

СПОСОБ АНАЛИЗА ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ВИБРАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА РЕСУРС ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ РЭС

А. В. Затылкин, В. С. Калашников, Г. В. Таньков

Введение

В процессе эксплуатации бортовые радиоэлектронные системы (РЭС) испытывают влияние различных внешних воздействий, в том числе вибрационных, которые негативно влияют как на электрические характеристики [1, 2], так и на показатели надежности. Поэтому при разработке бортовых РЭС ответственного назначения особое внимание уделяется вопросам защиты изделий от внешних вибрационных воздействий, призванным повысить уровень их надежности [3].

Известно, что одним из наиболее уязвимых для вибрационных воздействий элементов РЭС является печатный узел [4], на котором возникает наибольшее количество дефектов (отрыв электронных компонентов, механическое нарушение электронных контактов, отслоение печатных проводников, и т.д.), наличие которых приводит к нарушению работоспособного состояния печатного узла [5] и, как следствие, отказу всей системы. Поэтому прогнозирование надежности печатного узла РЭС в условиях внешних вибрационных воздействий на ранних этапах проектирования является актуальной научно-практической задачей.

Постановка задачи

Существующий способ [6] прогнозирования ресурса (как одного из важнейших параметров надежности) электронных компонентов печатного узла РЭС рекомендует проводить расчет на частоте, соответствующей либо резонансной частоте основания печатного узла, либо на резонансной частоте электронного компонента, в зависимости от того, какая из них наименьшая, считая ее наиболее разрушительной.

С нашей точки зрения, такой подход обладает следующими недостатками:

- частотный спектр основания печатного узла отличается от спектра его основания (печатной платы), поскольку содержит гармоники всех установленных на него электронных компонентов. Кроме того, наличие электронных компонентов, являющихся дополнительной (присоединенной) массой приводит к смещению спектра частот «пустого» основания. Задача поиска частотного спектра печатного узла успешно решается применением методов математического моделирования и хорошо проработана;

- выбор наименьшей частоты резонанса (печатного узла или электронного компонента), не всегда обеспечивает наиболее разрушительное воздействие. Конечно, с увеличением частоты вибрационного воздействия происходит снижение амплитуды вибрационных перемещений электронного компонента (а вместе с ним и эффект разрушающего действия изгибных деформаций), но в то же время с некоторого момента начинает действовать эффект многоциклового нагружения, разрушительная сила которого тоже велика.

Миниатюризация современной элементной базы привела к тому, что резонансные частоты электронных компонентов сдвинулись в высокочастотную область, и РЭС стали чувствительны к высокочастотной составляющей спектра вибрационных воздействий. Поэтому далее в работе проведено исследование влияния высокочастотной составляющей внешнего вибрационного воздействия (1–5 кГц) на надежность (ресурс) РЭС.

Теоретические исследования

Конструкции РЭС, работающие в условиях механических воздействий, должны отвечать требованиям прочности и устойчивости. Согласно ГОСТ 16962-71 под прочностью (вибро- и ударопрочностью) к воздействию механических факторов подразумевается способность конструкций

выполнять функции и сохранять значения параметров в пределах нормы, установленных стандартами, после воздействия механических факторов.

Под устойчивостью (вибро- и ударопрочностью) к воздействию механических факторов понимают способность конструкций выполнять заданные функции и сохранять значения параметров в пределах нормы, установленных стандартами, во время воздействия механических факторов.

Основным условием обеспечения прочности и устойчивости РЭС к внешним вибрационным воздействиям является не превышение в процессе эксплуатации допустимых значений вибрационных перегрузок, определенных техническим заданием на разработку конструкции РЭС.

Связь между вибрационной перегрузкой (n), круговой частотой (ω) и амплитудой вибрационных перемещений (Z) определяется выражением

$$n = Z\omega^2/250. \quad (1)$$

Чтобы определить величину перемещений, возникающих в элементах конструкции РЭС при заданном значении вибрационных перегрузок ($n = \text{const}$), запишем выражение (1) в виде

$$Z = n \cdot 250/\omega^2. \quad (2)$$

Задав в (2) значение вибрационных перегрузок равным четырем в диапазоне частот от 10 до 10 000 Гц, получим график, показанный на рис. 1 сплошной линией. Анализ графика показывает, что при низкочастотных вибрациях (от 10 до 100 Гц) амплитуда вибрационных перемещений лежит в пределах 10...0,1 мм. Изгибные деформации такой амплитуды могут вызвать разрушение элемента конструкции. Но на частоте вибраций 1000 Гц при прежнем значении перегрузки амплитуда перемещений равна лишь 1 мкм и действие изгибных деформаций здесь незначительно.

Кроме сил, вызванных действием изгибных деформаций, на электронные компоненты действуют инерционные силы, приводящие к появлению усталостных напряжений вследствие большого числа циклов колебаний. Теперь проведем расчет инерционной силы, приводящей к появлению усталостных напряжений, которая определяется выражением

$$P = \frac{\pi m a}{\Delta},$$

где m – масса электронного компонента, кг; a – ускорение внешнего воздействия; Δ – логарифмический декремент затухания.

Логарифмический декремент затухания (Δ) в свою очередь равен

$$\Delta = \frac{\pi}{\sqrt{f_i}},$$

где f_i – резонансная частота электронного компонента.

На том же рис. 1 пунктиром показано увеличение с ростом частоты инерционной силы, приводящей к появлению усталостных напряжений.

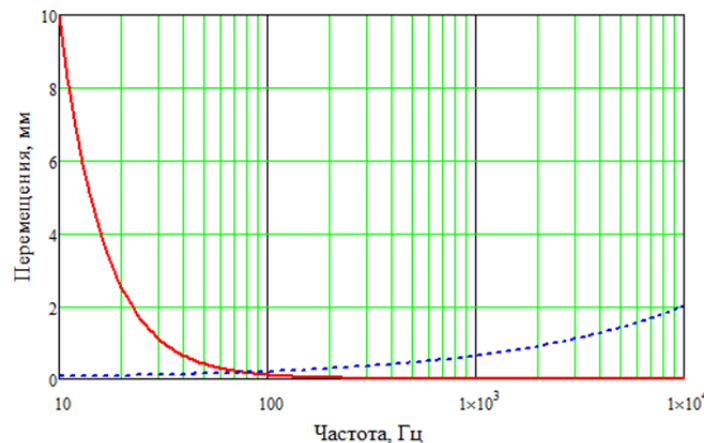


Рис. 1. Зависимость амплитуды виброперемещений (сплошная линия) и инерционной силы (пунктирная линия) от частоты внешнего вибрационного воздействия

Проведенный анализ реальных акселерограмм показал, что величина амплитуды виброускорений на резонансных частотах, как например, на рис. 2 (31, 62 и 240 Гц) находятся приблизительно на одинаковом уровне, т.е. с ростом частоты внешнего вибрационного воздействия будет расти и инерционная сила.

Кроме того, по целому ряду причин (применение материала с низким уровнем жесткости в отдельных элементах системы, совпадение некоторых собственных частот элементов системы и т.д.) возможно превышение уровня амплитуды виброперемещений и виброускорений на второй, третьей и других резонансных частотах конструкции реальных РЭС относительно первого резонанса [7]. Поэтому считаем необходимым проведение анализа уровня остаточного ресурса электронных компонентов на всех резонансных частотах РЭС.

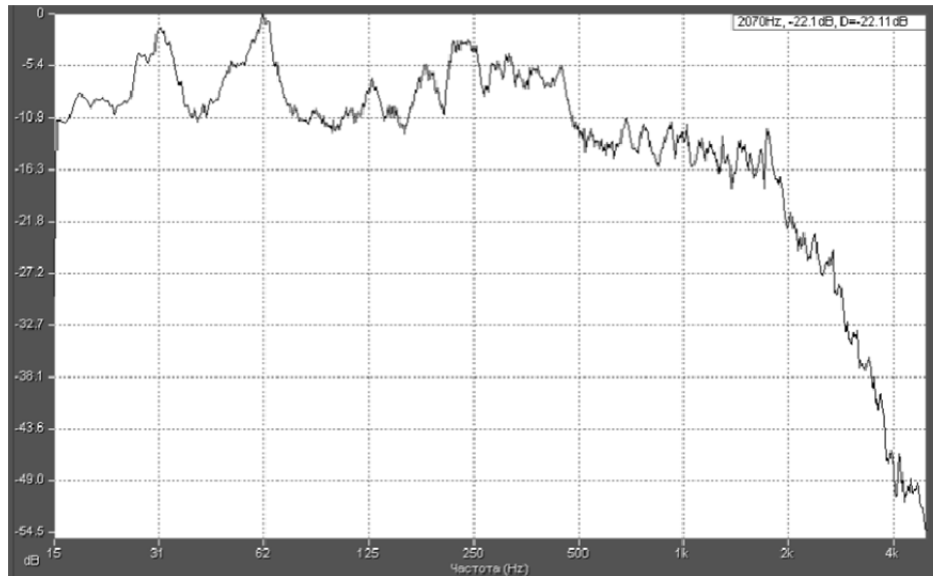


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика блока РЭС, полученная на вибростенде ВЭД-10

На основе полученных результатов предложен способ анализа влияния внешних вибрационных воздействий на ресурс электронных компонентов РЭС. Традиционный способ предлагает проводить расчет на частоте, соответствующей либо резонансной частоте основания печатного узла, либо на резонансной частоте электронного компонента, в зависимости от того, какая из них наименьшая, считая ее наиболее разрушительной. Предложенный способ отличается от традиционного способа тем, что сначала предлагает провести расчет инерционной силы на каждой резонансной частоте конструкции РЭС и только затем переходить к расчету ресурса электронного компонента (рис. 3).

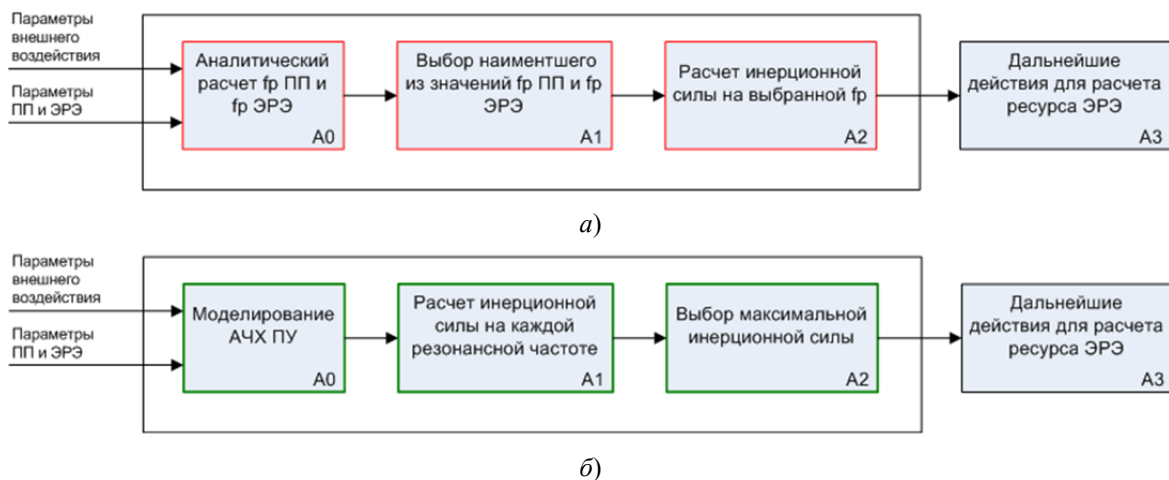


Рис. 3. Способы анализа влияния внешних вибрационных воздействий на ресурс электронных компонентов РЭС: а – традиционный; б – предложенный

Вывод

Таким образом, в работе предложен способ анализа влияния внешних вибрационных воздействий на ресурс электронных компонентов РЭС, отличающийся учетом инерционных сил, возникающих в электронных компонентах печатного узла на всех резонансных частотах конструкции проектируемой 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. Абжирко, Н. Н. Влияние вибраций на характеристики радиолокационных антенн / Н. Н. Абжирко. – М. : Сов. радио, 1974. – 168 с.
2. Талибов, Н. А. Оценка влияния деформации волноводно-щелевой антенны на ее диаграмму направленности / Н. А. Талибов, А. Н. Якимов // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2008. – Т. 2. – С. 146–148.
3. Юрков, Н. К. Методы и средства проектирования высоконадежных электронных средств / Н. К. Юрков, А. В. Затылкин, И. И. Кочегаров ; под ред. проф. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2014 – 266 с.
4. Лысенко, А. В. Анализ особенностей применения современных активных систем виброзащиты для нестационарных РЭС / А. В. Лысенко, Г. В. Таньков, Д. А. Рындин // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2013. – Т. 2. – С. 155–158.
5. Першин, Е. О. Анализ механических процессов в электрорадиоизделиях с произвольными вариантами установки на печатных платах / Е. О. Першин, А. С. Шалумов // Системные проблемы надежности, качества, информационно-телекоммуникационных и электронных технологий в управлении инновационными проектами (Инноватика – 2010) : материалы Междунар. конф. и Рос. науч. шк. – М. : Энергоатомиздат, 2010. – Ч. 1. – С. 63–65.
6. Талицкий, Е. Н. Защита электронных средств от механических воздействий. Теоретические основы : учеб. пособие / Е. Н. Талицкий ; Владим. гос. ун-т. – Владимир, 2001. – 256 с.
7. Жаднов, В. В. Особенности конструирования бортовой космической аппаратуры : учеб. пособие / В. В. Жаднов, Н. К. Юрков. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2012. – 112 с.

Затылкин Александр Валентинович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: al.zatylkin@yandex.ru

Калашников Владимир Сергеевич

аспирант,
кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: lysenko7891@rambler.ru

Таньков Георгий Васильевич

кандидат технических наук, доцент,
кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: oldalez@yandex.ru

Zatylkin Alexander Valentinovich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of radio equipment
design and production,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Kalashnikov Vladimir Sergeevich

postgraduate student,
sub-department of radio equipment
design and production,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Tankov Georgiy Vasilievich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of radio equipment
design and production,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Аннотация. Показано, что негативному влиянию внешних механических воздействий наиболее подвержены печатные узлы бортовых электронных средств, при этом величина инерционной силы, возникающей в электронных компонентах вследствие резонанса печатного узла, может быть больше, чем при вхождении в резонанс на их собственных частотах. Проведено исследование зависимости инерционной силы от частоты внешнего воздействия при различных амплитудных значениях. Предложен способ анализа влияния внешних вибрационных воздействий на ресурс электронных компонентов радиоэлектронных систем, отличающийся учетом максимально возможной разрушающей инерционной силы, возникающей в электронных компонентах печатного узла.

Ключевые слова: вибрация, ресурс, анализ, электронный компонент, резонанс.

Abstract. It is shown that the negative influence of external mechanical effects in the most susceptible to PCB assemblies on-Board electronic means, the magnitude of the inertial force arising in electronic components due to resonance of the printhead can be more than entry into resonance at their natural frequencies. The investigation of the dependence of the inertial forces from the frequency of the external exposure at different amplitude values. A method of analysis of the influence of external vibration impact on the life of electronic components of radio electronic systems, characterized by the most possible destructive inertial forces arising in the electronic components of the printhead.

Key words: vibration, resource, analysis, electronic component, resonance.

УДК 620; 629.01

Затылкин, А. В.

Способ анализа влияния внешних вибрационных воздействий на ресурс электронных компонентов РЭС / А. В. Затылкин, В. С. Калашников, Г. В. Таньков // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 1 (13). – С. 58–62.