УДК 620; 629.01

О ПРИМЕНЕНИИ ИСПЫТАНИЙ РЭС НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ВНЕШНИХ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ НА ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫХ ЭТАПАХ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ

О. Н. Герасимов, А. В. Пивкин, Н. К. Юрков

Введение

Вследствие высокой сложности технологических процессов производства радиоэлектронных систем (РЭС) и наличия большого числа факторов, влияющих на их качество, в партии изделий, считающихся годными на момент проверки, всегда содержатся изделия со скрытыми дефектами (потенциально ненадежные). Такие РЭС во время эксплуатации выходят из строя в первую очередь. Основным путем исключения потерь из-за брака и низкого качества продукции является введение производственного контроля [1, 2]. К показателям процесса контроля относятся: точность, достоверность, трудоемкость, стоимость контроля и др. Предпочтение отдается тем методам контроля, которые дают достаточную достоверность при минимальных затратах [3, 4].

Анализ методов выявления скрытых (латентных) дефектов РЭС

Типовой график интенсивности отказов РЭС во времени приведен на рис. 1, который показывает высокий уровень интенсивности отказов на этапе приработки, низкий уровень в период нормальной эксплуатации и повышение интенсивности отказов в период старения, когда появляются так называемые «деградационные» отказы [4].

Ранние отказы возникают, как правило, в результате несовершенства конструкции изделия или неотлаженного технологического процесса. По мере устранения конструктивных недостатков и освоения технологии производства интенсивность отказов снижается. В настоящее время существует два способа снижения количества ранних отказов РЭС. Один из них заключается в том, чтобы ввести усиленный контроль и выбирать все дефектные изделия из партии по принципу «годен/негоден» (пунктирная кривая на рис. 1). Второй подразумевает наличие обратной связи в виде проведения серии испытаний (отбраковочных, предъявительских, приемо-сдаточных и др.) при воздействии дестабилизирующих факторов (сплошная кривая на рис. 1).

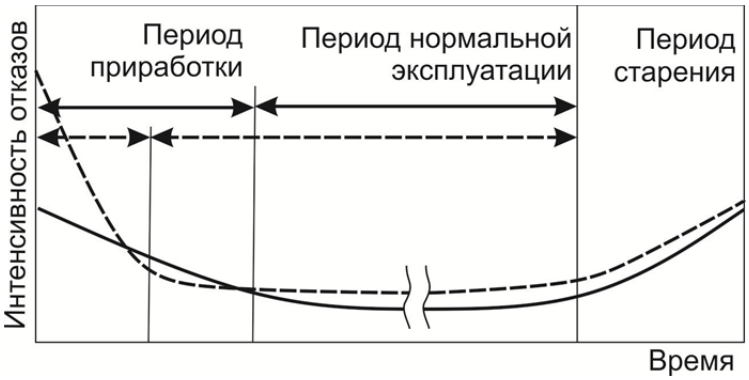

Рис. 1. Зависимость интенсивности отказов РЭС от времени

Влияние дестабилизирующих факторов имитирует условия эксплуатации и ускоряет (провоцируют) выявление скрытых дефектов. В табл. 1, взятой в источнике [5], показана примерная взаимосвязь воздействующих факторов и действующих механизмов отказов во время отбраковочных испытаний.

Таблица 1

Соответствие воздействующих факторов и механизмов отказов

Отбраковочные испытания	Механизмы отказов									
	Деффекты монтажа кристалла	Дефекты в кристалле кремния	Дефекты металлизации кремния	Дефекты в сварных внутренних соединениях	Загрязнения поверхности	Дефекты герметичности	Дефекты корпуса	Дефекты внешних выводов	Несогласованность тепловых коэффициентов расширения	Электрическая нестабильность
Внешний осмотр						◢	◢	◢		
Повышенная температура		◢								◢
Вибрация	■			■			◢	◢		
Одиночные удары	■			■			◢	◢		
Многократные удары	■			■			◢	◢		
Центрифуга	■			■			◢	◢		
Термоциклы	■	◢	◢	◢		◢	◢	◢	■	
Испытания на герметичность						■	◢			
Рентгеноскопия	◢			◢		◢	◢			
Термоэлектротренировка		◢	◢		◢					◢
Энергоциклы	◢	◢	◢	◢	◢	◢	◢		◢	◢
Электрические испытания		◢	◢		◢					■
Повышенная влажность			◢	◢	◢	■				■

В частности, воздействие на РЭС повышенной температуры и термоциклов ускоряет многие механизмы отказов. Повышенные температуры вызывают ускорение химических реакций, обусловливающих коррозию алюминия на кристалле, старение, ухудшение изоляции, увеличение токов утечки и т.д.

Термоциклы (попеременный нагрев и охлаждение) также являются ускоряющим воздействием и хорошо выявляют малую негерметичность корпуса. Влага при термоциклах проникает в негерметичные объемы и вызывает увеличение токов утечки и коррозию металлизации. Напряженные места конструкции, склонные к образованию трещин, также выявляются при термоциклах. В большинстве случаев термоциклы являются нормальным режимом работы РЭС, так как они связаны с внешней температурой и разогревом аппаратуры.

Помимо тепловых и термоциклических используются механические испытания с постоянной или изменяющейся нагрузкой. На заключительных этапах производственного контроля РЭС их проводят для выявления дефектов монтажа электрорадиоэлементов, внутренних сварных соединений, корпуса и внешних выводов [6]. Критерием отсутствия указанных дефектов является совпадение спектра резонансных частот испытываемого изделия со спектром резонансных частот эталона. Спектр снимается в контрольной точке (или точках) изделия.

Неверный выбор контрольной точки может привести к ее попаданию в область узлов виброперемещений конструкции и, как следствие, снижению информативности полученной информации (пропуск резонансных частот). При этом следует сказать, что выбор контрольной точки не регламентируется существующими ГОСТами. Поэтому далее предложен способ измерения спектра резонансных частот конструкции РЭС, свободный от указанного недостатка.

Способ измерения спектра резонансных частот РЭС по ИЧХ

Поведение конструкции в режиме резонанса отличает увеличение амплитуды вибрации в испытываемом изделии и изменение полного сопротивления вибровозбудителя в испытательном оборудовании [7].

На резонансных частотах в конструкции изделия возникают определенные формы колебаний (моды). Эти частоты характеризуются минимальным значением на кривых импедансно-

частотной характеристике вибровозбудителя и максимальным – на кривых виброперемещений конструкции РЭС.

Поэтому предлагаемый способ определения спектра резонансных частот основан на измерении ИЧХ вибровозбудителя. На рис. 2 представлена структура способа измерения ИЧХ. Испытательный сигнал подается на усилитель мощности, к которому с возбуждающей обмотки вибровозбудителя подключен резистивный датчик тока.

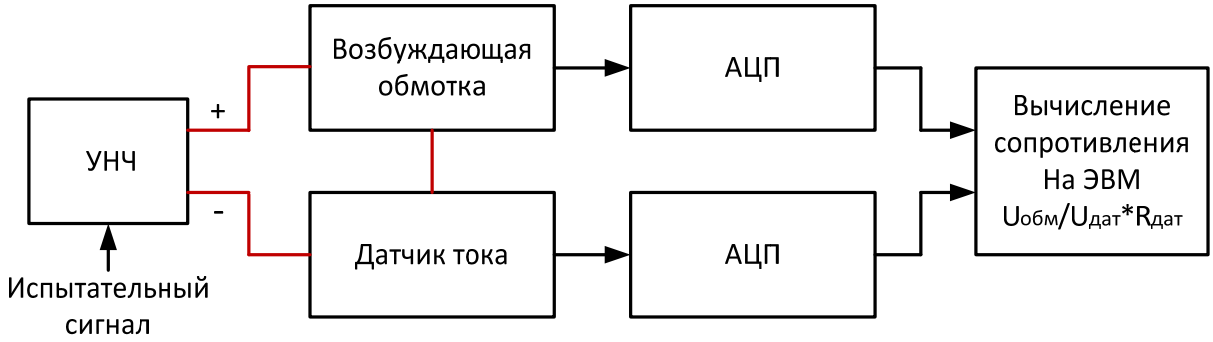

Рис. 2. Структурная схема процесса определения ИЧХ

Напряжение следует измерять как на возбуждающей обмотке, так и на датчике тока. Полное электрическое сопротивление вибровозбудителя вычисляется отношением измеренных напряжений на ЭВМ. Затем осуществляется построение ИЧХ и ее визуализация в виде графика в частотной области.

Проведение экспериментальных исследований

Измерение амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) и фазочастотных характеристик (ФЧХ) конструкции РЭС в рамках исследования бесконтактной индикации резонансов по ИЧХ проводилось с помощью прикрепленного к объекту исследования (ОИ) цифрового акселерометра LIS2DM. ОИ в данном случае – пульт управления питанием. Структурная схема измерения АЧХ и ФЧХ показана на рис. 3.

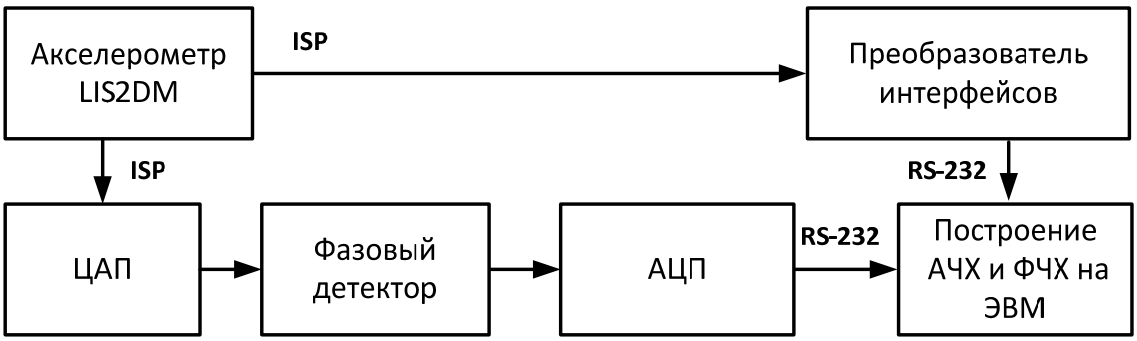

Рис. 3. Структурная схема процесса определения АЧХ и ФЧХ

LIS2DM представляет собой сверхэкономичный, высокопроизводительный, трехосевой акселерометр со стандартным последовательным цифровым интерфейсом для передачи выходных данных [8]. Акселерометр выдает значение ускорения в цифровом виде по интерфейсу SPI. Для определения фазового сдвига цифровой сигнал преобразуется в аналоговый и подается на фазовый детектор.

Цифровые акселерометры подобного класса, выполненные по MEMS технологии, имеют точность порядка 0,5 %. Этой точности вполне достаточно для подтверждения достоверности определенных по ИЧХ резонансных частот [9].

Отличительной особенностью ИЧХ является полное отсутствие влияния средств измерения на объект исследования [10]. Используемые акселерометры являются частью ОИ, так как прикле-

ены к корпусу ОИ и являются типичными радиоэлементами поверхностного монтажа. На рисунке показаны частотные характеристики ОИ при синфазном возбуждении точек крепления. Достоверность определенных по ИЧХ резонансных частот подтверждается полученными экспериментально графиками частотных характеристик, представленных на рис. 4. Сплошная и штрих-пунктирная кривые – это АЧХ и ФЧХ ОИ соответственно, пунктирная кривая – ИЧХ.

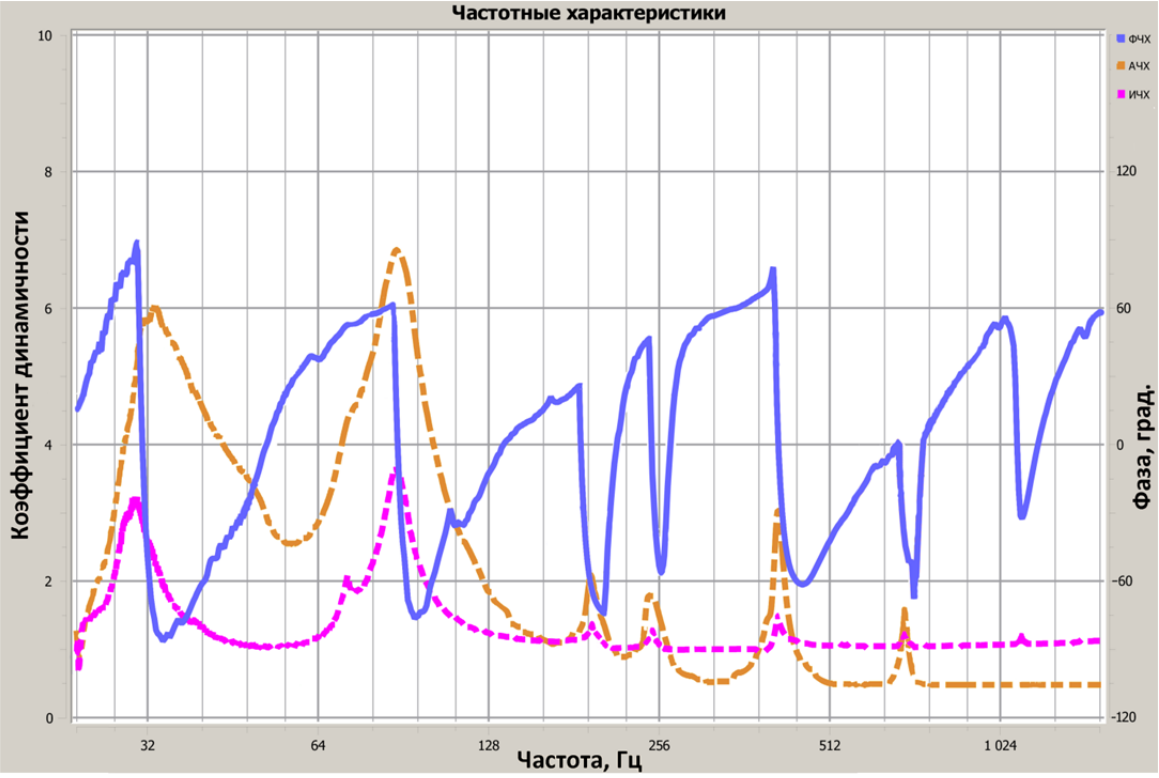

Рис. 4. Частотные характеристики ОИ (амплитудно-частотная, фазочастотная и импедансно-частотная)

Анализ графиков, представленных на рис. 4, показавает, что индикация резонансов по ИЧХ точна и показательна, но имеет серьезный недостаток – ни величину виброперемещения, ни виброскорости по ИЧХ достоверно определить невозможно.

Выводы

Однако точные значения резонансных частот – важные характеристики конструкции РЭС, знание которых позволит проводить выявление латентных технологических дефектов (монтажа электрорадиоэлементов, внутренних сварных соединений, корпуса, внешних выводов и т.д.) на заключительных этапах производственного контроля РЭС.

Статья подготовлена в рамках реализации проекта «Разработка методов и средств создания высоконадежных компонентов и систем бортовой радиоэлектронной аппаратуры ракетно-космической и транспортной техники нового поколения» (Соглашение № 15-19-10037 от 20 мая 2015 г.) при финансовой поддержке Российского научного фонда.

Список литературы

1. Федоров, В. К. Контроль и испытания в проектировании и производстве радиоэлектронных средств / В. К. Федоров, Н. К. Сергеев, А. А. Кондрашкин. – М. : Техносфера, 2005. – 504 с.
2. Неразрушающий контроль и диагностика : справочник / В. В. Клюев, Ф. Р. Соснин, А. В. Ковалев [и др.] ; под ред. В. В. Клюева. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М., 2003. – С. 123.
3. Юрков, Н. К. Технология радиоэлектронных средств : учеб. / Н. К. Юрков. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2012. – 640 с.

4. Юрков, Н. К. Технология производства электронных средств : учеб. / Н. К. Юрков. – М. : Лань, 2014. – 480 с.
5. Основы теории надежности электронных средств : учеб. пособие / Н. К. Юрков, А. В. Затылкин, С. Н. Полесский, И. А. Иванов, А. В. Лысенко. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2013. – 100 с.
6. ЭЛТЕХ. Отбраковочные испытания как средство повышения надежности партий ИС. – URL: http://tech-e.ru/2006_1_70.php.
7. Черногоров, Е. П. Теоритическая механика. Малые колебания механических систем : курс лекций / Е. П. Черногоров. – Челябинск, 2011. – 31 с.
8. Котюк, А. Ф. Датчики в современных измерениях / А. Ф. Котюк. – М. : Радио и связь, 2006. – 95 с.
9. ГОСТ 30630.1.2-99 Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на воздействие вибрации.
10. Испытания радиоэлектронной, электронно-вычислительной аппаратуры и испытательное оборудование / под ред. А. И. Коробова. – М. : Радио и связь, 2002. – 272 с.

Герасимов Олег Николаевич
начальник военного представительства
Министерства обороны РФ,
Научно-исследовательский институт
физических измерений
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Володарского, 8)
E-mail: gera0502@mail.ru

Пивкин Антон Викторович
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-male: antonyxy@gmail.com

Юрков Николай Кондратьевич
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: yurkov_NK@mail.ru

Аннотация. Показано, что влияние дестабилизирующих факторов, имитирующих условия эксплуатации, ускоряет развитие скрытых технологических дефектов радиоэлектронных систем. Рассмотрены механизмы влияния дестабилизирующих факторов на развитие скрытых технологических дефектов. Сделан вывод, что на заключительных этапах производственного контроля важную роль играют механические испытания, проводимые для выявления дефектов монтажа электрорадиоэлементов, внутренних сварных соединений, корпуса внешних выводов радиоэлектронных систем и т.д. Существующие способы контроля радиоэлектронных систем при механических испытаниях не позволяют определить спектр собственных частот конструкции (по амплитудно-частотной характеристике) с требуемой точностью, поэтому в работе предложен новый способ, отличие которого заключается в определении спектра собственных частот конструкции на основе анализа импедансно-частотной характеристики. Проведение экспериментальных исследований подтвердило правильность предложенного подхода.

Ключевые слова: испытания, контроль, внешние факторы, дефекты, отказы.

Gerasimov Oleg Nikolaevich
head of the military mission
of The Ministry of defense of RF,
Scientific-Research Institute of Physical Measurements
(440026, 8 Volodarsky street, Penza, Russia)

Pivkin Anton Viktorovich
candidate of technical sciences,
senior stuff scientist,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Yurkov Nikolay Kondrat'evich
doctor of technical sciences, professor,
head of sub-department of radio equipment
design and production,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Abstract. It is shown that the influence of destabilizing factors, simulating operation conditions, accelerates the development of latent technological defects of radio-electronic systems. The mechanism of influence of destabilizing factors on the development of latent technological defects. It is concluded that in the final stages of production control an important role is played by mechanical tests carried out to identify defects in the mounting of components, internal welded joints, outer body conclusions electronic systems, etc. Existing methods of electronic control systems in mechanical tests do not allow to determine the spectrum of eigenfrequencies of the structure (the amplitude-frequency characteristic) with the required accuracy, therefore, in this paper we propose a new method, the difference of which is to determine the spectrum of the natural frequencies of the structure based on the analysis impedance-frequency characteristics. Experimental research confirmed the accuracy of the proposed approach.

Key words: testing, control, external factors, defects, failures.

УДК 620; 629.01

Герасимов, О. Н.

О применении испытаний РЭС на воздействие внешних дестабилизирующих факторов на заключительных этапах производственного контроля / О. Н. Герасимов, А. В. Пивкин, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – № 4 (12). – С. 116–121.