и надежности модулей первого, второго и третьего уровня бортовой аппаратуры, а также электронной компонентной базы [1; 2]. Контроль проводят при проектировании, производстве и на других этапах жизненного цикла изделий. Особую актуальность они приобретают на этапах автономных и комплексных испытаний [3]. Испытания как основная форма контроля изделий представляют собой экспериментальное определение его количественных и качественных показателей при воздействии на него различных факторов в процессе функционирования и при его моделировании.

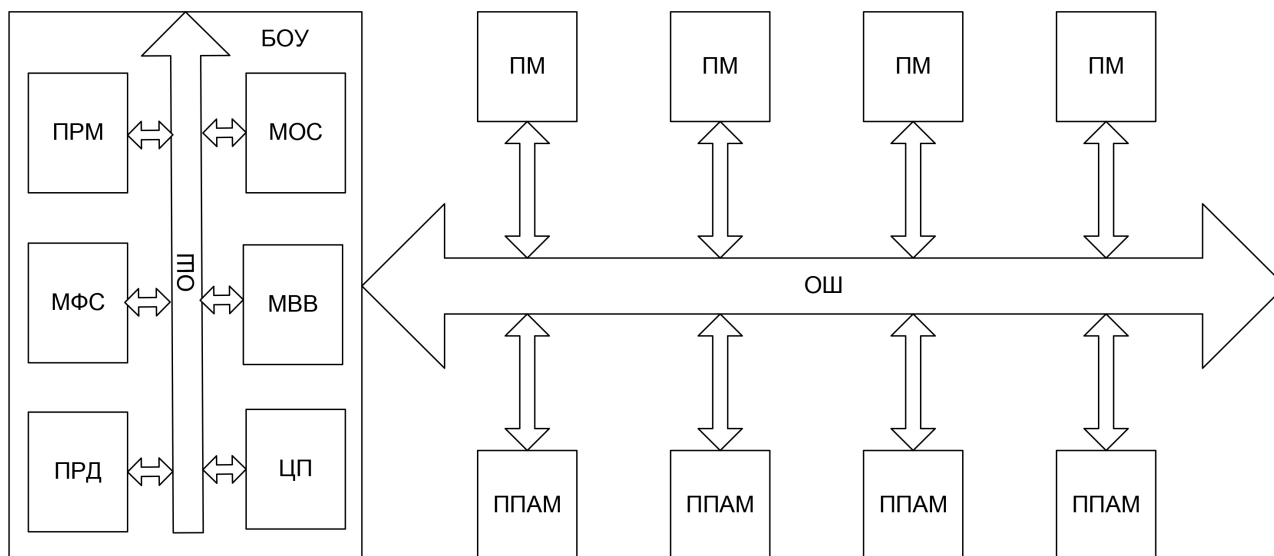


Рис. 1. Базовые устройства бортового радиотехнического комплекса: БОУ – блок управления и обработки; ПРМ – приемный модуль; МОС – модуль обработки сигналов; МФС – модуль формирования сигналов; МВВ – модуль ввода/вывода; ЦП – центральный процессор; ПМ – пеленгационный модуль; ОШ – общая шина; ППАМ – приемно-передающий антенный модуль
Fig. 1. Basic devices of the onboard radio-technical complex: CaPU – control and processing unit; RM – receiving module; SPM – signal processing module; SGM – signal generation module; IOM – input/output module; CPU – central processing unit; DFM – direction finding module; CM – common bus; TRAM – transmit-receive antenna module

Проблема повышения производительности и достоверности приемочного контроля и измерений составных частей бортового РТК является актуальной. Одним из способов повышения надежности и эффективности бортовых радиотехнических комплексов является применение методов автоматизированного контроля и измерений.

1. Общие сведения о составе бортового РТК

Основные устройства, входящие в состав РТК и исследуемые в настоящей работе, представлены на рис. 1.

Блок обработки и управления (БОУ) представляет собой совокупность модулей в конструктивном исполнении с использованием модульной архитектуры VPX и международных стандартов VITA46/48/62/65/67 [4]. Связь между модулями осуществляется по общей шине (ОШ) с использованием различных интерфейсов.

Для приема радиосигналов БОУ имеет несколько радиочастотных (РЧ) входов, которые подключены к приемным модулям (ПРМ). ПРМ осуществляют преобразование радиосигналов РЭС по несущей частоте из РЧ-диапазона в диапазон ПЧ модуля обработки сигналов (МОС). МОС осуществляет обнаружение радиосигналов, измерение их параметров и формирование дескрипторов обнаруженных сигналов, которые передаются в ЦП по интерфейсу Ethernet. Модуль формирования

сигналов (МФС) формирует ответные сигналы, которые поступают в передающий модуль (ПРД), осуществляет перенос сигналов из диапазона ПЧ МФС в РЧ-диапазон и передачу сигнала в приемно-передающий антенный модуль (ППАМ). Далее сигнал излучается в пространстве ПРД, входящими в состав ППАМ.

2. Обзор методов контроля и измерений составных частей РТК

Проектирование и производство составных частей РТК предполагают постоянное получение сведений об их качестве на всех стадиях – от начала проектирования до серийного изготовления. Существенная роль в этом процессе отводится тестированию. Оно выполняется как в процессе производства, так и на этапе приемо-сдаточных испытаний продукции.

Измерения и контроль также тесно связаны друг с другом, близки по своей информационной сущности и содержат ряд общих операций (например, сравнение, измерительное преобразование). В то же время эти процедуры во многом различаются, а именно: результатом измерения является количественная характеристика, а контроля – качественная (логическое заключение типа «годен» – «не годен» и т. п.); измерение осуществляется в широком диапазоне значений измеряемой величины, а контроль – обычно в пределах небольшого числа возможных значений; контрольные прибо-

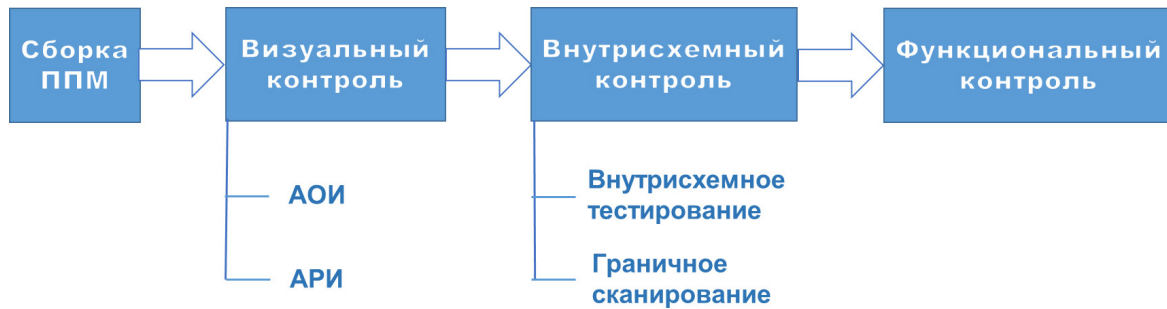


Рис. 2. Методы контроля составных частей РТК в процессе производства
Fig. 2. Methods for controlling the components of the REC in the production process

ры, в отличие от измерительных, применимы для проверки состояния изделий, параметры которых заданы и изменяются в узких пределах; основной характеристикой качества процедуры измерения является точность, а процедуры контроля – достоверность [5; 6].

Сущность контроля заключается в проведении двух основных операций:

1. Получение информации о фактическом состоянии объекта, о признаках и показателях его свойств.
2. Сопоставление первичной информации об объекте с установленными требованиями с целью обнаружить соответствие или несоответствие фактических параметров требуемым.

Контроль составных частей РТК в процессе производства можно реализовать на базе следующих методик и технологий (рис. 2) [7; 8]:

1. Визуальный автоматизированный контроль, в том числе с использованием рентгеновского излучения, позволяющий провести предварительную проверку качества на разных стадиях монтажа печатных плат.
2. Внутрисхемный контроль, позволяющий проверить соединения и компоненты на печатной плате, провести анализ электрических цепей всей схемы либо отдельных ее участков.

Данный метод использует контакт пробников с узлами собранной платы: это может быть как стационарное поле контактов («ложе гвоздей»), так и «летающие пробники», или «летающие матрицы». Часто требует использования сложного и дорогостоящего оборудования, технологической подготовки, изготовления специальной оснастки.

3. Периферийное (граничное) сканирование по технологии JTAG при наличии интерфейса IEEE 1149 в хотя бы одном из компонентов, установленных на плате. Позволяет локализовать такие технологические дефекты, как обрыв, непропай

выводов BGA компонентов, короткое замыкание, контрафактный компонент.

4. Функциональное тестирование – проверка собранных или частично собранных устройств на выполнение заданной функциональности и на соответствие параметрам, которые заложены в технических требованиях на устройство.

Все перечисленные методики позволяют оценить качество составных частей РТК в процессе производства, однако в некоторых случаях тестирование проводится только на финальном этапе. Это так называемое тестирование после окончательной сборки – проверка функциональности и соответствия техническим требованиям. На данном этапе производится оценка не только качества, но и стабильности работы и надежности составных частей РТК.

Входящие в РТК модули имеют достаточно много электрических параметров, которые могут быть измерены в процессе настройки и проверки работоспособности на заключительной стадии. Выбор контролируемых параметров и, соответственно, методик их измерения осуществляется на стадии разработки конструкторской документации и указывается в технических условиях (ТУ) на них. Среди основных параметров можно выделить коэффициент усиления K_y , неравномерность коэффициента передачи $\Delta K_{пер}$, точность установки фазового сдвига $\delta\varphi$, выходную мощность $P_{вых}$, точку компрессии по входу $IP_{1дБ}$ или выходу $OP_{1дБ}$, уровень фазовых шумов $L(f_m)$. Все указанные параметры могут быть измерены с помощью векторного анализатора цепей (ВАЦ). Богатый набор измерительных приложений и гибкость архитектуры позволяют реализовать принцип «одно подключение – комплекс измерений».

Измерение коэффициента усиления K_y основано на измерении S -параметров, в частности параметра S_{21} – коэффициента передачи, или отноше-

ния волны на выходе тестируемого устройства к волне на входе.

Неравномерность коэффициента передачи $\Delta K_{\text{пер}}$ определяется как разность между максимальным и минимальным значением коэффициента передачи в рабочем диапазоне частот. Измерения проводятся при измерении $K_{\text{У}}$ на той же трассе в текущий момент времени с помощью маркеров.

Измерение точности установки фазового сдвига $\Delta\varphi$ осуществляется с помощью ВАЦ в режиме измерения S -параметров, но измерения проводятся в формате Phase (фаза).

Выходная мощность $P_{\text{вых}}$ измеряется с помощью ВАЦ в режиме «Анализатор спектра» или с помощью измерителя мощности, подключенного к ВАЦ по USB-порту.

Для измерения точки компрессии по входу $IP_{1\text{ДБ}}$ или выходу $OP_{1\text{ДБ}}$ используется приложение «Измерения компрессии коэффициента усиления» ВАЦ.

Для измерения уровня фазовых шумов предлагается использовать ВАЦ с возможностью измерения в режиме анализатора спектра. Стимулирующий сигнал подается на вход модуля, и на выходе измеряются мощность сигнала и спектральная плотность шума на заданной отстройке от несущей с помощью маркера Band Noise.

Обобщая вышеизложенное, можно заключить, что для успешного решения задачи измерений с помощью ВАЦ необходимо применять такие методы измерений, решающие основные измерительные задачи, которые позволяют максимально упростить структуру радиочастотного тракта, в том числе минимизировать количество соединений, использовать прецензионные по точности изготовления компоненты измерительного тракта и средства калибровки.

3. Разработка методики контроля и измерения электрических параметров в процессе производства

Достоверность результатов испытаний и контроля качества во многом определяется правильным выбором средств и методов испытаний, качеством методик выполнения измерений. Для проведения испытаний необходимы измерительные комплексы, способные проверять выполнение общих и конкретных требований к продукции.

В состав комплексов входят средства измерений и технического оснащения.

В ходе серийного выпуска составных частей РТК требуется снизить трудозатраты, увеличить скорость настройки и измерений электрических параметров модулей. В настоящее время действующие стенды и методы измерения электрических параметров, включают в себя большое количество приборов и множество коммутаций. Для каждого параметра необходимо производить рассоединение и обратное соединение приборов, что приводит к снижению точности измеренных значений параметров, износу соединительных кабелей и радиочастотных переходов, а также к увеличению времени, затраченного на измерение параметров. При таком подходе все получаемые данные записываются в протокол испытаний вручную.

Для автоматизации измерений и исключения всех вышеперечисленных операций из производственного процесса, было разработано автоматизированное рабочее место (АРМ), в состав которого интегрировано контрольное и измерительное оборудование, управляемое специальным программным обеспечением – программным комплексом с общим интерфейсом оператора [9].

Для управления процессом тестирования разработан программный комплекс, который в автоматизированном режиме устанавливает необходимые режимы работы модулей и подает с ВАЦ стимулирующий сигнал в соответствии с заданными параметрами. После окончания тестирования формируется и выводится на печать протокол испытаний. Если проводятся испытания модулей на соответствие ТУ, то протокол формируется в соответствии с ГОСТ.

Тестовая последовательность разрабатывается с помощью среды для организации автоматизированного тестирования NI TestStand, а подпрограммы, управляющие режимами работы изделий, с помощью C/C++ и средствами графической разработки NI LabVIEW.

Разработан алгоритм автоматизированного контроля и испытаний, блок-схема которого приведена на рис. 3. После самотестирования аппаратной части АРМ и ввода необходимой информации запускается пошаговый цикл контроля параметров модуля, начинающийся с подключения тестируемого устройства к АРМ и заканчивающийся составлением протокола испытаний и сообщением

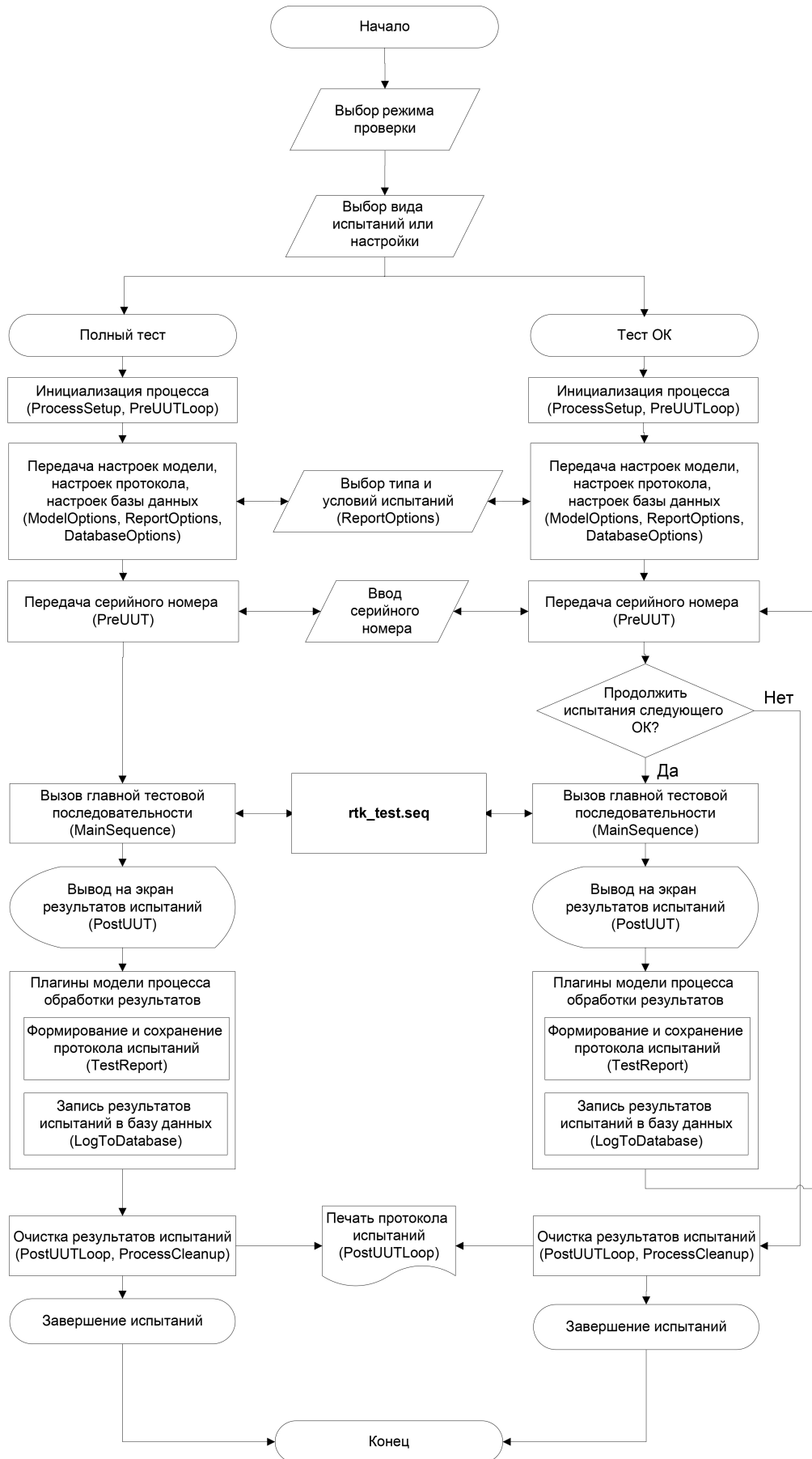


Рис. 3. Блок-схема алгоритма автоматизированного контроля составных частей РТК
Fig. 3. Block diagram of the algorithm for automated control of REC components

о годности или негодности по совокупности измененных значений параметров.

Результатом автоматизированного многопараметрического контроля является как измеренное значение, так и одно из взаимоисключающих утверждений для каждого параметра:

- контролируемая характеристика (параметр) находится в пределах допустимых значений, т. е. результат контроля – «Соответствует»;

- контролируемая характеристика (параметр) находится за пределами допустимых значений, т. е. результат контроля – «Не соответствует».

Заключительный вывод о работоспособности объекта контроля делается автоматически после окончания измерения всех параметров в виде всплывающего диалогового окна, содержащего взаимоисключающее утверждение «Контроль успешно пройден» – «Контроль не пройден».

Заключение

Разработан метод автоматизированного многопараметрического контроля составных ча-

стей бортового РТК. АРМ реализует следующие функции:

- функциональный электрический контроль цепей и узлов РЧ-модулей, а также РЧ-изделий в целом. Данный вид контроля подразумевает подачу электропитания и определенных комбинаций входных тестовых сигналов на отдельные узлы и цепи или РЧ-модули в целом с целью контроля правильности функционирования узлов, цепей или модулей путем проверки получаемых выходных сигналов на соответствие ТУ;

- электрический контроль целостности цепей и узлов РЧ-модулей. Данный вид контроля включает в себя контроль отсутствия видимых и скрытых дефектов в виде коротких замыканий и разрывов, дефектов паяных соединений, а также контроль целостности внутренней структуры компонентов;

- программирование цифровых компонентов, (ПЛИС, FLASH-память, микроконтроллеры и др.);

- проведение комплексных испытаний РЧ-модулей с возможностью выбора отдельных тестов на этапе регулировки и настройки РЧ-модулей;

- проведение комплексных испытаний антенн и антенных решеток.

Список литературы

1. Методики входного контроля операционных усилителей / А.В. Светлов [и др.] // Надежность и качество сложных систем. 2014. № 2 (6). С. 56–61.
2. Исследование нагрузочной способности микросхем / Е.С. Еранцева [и др.] // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2020. Т. 23, № 3. С. 74–81. DOI: <https://doi.org/10.18469/1810-3189.2020.23.3.74-81>
3. Быков А.П. Алгоритм проведения автономных испытаний радиоэлектронных средств // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2020. Т. 23, № 3. С. 97–104. DOI: <https://doi.org/10.18469/1810-3189.2020.23.3.97-104>
4. Садиков Д.И., Маклашов В.А., Серпуховитов С.С. Перспективный модульный блок обработки и управления БКО вертолетов // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций: мат. Всероссийской науч.-техн. конф. 2019. С. 129–130.
5. Федоров В., Сергеев Н., Кондрашин А. Контроль и испытания в проектировании и производстве радиоэлектронных средств. М.: Техносфера, 2005. 502 с.
6. Куликов А.В. Достоверность автоматизированного контроля параметров приемных и передающих модулей VPX // Радиотехника. 2020. Т. 84, № 11 (22). С. 44–49. DOI: [https://doi.org/10.18127/j00338486-202011\(22\)-08](https://doi.org/10.18127/j00338486-202011(22)-08)
7. Ковалев С. Тестирование электронных устройств на производстве: обзор методов, анализ достоинств и недостатков // Технологии в электронной промышленности. 2013. № 4. С. 66–68. URL: https://tech-e.ru/2013_4_66.php
8. Городов В.А. Методы электрического контроля печатных плат // Технологии в электронной промышленности. 2005. № 1. С. 68–71. URL: https://tech-e.ru/2005_1_68.php
9. Куликов А.В., Ерендеев Ю.П., Маклашов В.А. Технология автоматизированного тестирования и диагностики РЭА // Радиоэлектронные технологии. 2020. № 4. С. 30–33.

Информация об авторе

Куликов Алексей Владимирович, аспирант кафедры конструирования и технологии электронных систем и устройств Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева, ведущий инженер АО «НИИ «Экран», г. Самара, Россия.

Область научных интересов: архитектура бортовых радиотехнических систем, программирование, компьютерное моделирование, конструкция радиоэлектронных устройств, автоматизация контроля и измерения радиочастотных модулей.

E-mail: avksam@mail.ru

Physics of Wave Processes and Radio Systems 2023, vol. 26, no. 3, pp. 32–39

DOI 10.18469/1810-3189.2023.26.3.32-39
UDC 621.396
Original Research

Received 4 April 2023
Accepted 5 May 2023
Published 27 September 2023

Methods of control and measurements of components of the onboard radio engineering complex

Aleksey V. Kulikov

Samara National Research University
34, Moskovskoye shosse,
Samara, 443086, Russia

Abstract – Background. The relevance of the topic of this work is due to the need to increase the reliability and quality of the results of measuring control of modules of various levels and antenna arrays that are part of the onboard radio engineering complex, as well as to increase the reliability and parametric efficiency of the radio engineering complex. **Aim.** Development of a method and methodology for integrated control of radio frequency modules of the 1st, 2nd, and 3rd levels in the process of design, production and testing based on modern automation tools and processes. **Methods.** Full-scale experiment, computer modeling, programming, expert assessments, research, autonomous and acceptance tests were used. **Results.** The choice of a working control model was made. Based on it, an automated workplace has been developed. It includes integrated control and measuring equipment controlled by special software, a software package with a common operator interface. To control the testing process, a software package has been developed that automatically sets the necessary operating modes of the modules and provides a stimulating signal from the vector network analyzer in accordance with the specified parameters. After the end of testing, a test report is generated and printed. If the modules are tested for compliance with technical specifications, the protocol is formed in accordance with GOST. The test sequence is developed using the NI TestStand automated testing environment, and the routines that control the operating modes of the products are developed using C/C++ and NI LabVIEW graphical development tools. The automated workplace implements the following functions: functional electronic control of circuits and nodes of radio frequency modules and the product as a whole, electrical integrity control of circuits and nodes of frequency modules, programming of digital components, conducting complex tests of frequency modules, conducting complex tests of antennas and antenna arrays. The developed algorithm includes a stage of self-testing of the automated workplace hardware. After entering the necessary information, a step-by-step cycle of monitoring the module parameters is started. It begins with the connection of the device under test to the automated workplace and ends with the preparation of a test report and a message about the validity or unfitness of the totality of the measured parameter values. The final conclusion about the operability of the control object is made automatically after the measurement of all parameters is completed in the form of a pop-up dialog box. It contains one of two mutually exclusive statements: «Control successfully passed», «Control failed». **Conclusion.** The algorithm and methodology of automated control and tuning have been developed, which allows to increase the reliability and accuracy (by 5–15 %) of the measurement results of the electrical parameters of the PPM at the stages of tuning and testing. A software package for automated control has been developed. An automated control workplace has been developed.

Keywords – automated control; method of control; measuring control; method of measurement; reliability.

✉ avksam@mail.ru (Aleksey V. Kulikov)

 © Aleksey V. Kulikov, 2023

References

1. A. V. Svetlov et al., “Operational Amplifier Input Control Techniques,” *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem*, no. 2 (6), pp. 56–61, 2014. (In Russ.)
2. E. S. Erantseva et al., “Research the load capacity of microcircuits,” *Physics of Wave Processes and Radio Systems*, vol. 23, no. 3, pp. 74–81, 2020, doi: <https://doi.org/10.18469/1810-3189.2020.23.3.74-81>. (In Russ.)
3. A. P. Bykov, “Algorithm for conducting autonomous tests of radio electronic means,” *Physics of Wave Processes and Radio Systems*, vol. 23, no. 3, pp. 97–104, 2020, doi: <https://doi.org/10.18469/1810-3189.2020.23.3.97-104>. (In Russ.)
4. D. I. Sadikov, V. A. Maklashov, and S. S. Serpukhovitov, “A promising modular block for processing and controlling the airborne control system of helicopters,” in *Aktual'nye problemy radioelektroniki i telekommunikatsiy: mat. Vserossiyskoy nauch.-tekhn. konf.*, pp. 129–130, 2019. (In Russ.)
5. V. Fedorov, N. Sergeev, and A. Kondrashin, *Control and Testing in the Design and Production of Radio Electronic Equipment*. Moscow: Tekhnosfera, 2005. (In Russ.)
6. A. V. Kulikov, “Reliability of automated control of parameters of receiving and transmitting VPX modules,” *Radiotekhnika*, vol. 84, no. 11 (22), pp. 44–49, 2020, doi: [https://doi.org/10.18127/j00338486-202011\(22\)-08](https://doi.org/10.18127/j00338486-202011(22)-08). (In Russ.)
7. S. Kovalev, “Testing electronic devices in production: a review of methods, an analysis of the advantages and disadvantages,” *Tekhnologii v elektronnoy promyshlennosti*, no. 4, pp. 66–68, 2013, url: https://tech-e.ru/2013_4_66.php. (In Russ.)
8. V. A. Gorodov, “Methods for electrical control of printed circuit boards,” *Tekhnologii v elektronnoy promyshlennosti*, no. 1, pp. 68–71, 2005, url: https://tech-e.ru/2005_1_68.php. (In Russ.)

9. A. V. Kulikov, Yu. P. Erendeev, and V. A. Maklashov, "Technology of automated testing and diagnostics of REA," *Radioelektronnye tekhnologii*, no. 4, pp. 30–33, 2020. (In Russ.)

Information about the Author

Aleksey V. Kulikov, postgraduate student of the Department of Design and Technology of Electronic Systems and Devices, Samara National Research University, leading engineer of JSC NII Ekran, Samara, Russia.

Research interests: architecture of onboard radio engineering systems, programming, computer modeling, design of radio electronic devices, automation of control and measurement of radio frequency modules.

E-mail: avksam@mail.ru

РЕКЛАМА

Неганов, В.А.

Современная теория и практические применения антенн: монография / В.А. Неганов, Д.П. Табаков, Г.П. Яровой; предисл. акад. Ю.В. Гуляева; под ред. В.А. Неганова. – М.: Радиотехника, 2009. – 720 с.

Неганов В.А., Табаков Д.П., Яровой Г.П.

Современная теория
и практические применения
антенн

Издательство «Радиотехника»
Москва, 2009

ISBN 978-5-88070-222-0

УДК 621.396.67

ББК 32.845

Рассмотрены основные разделы теории и техники антенн. Освещены вопросы расчета и построения различных типов антенн (от вибраторных до рупорных и антенных решеток, включая фазированные). Основное внимание уделено антеннам СВЧ и расчетам их электромагнитных полей в ближней зоне, т. е. вопросам электромагнитной совместимости.

Принципиальное отличие книги от известных заключается в последовательном применении метода физической регуляризации (самосогласованного метода) к расчету электромагнитного поля антенн, позволяющего осуществлять непрерывный переход с излучающей поверхности антенны к пространству вне ее. С помощью самосогласованного метода получены новые результаты по теории антенн: установлены связь между поверхностной плотностью тока на вибраторной антенне и напряженностью электромагнитного поля, однонаправленный режим излучения для кольцевой (рамочной антенны), режимы стоячих и бегущих волн в цилиндрической спиральной антенне, входное сопротивление практически для всех типов антенн. Теоретический материал подкреплен примерами применения многолучевых антенн.

Предназначено для разработчиков антенно-фидерных устройств, аспирантов и докторантов, занимающихся вопросами проектирования антенных систем различного назначения, студентов радиотехнических специальностей высших учебных заведений.