DOI: 10.17117/na.2015.09.829

<http://ucom.ru/doc/na.2015.09.829.pdf>

Поступила (Received): 24.09.2015

Таньков Г.В., Затылкин А.В., Ольхов Д.В. **Исследование влияния частоты внешнего** **вибрационного воздействия на величину инерционной** **силы в электрорадиоэлементах бортовой** **радиоаппаратуры**

Tankov G.V., Zatylnkin A.V., Olkhov D.V.
Research of influence of vibrations frequency on
the value of the inertial force in the electronic
components on-board radio equipment

В статье показано, что негативному влиянию внешних механических воздействий наиболее подвержены печатные узлы бортовых электронных средств, при этом величина инерционной силы возникающей в электрорадиоэлементах 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

Ключевые слова: вибрация, ресурс, конструкция, инерционная сила

The article shows that the negative effects of external mechanical influences are most susceptible to the printed board assemblies of electronic means, with the magnitude of the inertial force occurring in electronic components due to resonance of the printing unit may be greater than when entering a response on their own frequencies. The dependence of inertial forces on the frequency of external influence at different amplitude values

Key words: vibration, resource, design, inertial force

Таньков Георгий Васильевич

Кандидат технических наук, доцент
 Пензенский государственный университет
 г. Пенза, ул. Красная, 40

Tankov Georgiy Vasilievich

Candidate of Engineering Sciences, Associate
 Professor
 Penza state university
 Penza, Krasnaya st., 40

Затылкин Александр Валентинович

Кандидат технических наук, доцент
 Пензенский государственный университет
 г. Пенза, ул. Красная, 40

Zatylnkin Aleksandr Valentinovich

Candidate of Engineering Sciences, Associate
 Professor
 Penza state university
 Penza, Krasnaya st., 40

Ольхов Даниил Вадимович

Студент
 Пензенский государственный университет
 г. Пенза, ул. Красная, 40

Olkhov Daniil Vadimovich

Student
 Penza state university
 Penza, Krasnaya st., 40

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 2015г.) при финансовой поддержке Российского научного фонда.

В процессе своей эксплуатации бортовые радиоэлектронные средства (РЭС) испытывают влияние различных механических воздействий, которые могут негативно сказываться как на их электрических характеристиках [1, 2], так и на показателях надежности. Поэтому, при разработке бортовых РЭС ответственного назначения особенное внимание уделяется мерам, призванным повысить вибропрочность и виброустойчивость будущих изделий, как на этапах проектирования, так и во время производства [3].

Одной из наиболее уязвимых для механических воздействий частью ЭС является печатный узел [4], поскольку именно на нем возникают такие дефекты, как отслоение печатных проводников, нарушение металлизации сквозных отверстий, разрушение выводов электрорадиоэлементов (ЭРЭ), отрыв ЭРЭ и т.д. [5]. Все эти дефекты, как правило, приводят к нарушению работоспособного состояния печатного узла и, как следствие, отказу всего устройства. Поэтому, еще на этапе проектирования ЭС следует прогнозировать ресурс разрабатываемой аппаратуры и проводить его оценку в соответствии с требованиями технического задания.

Ввиду сказанного одной из актуальнейших научно-практических задач является прогнозирование ресурса ЭРЭ в условиях вибрационных нагрузок.

В настоящее время существуют различные методы защиты ЭРЭ в составе печатного узла [6]. Чтобы выбрать какой-либо из них и дать предварительную оценку его эффективности необходимо на этапе проектирования осуществить прогнозирование ресурса каждого ЭРЭ находящегося в печатном узле. Для этого применяют известную методику подробно изложенную в [7].

Развитие методов математического моделирования и вычислительных мощностей современных компьютеров, а так же развитие элементной базы вызывает необходимость провести совершенствование методики. Одним из направлений ее модификации является необходимость учета виброускорений, передающихся в выводы ЭРЭ, не с помощью аналитических выражений, а с использованием конечно разностных или конечно-элементных моделей. Такой подход позволит определить резонансную частоту именно печатного узла, а не всей печатной платы, как делается в исходном варианте. Необходимость этого обусловлена тем, что резонансные частоты печатной платы и печатного узла (рассматриваемого согласно [8] как печатная плата с ЭРЭ), существенно различаются, что ведет к ошибке в расчетах.

Кроме того, исходная методика при выборе резонансной частоты платы или ЭРЭ рекомендует выбирать наименьшую из них, считая ее наиболее разрушительной. В этом следует сразобраться, поскольку во время вхождения в резонанс на собственной частоте печатного узла, ЭРЭ будет испытывать довольно высокие нагрузки по виброускорению, которые в сочетании с высокой

частотой могут оказать весьма разрушительное действие, приводя к снижению их ресурса.

Рассмотрим этот вопрос более подробно. Для этого проведем теоретический эксперимент, в котором сравним величины инерционной силы (P), получаемые при расчете ресурса ЭРЭ на его резонансной частоте и резонансной частоте печатного узла.

Инерционная сила рассчитывается следующим образом

$$P = \eta \cdot m \cdot g \cdot n_b,$$

где m – масса ЭРЭ, кг; g – ускорение свободного падения; n_b – перегрузка при вибрационных воздействиях; η – коэффициент передачи при резонансе.

Перегрузка при вибрационных воздействиях равна

$$n_b = \frac{a}{g};$$

где a – ускорение внешнего вибрационного воздействия.

Коэффициент передачи при резонансе (η) равен

$$\mu = \frac{\pi}{\Delta}.$$

Логарифмический декремент затухания (Δ), в свою очередь равен

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

где f_i – резонансная частота ЭРЭ или печатной платы.

Начальные условия эксперимента следующие. В качестве ЭРЭ возьмем резистор С2-23-1, масса которого 2 г., диаметр вывода 0,6 мм, схема закрепления соответствует схеме "а" на рисунке 1. Печатная плата изготовлена из стеклотекстолита фольгированного с размерами 140 × 140 × 1,22 (мм), имеет жесткое закрепление в четырех точках. Величина внешнего воздействия виброускорения равна 10g.

Рис. 1. Схема вариантов размещения ЭРЭ на печатной плате

Для выбранной схемы установки ЭРЭ исходная методика [7] рекомендует проводить расчет на резонансной частоте ЭРЭ. Проведя расчет инерционной силы (P) на частоте ЭРЭ (2112 Гц) получим ее значение, равное 13,511 Н, инерционная сила (P) на частоте печатного узла (219,9 Гц) равна 4,158 Н. По результатам расчета видно, что более разрушительной инерционной силой (P) действительно является сила, возникающая на частоте ЭРЭ.

Для более детального изучения зависимости инерционной силы (P) от величины частоты внешнего воздействия (f) при различных амплитудах

внешнего воздействия построен график (рисунок 2), на котором показаны $P1$ при $a = 10 \text{ м/с}^2$, $P2$ при $a = 20 \text{ м/с}^2$, $P3$ при $a = 30 \text{ м/с}^2$, $P4$ при $a = 40 \text{ м/с}^2$, $P5$ при $a = 50 \text{ м/с}^2$. Из полученного графика видно, что с увеличением частоты внешнего воздействия (при одних и тех же значениях виброускорений) значение инерционной силы существенно растет.

Рис. 2. Зависимости инерционной силы (P) от величины частоты внешнего воздействия (f) при различных амплитудах внешнего воздействия ($P1$ при $a = 10 \text{ м/с}^2$, $P2$ при $a = 20 \text{ м/с}^2$, $P3$ при $a = 30 \text{ м/с}^2$, $P4$ при $a = 40 \text{ м/с}^2$, $P5$ при $a = 50 \text{ м/с}^2$)

Но если ЭРЭ сместить в центр печатного узла, где на первой резонансной частоте (самого печатного узла) ускорение возрастает в разы (например, при наиболее распространенном жестком закреплении в четырех точках ускорение возрастает в 4,2 раза [9]) по сравнению с ускорением внешнего воздействия, получается совсем другой результат. Если принять, что ускорение возросло в 10 до $42g$, то инерционная сила (P) на частоте печатного узла равна 19,957 Н, что больше 13, 511 Н. Кроме того, неверный выбор резонансной частоты приводит к следующей ошибке – ресурс ЭРЭ рассчитанный на его собственной частоте будет приблизительно на треть меньше, чем рассчитанный на частоте печатного узла.

Список используемых источников:

1. Абжирко Н.Н. Влияние вибраций на характеристики радиолокационных антенн. М.: Сов. радио, 1974. 168 с.
2. Талибов Н.А., Якимов А.Н. Оценка влияния деформации волноводно-щелевой антенны на ее диаграмму направленности // Надежность и качество. Т. 2. Пенза: Инф.-изд. центр ПГУ, 2008. С. 146-148.
3. Затылкин А.В. Модели и методики управления интеллектуальными компьютерными обучающими системами: дисс. на соиск. уч. степ. кан. технич. н. Пензенский государственный университет. Пенза, 2009.

4. Затылкин А.В., Буц В.П., Юрков Н.К. Опыт применения технологии ERM в разработке интеллектуальных средств обучения // Известия ЮФУ. Технические науки. 2011. № 5 (118). С. 218-223.
5. Юрков Н.К., Затылкин А.В., Полесский С.Н., Иванов И.А., Лысенко А.В. Особенности разработки макромоделей надежности сложных электронных систем // Надежность и качество. 2014. Т. 1. С. 101-102.
6. Юрков Н.К., Затылкин А.В., Полесский С.Н., Иванов И.А., Лысенко А.В. Функциональная модель информационной технологии обеспечения надежности сложных электронных систем с учетом внешних воздействий // Надежность и качество. 2014. Т. 1. С. 184-187.
7. Лысенко А.В., Затылкин А.В., Ястребова Н.А. Конструкция и методика расчета гибридного виброамортизатора с электромагнитной компенсацией // Вестник Пензенского государственного университета. 2013. № 4. С. 73-78.

© 2015, Таньков Г.В., Затылкин А.В., Ольхов Д.В.
 Исследование влияния частоты внешнего
 вибрационного воздействия на величину
 инерционной силы в электрорадиоэлементах
 бортовой радиоаппаратуры

© 2015, Tankov G.V., Zatylnkin A.V., Olkhov D.V.
 Research of influence of vibrations frequency on the
 value of the inertial force in the electronic
 components on-board radio equipment