



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-22-1-48-55>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 681.518.5

АЛГОРИТМ БЕСКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

А. В. ГРИНКЕВИЧ, А. А. ДЕНИС, Т. М. МАРЧУК

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Республика Беларусь)*

Поступила в редакцию 01.08.2023

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2024
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2024

Аннотация. Исследования, описанные в статье, относятся к области технической диагностики – одной из составных частей процесса ремонта радиоэлектронной аппаратуры. Определены основные причины, оказывающие влияние на корректную работу радиоэлектронной аппаратуры, выявлены виды технических неисправностей, возникающих в процессе ее эксплуатации. Выделены и систематизированы виды неисправностей печатных узлов, выполнена классификация способов их диагностики, разработан алгоритм бесконтактного контроля работоспособности элементов радиоэлектронной аппаратуры и предложена структура устройства для его реализации.

Ключевые слова: радиоэлектронная аппаратура, диагностика, работоспособность, ремонт, неисправность.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Гринкевич, А. В. Алгоритм бесконтактного контроля работоспособности элементов радиоэлектронной аппаратуры / А. В. Гринкевич, А. А. Денис, Т. М. Марчук // Доклады БГУИР. 2024. Т. 22, № 1. С. 48–55. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-22-1-48-55>.

ALGORITHM FOR NON-CONTACT MONITORING OF THE PERFORMANCE OF ELECTRONIC EQUIPMENT ELEMENTS

ANTON V. GRINKEVICH, ANASTASIA A. DENIS, TIMYR M. MARCHUK

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 01.08.2023

Abstract. The research, described in the article, relates to the field of technical diagnostics – one of the components of the process of repairing electronic equipment. The main reasons that influence the correct operation of radio-electronic equipment are identified, and the types of technical malfunctions that arise during its operation are identified. The types of faults in printed circuit units have been identified and systematized, a classification of methods for their diagnosis has been made, an algorithm for contactless monitoring of the performance of radio-electronic equipment elements has been developed, and a device structure for its implementation has been proposed.

Keywords: radioelectronic equipment, diagnostics, performance, repair, malfunction.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

For citation. Grinkevich A. V., Denis A. A., Marchuk T. M. (2024) Algorithm for Non-Contact Monitoring of the Performance of Electronic Equipment Elements. *Doklady BGUIR*. 22 (1), 48–55. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-22-1-48-55> (in Russian).

Введение

В современной радиоэлектронной аппаратуре (РЭА) рост количества комплектующих элементов опережает рост их безотказности, что приводит к уменьшению среднего времени безотказной работы аппаратуры и увеличению времени ее вынужденного простоя. По мере увеличения сложности электронного оборудования роль технической диагностики становится все более важной, а процесс тестирования усложняется. В настоящее время широкое распространение получили четыре метода поиска неисправностей, которые можно разделить на две группы: неэлектрические, включающие в себя визуальный и рентген-контроль, и электрические, состоящие из внутрисхемного и функционального тестирования.

Визуальный контроль печатных плат реализуется зрительно с применением оптических инструментов. Используются разнообразные системы автоматического оптического контроля, оснащенные системой технического зрения и программами экспресс-анализа изображений. Такие системы выявляют отсутствие компонентов на печатной плате, дефекты монтажа, обрывы проводников, паразитные перемычки, нарушение целостности покрытий. К недостаткам оптической инспекции можно отнести отсутствие возможности контроля проводников, контактных площадок и выводов, которые размещены на печатной плате под корпусами электронных компонентов и инструментов для проверки работоспособности.

Рентген-контроль основан на использовании рентгеновского излучения. Интенсивность излучения, попадающего на детектор, обратно пропорциональна величине поглощения рентгеновских лучей контролируемым объектом. Метод применяется для определения скрытых дефектов, способен выявить наличие пустот между электронным компонентом и площадкой, короткие замыкания, микротрещины компонентов. Функциональное тестирование подразумевает проверку объекта технического ремонта на выполнение заданной функциональности и соответствие показателям, которые заложены в документации на оборудование, однако требует изготовления специальной оснастки и не позволяет локализовать неисправности печатных плат. Внутрисхемное тестирование представляет собой проверку соединений и измерение электрических параметров схемы, отдельных ее узлов и элементов и позволяет выявить отсутствующие компоненты, короткие замыкания, обрывы проводников, отклонение от требуемого номинала или активных характеристик элемента [1].

Работа радиоэлектронной аппаратуры и виды ее технических неисправностей

Основными факторами, влияющими на корректность работы электронного оборудования и приборов, являются:

- температурный режим;
- уровень влажности;
- присутствие механических воздействий;
- наличие перегрузок по току и напряжению [2].

Температура окружающей среды оказывает существенную тепловую нагрузку на РЭА. Зависимость проявляется следующим образом: если температура окружающей среды выше нормированной, то вероятность выхода из строя компонентов увеличивается. Это обусловлено физико-химическими свойствами полупроводниковых элементов, в которых при повышенной температуре внутренние процессы протекают быстрее, вследствие чего большой процент всех отказов, происходящих в радиоэлектронных устройствах, возникает из-за нарушения температурного режима [3].

Температурная диагностика нашла широкое применение в промышленности при контроле качества выпускаемой продукции. Применяемые тепловые методы позволяют определить не только работоспособность, но и скрытые дефекты в элементах РЭА, которые в последующем могут привести к выходу ее из строя [4]. В качестве примера на рис. 1 представлена тепловая картина печатной платы (ПП), работающей в нормальных температурных условиях и при повышении температуры окружающей среды на 10 °С в течение часа. Продолжительная работа печатной платы в условиях повышенной температуры приводит к выходу из строя транзистора. Тепловая картина такой платы представлена на рис. 2.

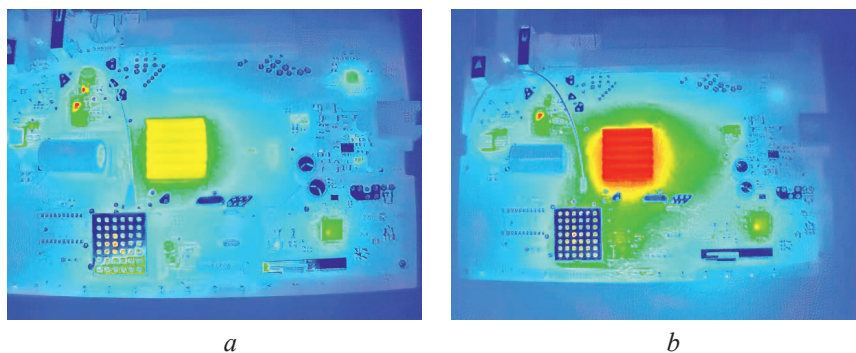


Рис. 1. Тепловая картина печатной платы, работающей: *a* – в нормальных температурных условиях; *b* – при повышении температуры окружающей среды на 10 °С в течение часа

Fig. 1. Thermal picture of a printed circuit board operating: *a* – under normal temperature conditions; *b* – when the ambient temperature is increased by 10 °C within an hour

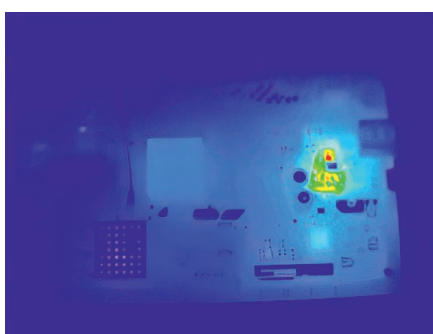


Рис. 2. Тепловая картина печатной платы с вышедшим из строя транзистором
Fig. 2. Thermal image of a printed circuit board with a failed transistor

Кроме температурной чувствительности, все без исключения электронные компоненты имеют повышенную восприимчивость к влажности. Влага, присутствующая в окружающем воздухе, способна проникать в элементы, располагающиеся на печатной плате, даже через их защитные корпуса. Это может значительно ускорять повреждение и износ металлов, изменять технические характеристики диэлектриков, способствовать тепловому распаду материалов, вызывать рост грибов и плесени [5, 6]. На рис. 3 изображены печатная плата, подвергшаяся воздействию повышенной влажности, и ее тепловая картина.

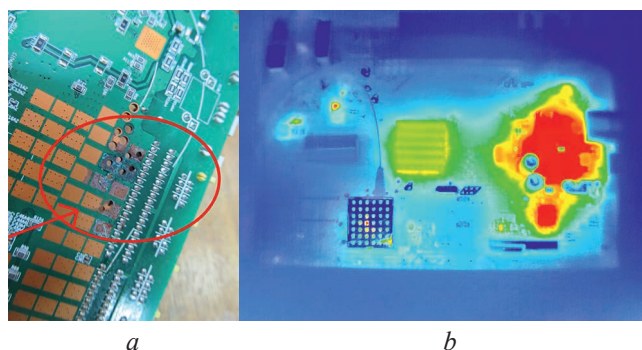


Рис. 3. Печатная плата, подвергшаяся воздействию повышенной влажности (*a*), и ее тепловая картина (*b*)
Fig. 3. Printed circuit board exposed to high humidity (*a*) and its thermal pattern (*b*)

В процессе эксплуатации РЭА и приборов неизбежно возникают механические воздействия различной природы. Они выражаются ударами, линейными ускорениями, вибрациями. Все эти воздействия вызывают повреждения механического плана и изменения электрических характеристик компонентов. Печатная плата с механическим повреждением и ее тепловая картина представлены на рис. 4.

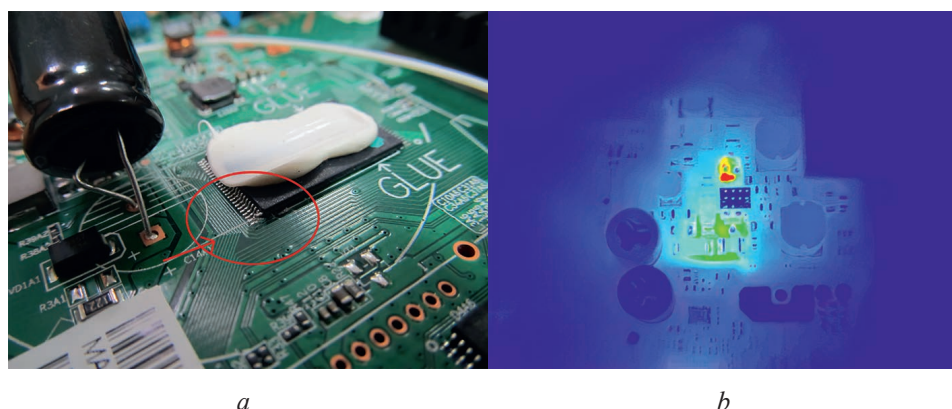


Рис. 4. Печатная плата с механическим повреждением (a) и ее тепловая картина (b)
Fig. 4. Printed circuit board with mechanical damage (a) and its thermal pattern (b)

Эксплуатация радиоэлектронных устройств приводит к возникновению электрических перегрузок различных видов. Они могут возникнуть из-за электромагнитных импульсов естественного и искусственного происхождения, внутренних переходных процессов. Наиболее серьезные и опасные перегрузки – это перепады напряжения. Основной же причиной токовых перегрузок считается повышенный пусковой ток при включении приборов в электросеть. Его значение может в разы превышать значение номинального тока. Такой повышенный ток может стать причиной перегорания предохранителя в цепи питания, выхода из строя входных цепей электронных узлов, а также перегорания выходных силовых транзисторов источников питания [7]. На рис. 5 изображены печатная плата со следами электрической перегрузки и ее тепловая картина.

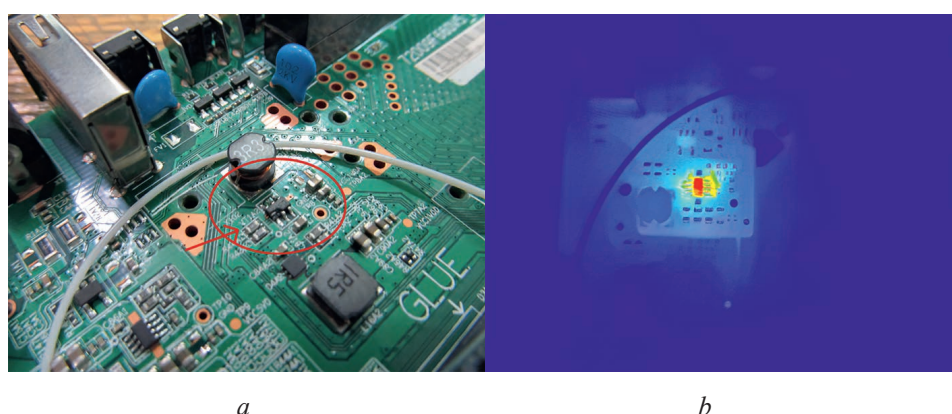


Рис. 5. Печатная плата со следами электрической перегрузки (a) и ее тепловая картина (b)
Fig. 5. Printed circuit board with traces of electrical overload (a) and its thermal pattern (b)

Подводя итоги проведенного анализа факторов, воздействующих на РЭА, следует отметить, что возникающие неисправности проявляются в виде следующих дефектов:

- поврежденные компоненты или печатная плата;
- компоненты, параметры которых под действием указанных факторов стали отличаться от своих заданных значений;
- логические ошибки.

Неисправность каждого вида связана со специфическим изменением характеристик изделия, свойственным только этой неисправности. Учитывая это, можно определить три категории неисправностей (рис. 6):

- полная неработоспособность устройства (элемента);
- частичная неработоспособность, проявляющаяся в сбоях работы (как правило, вызывается коротким замыканием припоя и отсутствием или разориентацией компонент при неправильной сборке);
- эксплуатационная неисправность (проблема синхронизации, возникающая из-за неисправных компонентов).

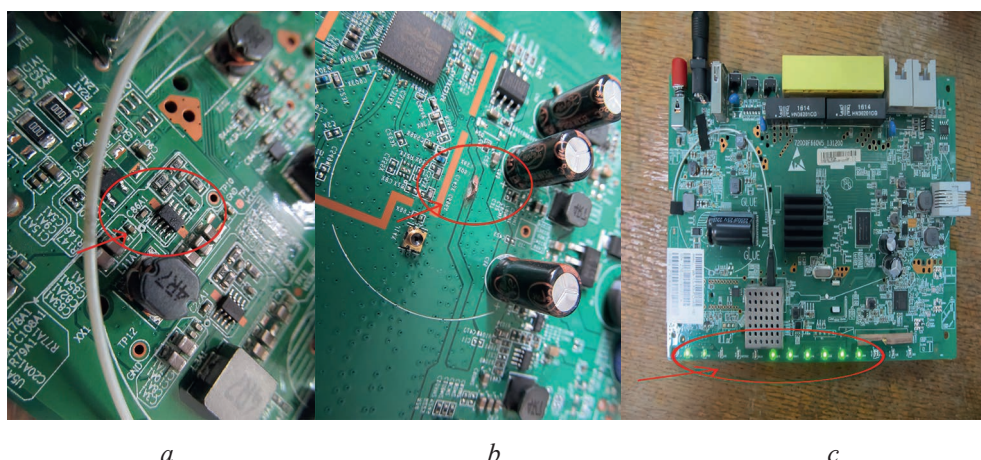


Рис. 6. Категории неисправностей: *a* – устройства; *b* – сборки; *c* – эксплуатационной
Fig. 6. Categories of malfunctions: *a* – devices; *b* – assemblies; *c* – operational

Указанные неисправности могут возникнуть в разное время и по различной причине. При этом выбор оптимального метода диагностики таких неисправностей становится сложной задачей и требует выполнения определенных действий в строгой последовательности [8].

Алгоритм бесконтактного контроля работоспособности

В целях систематизации действий специалиста, выполняющего техническую диагностику РЭА, на основе опыта практического применения различных методов диагностики разработан универсальный алгоритм, представленный на рис. 7. В первую очередь при диагностике внимание уделяется визуальному осмотру. Проверяется наличие компонентов, имеющих видимые повреждения, разрывы проводников, признаки повреждения подложки. Если электронное устройство не включается, проводится электрическое тестирование при помощи традиционных инструментов с целью выявления коротких замыканий в цепи, обрывов цепи, измерения электрических параметров элементов сопротивления, емкости, индуктивности. При наличии образцовой ПП необходимо провести ее сравнение с диагностируемой.

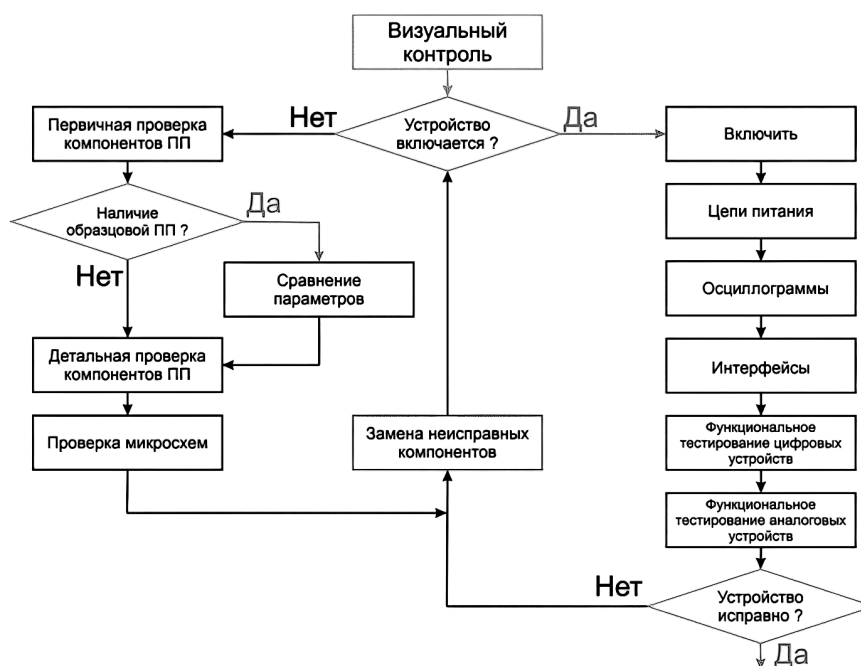


Рис. 7. Алгоритм бесконтактного контроля работоспособности элементов радиоэлектронной аппаратуры
Fig. 7. Algorithm for contactless monitoring of the performance of electronic equipment elements

Следующим шагом производится проверка параметров всех дискретных элементов, таких как транзисторы, диоды, тиристоры и т. д., и микросборок на соответствие заданным. Проводится замена компонентов по мере необходимости.

Если электронное устройство включается, но работает некорректно, то выполняется проверка потребления тока и наличия теплонагруженных областей на печатной плате, измерение напряжения в контрольных точках, на трансформаторных обмотках, преобразователях, известных микросхемах. Совершается проверка тактовых сигналов, интерфейсов человек-машина (переключателей, светодиодов, дисплеев). После осуществляется функциональное тестирование цифровых (таблиц истинности, соединения, напряжения) и аналоговых компонентов (функционирование, напряжение, соединения). Проводится запуск пользовательских тестов, которые заключаются в проверке срабатывания реле, в определении работоспособности цифроаналоговых и аналого-цифровых преобразователей и т. д.

Последовательное выполнение действий в соответствии с предлагаемым алгоритмом бесконтактного контроля работоспособности элементов РЭА позволяет с высокой скоростью локализовать неисправности. Для технической поддержки данного алгоритма и проверки наиболее часто выходящих из строя цепей питания разработано устройство диагностики, структурная схема и внешний вид которого представлены на рис. 8, 9.

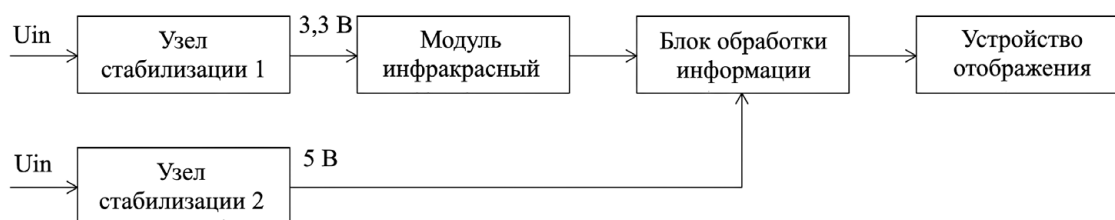


Рис. 8. Структурная схема устройства диагностики
Fig. 8. Diagnostic device block diagram

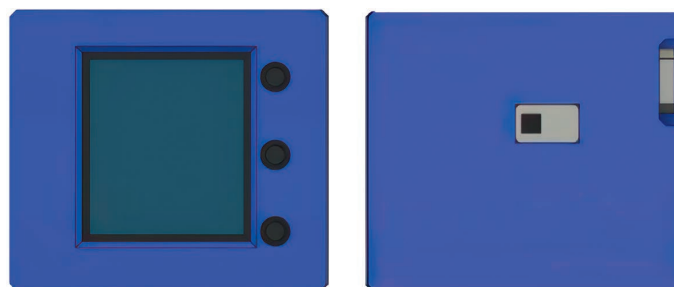


Рис. 9. Внешний вид устройства бесконтактного контроля работоспособности элементов радиоэлектронной аппаратуры

Fig. 9. Appearance of the device for non-contact control of the operability of electronic equipment elements

Основой предлагаемого устройства является инфракрасный модуль, задача которого зафиксировать тепловое излучение, которое после обработки поступает на устройство отображения, где представляется в виде, удобном для визуального восприятия пользователя. Для практического опробования результатов исследования с целью получения оценки работоспособности был выбран участок по ремонту оборудования связи. Испытания проводились на партии оптических сетевых терминалов серии ZTE F660v5. При использовании традиционных методов определения неисправности время восстановления работоспособности для 200 объектов составило 531 ч. В случае применения устройства бесконтактного контроля работоспособности это время удалось уменьшить на 10 % (рис. 10).

Главным недостатком такого способа неразрушающего контроля является необходимость анализа данных оператором для оценки состояния элементов РЭА. Поэтому есть необходимость использования алгоритма сверхразрешения для повышения качества изображений, что в последующем позволит автоматизировать процесс принятия решений о корректной работе функциональных частей объекта технического ремонта. Такой алгоритм целесообразно реализовать

в блоке обработки информации, где будет происходить сравнение каждого пикселя исследуемого изображения с эталонным и вывод на дисплей информации о возможных неисправностях.

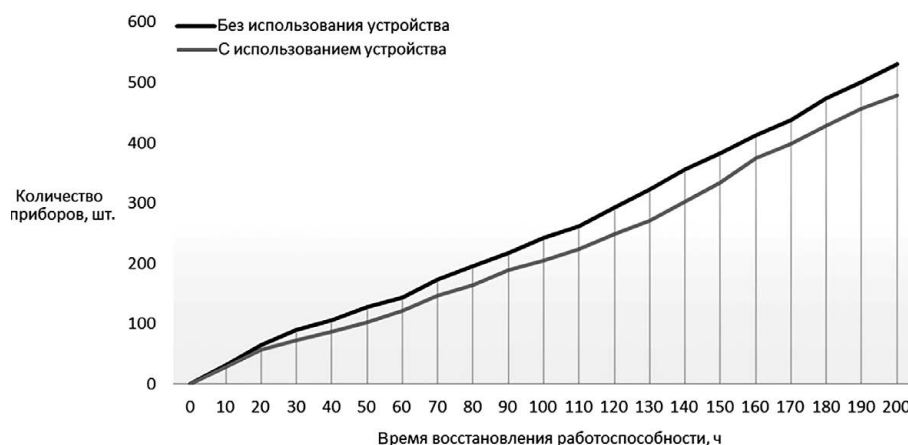


Рис. 10. Сравнение времени, затрачиваемого на восстановление работоспособности объекта ремонта
Fig. 10. Comparison of the time spent on restoring the operability of the repair object

Заключение

Практический опыт диагностики неисправностей радиоэлектронной аппаратуры обеспечил получение достаточного количества данных о различных видах неисправностей, а подробный анализ результатов действий специалистов по их устранению позволил разработать алгоритм диагностики бесконтактного контроля работоспособности элементов радиоэлектронной аппаратуры. Практическую реализацию алгоритма в части проверки наиболее часто выходящих из строя цепей питания предлагается осуществлять при помощи теплового устройства бесконтактного контроля, состоящего из пяти функционально законченных узлов, основной из которых – инфракрасный модуль.

Список литературы

1. Ковалев, С. Тестирование электронных устройств на производстве: обзор методов, анализ достоинств и недостатков / С. Ковалев // Технологии в электронной промышленности. 2013. Т. 64, № 4. С. 66–68.
2. Зеленский, А. В. Основы конструирования электронных средств / А. В. Зеленский, Г. Ф. Краснощекова. Самара, 2008. Ч. 1.
3. Семенцов, С. Г. Тепловизионные методы оценки влияния температурных режимов на надежность электронной аппаратуры / С. Г. Семенцов, В. Н. Гриднев, Н. А. Сергеева // Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Серия «Приборостроение». 2016. № 1. С. 3–14.
4. Бесконтактный тепловой контроль изделий электронной техники / С. П. Панфилова [и др.] // Производство электроники: технологии, оборудование, материалы. 2007. № 3. С. 25–32.
5. Порядин, Р. Электрохимическая миграция. Борьба с невидимым врагом / Р. Порядин // Вектор высоких технологий. 2019. № 3.
6. Гамова, А. Путь к обеспечению надежности электронных приборов. Контроль влажности [Электронный ресурс] / А. Гамова, А. Черных // Электроника: наука, технологии, бизнес. 2009. № 5. С. 84–85. Режим доступа: <https://www.electronics.ru/journal/article/242>.
7. Кюль, Т. Решение проблем, связанных с электрической перегрузкой усилителя [Электронный ресурс] / Т. Кюль, Б. Бейкер // Компоненты и технологии. 2010. № 1. С. 95–100. Режим доступа: <https://kit-e.ru/powerel/reshenie-problem-svyazannyh-s-elektricheskoy-peregruzkoj-usilitelya/>.
8. Кацуба, Ю. Н. Применение искусственных нейронных сетей для диагностирования изделий. Ч. 1 / Ю. Н. Кацуба, И. В. Власова // Технические науки. 2015. Т. 34, № 3. С. 68–70.

References

1. Kovalev S. (2013) Testing of Electronic Devices in Production: a Review of Methods, Analysis of Advantages and Disadvantages. *Technologies in the Electronics Industry*. 64 (4), 66–68 (in Russian).

2. Zelensky A. V., Krasnoshchekova G. F. (2008) *Fundamentals of the Design of Electronic Means. Part 1. Samara* (in Russian).
3. Sementsov S. G., Gridnev V. N., Sergeeva N. A. (2016) Thermal Imaging Methods for Assessing the Temperature Regimes of the Reliability of Electronic Equipment. *Bulletin of Moscow State Technical University named after N. E. Bauman. Series "Instrument Making"*. (1), 3–14 (in Russian).
4. Panfilova S. P., Vlasov A. I., Gridnev V. N., Chervinsky A. S. (2007) Non-Contact Control of the Control of Electronic Products. *Production of Electronics: Technologies, Equipment, Materials*. (3), 25–32 (in Russian).
5. Poryadin R. (2019) Electrochemical Migration. Fighting an Invisible Enemy. *Vector of High Technologies*. (3) (in Russian).
6. Gamova A., Chernykh A. (2009) The Path to the Reliability of Electronic Devices. Evaluation Control. *Electronics: Science, Technology, Business*. (5), 84–85. Available: <https://www.electronics.ru/journal/article/242> (in Russian).
7. Kuehl T., Baker B. (2010) Problem Solving is Probably Related to Overloading the Amplifier. *Components and Technologies*. (1), 95–100. Available: <https://kit-e.ru/powerel/reshenie-problem-svyazannyh-s-elektricheskoy-peregruzkoj-usilitelya/> (in Russian).
8. Katsuba Yu. N., Vlasova I. V. (2015) The Use of Artificial Neural Networks for Product Diagnostics. Part 1. *Technical Science*. 34 (3), 68–70 (in Russian).

Вклад авторов

Гринкевич А. В. осуществил постановку задачи, выполнил ряд электрофизических измерений.
Денис А. А. разработала алгоритм бесконтактного контроля работоспособности элементов радиоэлектронной аппаратуры.

Марчук Т. М. провел практическое опробование результатов исследования с целью получения оценки работоспособности.

Authors' contribution

Grinkevich A. V. carried out the problem statement, performed a number of electrophysical measurements.

Denis A. A. developed an algorithm for non-contact control of the operability of electronic equipment elements.

Marchuk T. M. conducted a practical testing of research results in order to obtain an assessment of performance.

Сведения об авторах

Гринкевич А. В., канд. техн. наук, доц., Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (БГУИР)

Денис А. А., аспирант, БГУИР

Марчук Т. М., аспирант, БГУИР

Адрес для корреспонденции

220113, Республика Беларусь,
г. Минск, Логойский тракт, 8–27
Тел.: +375 29 861-12-75
E-mail: den.rayker@mail.ru
Денис Анастасия Андреевна

Information about the authors

Grinkevich A. V., Cand. of Sci., Associate Professor, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (BSUIR)

Denis A. A., Postgraduate, BSUIR

Marchuk T. M., Postgraduate, BSUIR

Address for correspondence

220113, Republic of Belarus,
Minsk, Logoiskij Tract, 8–27
Tel.: + 375 29 861-12-75
E-mail: den.rayker@mail.ru
Denis Anastasia Andreevna