

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ

УДК 658.5

DOI 10.21685/2307-4205-2017-3-5

ВЛИЯНИЕ УДАРНЫХ НАГРУЗОК НА КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПРОВОЛОЧНЫЕ РЕЗИСТОРЫ

А. Ю. Доросинский, О. Н. Герасимов, Д. В. Артамонов

В процессе своей эксплуатации радиоэлектронная аппаратура (РЭА) может подвергаться воздействию ударных нагрузок, достигающих значительной величины (десятки тысяч g). В результате воздействия ударов может произойти нарушение функционирования РЭА или разрушение ее отдельных элементов. Особенно интенсивные ударные нагрузки РЭА испытывает при ее жестком креплении к столу ударного стенда. Немаловажную роль в надежности играют также метод крепления отдельных элементов в составе самой аппаратуры и их конструкция.

Изучение ударных процессов относится к числу актуальных проблем, связанных с оценкой поведения различных изделий электронной техники (ИЭТ) и РЭА в условиях воздействия интенсивных нагрузок импульсного характера.

Процесс удара можно подразделить на два этапа. Первый из них (активный) заключается в том, что контактная сила соприкосновения возрастает, а деформации в зоне контакта соударяющихся тел носят упруго-пластический характер, т.е. во время активного этапа удара происходит нагружение тел. Во время второго (пассивного) этапа происходит разгрузка тел, т.е. восстановление упругих деформаций и контактная сила при этом уменьшается.

Основное уравнение удара для случая жестко закрепленной плиты

$$\frac{dv}{dt} = \frac{d^2\alpha}{dt^2} = \frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{1}{M}P(t) = -gK(t),$$

где $V = \frac{d\alpha}{dt}$ – скорость сближения; P (2) – зависимость величины деформации от величины контактного давления; M – масса ударяемого тела.

При воздействии ударной нагрузки в поведении конструкций и материалов наблюдаются особенности, которые отсутствуют при статической нагрузке, а именно:

- упругая конструкция под действием ударной нагрузки приходит в колебательное движение, которое постепенно затухает вследствие сопротивления воздуха, внутреннего трения между частицами материала и т.д.;
- в сопротивлении ударной нагрузки принимает участие иногда не весь материал конструкции, а только часть его, расположенная в зоне контакта.

При всяком импульсивном нагружении распространение пластической деформации характеризуется волновым процессом, скорость распространения которого определяется по динамической диаграмме [1] напряжение – деформация как

$$C = \sqrt{\frac{1}{\rho} \frac{d\sigma}{d\varepsilon}},$$

где ρ – плотность материала; $\frac{d\sigma}{d\varepsilon}$ – модуль упругости материала в пластической зоне.

Всякий процесс деформации материала характеризуется количеством деформации, поглощаемой при ударе материалом:

$$a_k = \frac{A_k}{F_{\min}},$$

где $F_{\min}$ – минимальная площадь в изломе; A_k – количество работы при ударе; a_k – ударная вязкость материала.

В отличие от гармонических колебаний удар является неустановившимся процессом и для его описания используют характеристики, несвязанные со свойствами исследуемых изделий, материалов. Эти характеристики основываются на функциональной зависимости параметра от времени и на зависимости спектральных характеристик от частоты. К числу характеристик во временной области [2] относятся:

а) функциональная зависимость от времени ускорения $\omega(t)$, скорости $v(t)$ или смещения $X(t)$, определяемая по формулам

$$I_\omega = \int_0^r \dot{\omega} dt = v_r - v_0, I_v = \int_0^r v dt = X_r - X_0 \text{ и } I_x = \int_0^r X dx;$$

б) длительность ударного импульса;

в) длительность фронта r_ϕ ударного импульса.

Для определения характеристик в частотной области ударного импульса обычно применяется спектральная плотность процесса, определяемая спектром Фурье в форме амплитудного $S(\omega)$ и фазового $\phi(\omega)$ спектров:

$$F(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S(i\omega) e^{i\omega t} d\omega, S(i\omega) = S(i\omega) e^{i\phi(\omega)}.$$

Вычисление его производится из соотношения

$$\int_{-\infty}^{+\infty} (i\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(t) e^{-i\omega t} dt.$$

Действующая ширина спектра Δf определяется на уровне 0,9 полной энергии W спектра и находится из соотношения

$$\int_0^{2\pi\Delta f} [S(\omega)]^2 d\omega = 0,9 \int_0^\infty [S(\omega)]^2 d\omega.$$

Воздействие ударного импульса вызывает изменение движения упругой системы, к которой можно отнести и ИЭТ, имеющие довольно сложную конструкцию, и заставляет ее совершать колебательные движения как переходные, так и собственные отдельных ее элементов, что вызывает в ней соответствующую реакцию, определяемую для системы с одной степенью свободы [3] на полусинусоидальный импульс

$$\sigma = \begin{cases} 2 \frac{U_m}{\omega^2} \frac{\pi / \omega_\tau}{(\pi / \omega_\tau)^2 - 1} \cos \frac{\tau \omega}{2} \sin \omega \left(t - \frac{\tau}{2} \right), & \text{при } t > \tau; \\ \frac{U_m / \omega^2}{1 - (\pi / \omega_\tau)^2} \left(\sin \frac{\pi t}{\tau} - \frac{\pi t}{\omega \tau} \sin \omega t \right), & \text{при } 0 \leq t \leq \tau. \end{cases}$$

При резком изменении скорости движения, имеющем место при ударе, может обнаружиться хрупкость в таких материалах, которые при статическом действии нагрузок являются пластичными. Возникающие при ускоренном движении изделия добавочные напряжения эквивалентны статическим напряжениям, вызываемым силами инерции, а что касается характера нарастания напряжений и деформаций, то при ударе деформация происходит хотя и быстро, но не мгновенно; динамическая нагрузка σ_d постепенно растет в течение очень короткого промежутка времени от нуля до окончательного значения; параллельно росту деформаций возрастают и силы инерции.

В большинстве случаев повреждения элементов РЭА, таких как проволочные резисторы, вызываемые воздействием ударных нагрузок, носят механический характер разрушения. Характерными отказами проволочных резисторов при воздействии ударных нагрузок являются:

- разрушение корпуса и элементов конструкции вследствие их недостаточной прочности;
- разрушение сварных и паяных соединений, приводящее к потере проводимости резистора или отдельных его плеч в случае переменного резистора;
- разрушение клеевых соединений вследствие их недостаточной адгезии;
- отклонения величин установленного значения сопротивлений, вызываемые недостаточной жесткостью фиксации регулировочного движка (в случае резисторов переменного сопротивления).

В рамках данной работы были проведены исследования по оценке стойкости различных типов проволочных резисторов к воздействию повышенных ударных нагрузок.

Большинство резисторов по своей конструкции (недостаточное контактное давление и жесткость контактной пружины) не рассчитано на эксплуатацию при воздействии механических нагрузок выше требований ТУ и доработка их конструкции с целью повышения их механической прочности к воздействиям указанных нагрузок нецелесообразна ввиду малого внутреннего объема.

Увеличение контактного давления пружины на резистивный элемент в существующих в настоящее время типах переменных проволочных резисторах приведет к его обрыву в результате перемещения подвижной системы, поэтому для повышения механической прочности переменных резисторов необходима разработка принципиально новых типов переменных резисторов, обеспечивающих надлежащую жесткость пружины после установки резисторов в РЭА. При перемещении подвижной системы резистора в его конструкции необходимо предусмотреть снижение контактного давления. Для повышения стойкости резисторов к воздействию ударных нагрузок в десятки тысяч g необходимо усилить приклепку резистивного элемента к основанию и заменить пайку выводов к резистивному элементу и токоотводу сваркой.

Способ крепления резисторов при эксплуатации в РЭА должен быть достаточно надежным к воздействию повышенных механических нагрузок или предусматривать их заливку специальными компаундами.

Для постоянных резисторов, более стойких к воздействию повышенных механических нагрузок, необходимо разработать более жесткие способы их крепления в РЭА, исключающие разрушение их корпусов, а длину выводов ограничить минимально возможной длиной с их распайкой к соответствующим элементам РЭА. В качестве материала опрессовки резисторов необходимо применить более стойкий к ударным нагрузкам материал.

Библиографический список

1. Рейнхэрт, Дж. С. Поведение металлов при импульсивных нагрузках / Дж. С. Рейнхэрт, Дж. Пирсон. – М. : Изд. ин. лит., 1958. – 295 с.
2. Герасимов, О. Н. Способ организации производственного контроля и диагностики РЭС с заданным уровнем остаточного ресурса / О. Н. Герасимов, А. В. Затылкин, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 1 (13). – С. 94–98.
3. Хади, О. Ш. Конструкторско-технологические аспекты проектирования микросборок, работающих при динамическом нагружении / О. Ш. Хади, А. Н. Литвинов, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 3 (15). – С. 41–48.

Доросинский Антон Юрьевич

кандидат технических наук, ведущий инженер,
специальное конструкторское бюро,
ОАО «Электромеханика»
(440052, Россия, г. Пенза, ул. Гоголя, 51/53)
E-mail: antik_r13@mail.ru

Dorosinskiy Anton Yur'evich

candidate of technical sciences, lead engineer,
special design bureau,
Electromechanica factory
(440052, 51/53 Gogolya street, Penza, Russia)

Герасимов Олег Николаевич

начальник военного представительства,
Министерство обороны РФ
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Володарского, 8/10)
E-mail: gera0502@mail.ru

Артамонов Дмитрий Владимирович

доктор технических наук, профессор,
директор Политехнического института,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: politeh@pnzgu.ru

Аннотация. Показано, что актуальным является оценка поведения различных изделий электронной техники и радиоаппаратуры в целом в условиях воздействия интенсивных нагрузок импульсного характера. Рассмотрены теоретические вопросы влияния ударных воздействий на конструкционные материалы и проволочные резисторы. Дано теоретическое обоснование механизмов влияния ударных процессов на конструкционные элементы радиоэлектронной аппаратуры и изделий электронной техники. Исследованы механизмы отказов проволочных резисторов и определена их работоспособность в процессе воздействия повышенных ударных нагрузок. Проведены исследования по оценке стойкости различных типов проволочных резисторов к воздействию повышенных ударных нагрузок. Разработаны рекомендации по повышению стойкости проволочных резисторов к данным видам воздействия. Показана актуальность разработки жестких способов крепления проволочных резисторов в радиоаппаратуре, исключающие разрушение их корпусов, а длину выводов ограничить минимально возможной длиной с их распайкой к соответствующим элементам радиоаппаратуры.

Ключевые слова: ударная нагрузка, конструкционный материал, резистор, контактное давление.

Gerasimov Oleg Nikolayevich

head of the military mission
The Ministry of defense RF
(440026, 8/10 Volodarskogo street, Penza, Russia)

Artamonov Dmitriy Vladimirovich

doctor of technical sciences, professor,
director of Polytechnic Institute,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Abstract. It is shown that topical is the assessment of the conduct of various electronic equipment and radio equipment in total exposure to intense pulsed loads of character. Theoretical impact of shock effects on structural materials and wire resistors. Theoretical substantiation of mechanisms of influence of impact processes on the structural elements of electronics and electronic products. Investigated the mechanisms of wire resistors and failures determined during that exposure to elevated shock loads. Studies on the evaluation of the resistance of different types of wire resistors to the effects of elevated shock loads. Developed recommendations for improving the resistance of wire resistors to data types of impact. Shows the relevance of developing hard ways of fastening wire resistors in radios, excluding the destroying their buildings, and the length of the conclusions limit the minimum possible.

Key words: shock loading, construction material, resistor, contact pressure.

УДК 658.5

Доросинский, А. Ю.

Влияние ударных нагрузок на конструкционные материалы и проволочные резисторы / А. Ю. Доросинский, О. Н. Герасимов // Надежность и качество сложных систем. – 2017. – № 3 (19). – С. 33–36. DOI 10.21685/2307-4205-2017-3-5.