

УДК 621.3.087.42

**Фам Лэ Куок Хань, Дао Ань Куан, С. У. Увайсов, В. В. Черноверская,
К.И. Бушмелева**

Определение эффективного уровня одиночных ударных импульсов для выявления дефектов печатных узлов электронных средств

Дефекты и неисправности радиоэлектронных средств, обусловленные сложностью конструкции и трудоемкостью технологических процессов их производства, неизбежны на современном этапе развития электронной промышленности, поэтому задачи технического диагностирования производимых устройств остаются актуальными и в настоящее время. На сегодняшний день разработаны и успешно применяются различные методы контроля и диагностики, и один из них – это ударная диагностика. В основе метода – исследование реакции узла (функции отклика) на возмущающие ударные воздействия. Показано, что для определенных групп отказов РЭС наиболее информативным для исследования является именно ударное воздействие, которое позволяет однозначно идентифицировать дефект электронного средства по изменению характеристик его выходного сигнала. В работе приведены результаты исследования по определению параметров эффективного задающего воздействия с целью получения однозначной реакции электронного узла при наличии в нем дефектов определенного рода.

Ключевые слова: радиоэлектронное средство, техническое диагностирование, ударное воздействие, дефекты конструкции, форма, амплитуда, длительность сигнала, математическое моделирование, преобразование Фурье

Об авторах

Хань Фам Лэ Куок – аспирант 4-го года обучения кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств РТУ МИРЭА. *E-mail: kxanhmtak45@gmail.com*. Москва, Проспект Вернадского, д. 78.

Куан Дао Ань – аспирант 3-го года обучения кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств РТУ МИРЭА.

Увайсов Сайгид Увайсович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой конструирования и производства радиоэлектронных средств РТУ МИРЭА.

Черноверская Виктория Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств РТУ МИРЭА.

Бушмелева Кия Иннокентьевна – д.т.н., доцент, заведующая кафедрой АСОИУ БУ ВО «Сургутский государственный университет»

Механические испытания, в основе которых лежит метод формирования ударных тестовых воздействий, позволяют осуществлять контроль технического состояния как отдельных элементов, так и узлов электронных средств. Информация, полученная в ходе ударных испытаний, является ключевой, поскольку позволяет оценить способность изделия функционировать в реальных условиях эксплуатации [1].

Ударное воздействие вызывает соответствующее движение исследуемого объекта и характеризуется величиной пространственного перемещения, скоростью и ускорением.

Механическое воздействие ударом и вызванную им реакцию называют ударным процессом. Ударные процессы могут быть одиночными, многократными (с периодической или случайной последовательностью ударов) и комплексными. При проведении ударных испытаний наиболее широко используют одиночные ударные импульсы.

Механический удар характеризуется быстрым выделением энергии, в результате чего возникают местные упругие или пластические деформации, волны напряжения и другие эффекты. Результаты воздействия удара на объект зависят от характеристик ударного воздействия и механических свойств конструкции.

Форма ударного воздействия представляет собой широкий спектр частот и вызывает резонанс одновременно на нескольких собственных частотах. В случае ударных испытаний при использовании реальных кратковременных ударных воздействий на испытательной установке можно выявить различные виды отказов [1].

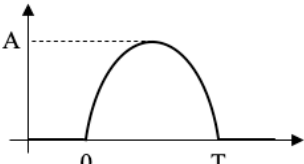
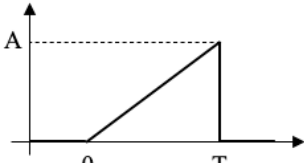
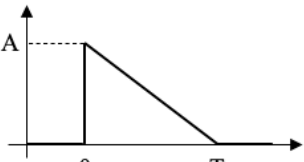
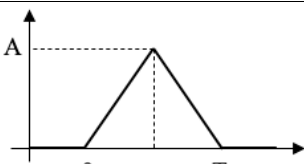
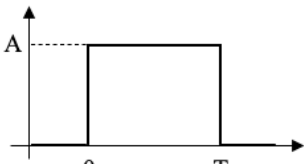
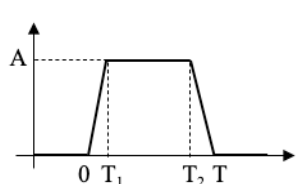
В зависимости от способа преобразования кинетической энергии формообразующим устройством могут быть получены импульсы разной формы. Как правило, при воздействии одиночного удара номинальное ускорение

в проверяемой точке аппроксимируется пилообразным импульсом с пиком на конце, полусинусоидальным импульсом или трапецеидальным импульсом [1].

Определение формы ударного импульса

Первоначальная задача исследования сводилась к нахождению оптимальной формы задающего ударного импульса. В [2] подробно рассматриваются виды и формы импульсов, перечисленные в таблице ниже.

Виды и форма ударных импульсов

Полусинусоидальный импульс	
Пилообразный возрастающий импульс	
Пилообразный ниспадающий импульс	
Треугольный импульс	
Прямоугольный импульс	
Трапецеидальный импульс	

Следует отметить, что для пилообразного возрастающего импульса, пилообразного ниспадающего импульса и прямоугольного импульса не представляется возможным задать вертикальный фронт и вертикальный спад, но задается резкий фронт и спад.

При проведении реальных экспериментов невозможно задать прямоугольный импульс.

В соответствии с ГОСТ Р ИСО 8568-2010 в состав ударного стенда должны входить:

- жёсткий стол с направляющими и элементами крепления объекта испытаний и формообразующего устройства;
- средства накопления потенциальной энергии, необходимой для воспроизведения удара;
- устройство для фиксации стола на заданной высоте;
- механизм высвобождения;

- наковальня или инерционное тело, с которым происходит соударение стола;
- устройство формообразования импульса, торможения и возврата;
- стойка управления и устройство измерения параметров ударного движения.

В зависимости от конструкции ударного стенда, и в особенности от применяемого в нем тормозного устройства, получают ударные импульсы полусинусоидальной, треугольной и трапецеидальной формы.

В проводимом исследовании было выполнено компьютерное моделирование входных сигналов с параметрами: $A = 30 \text{ м/с}^2$, $T = 4 \text{ мс}$, $T_1 = T_2 = 0.4 \text{ мс}$. Результаты моделирования представлены на рис. 2. Здесь показана реакция узла на ударное воздействие с различными видами входного импульса: полусинусоидальной формы, трапецеидальной формы и пилообразной формы.

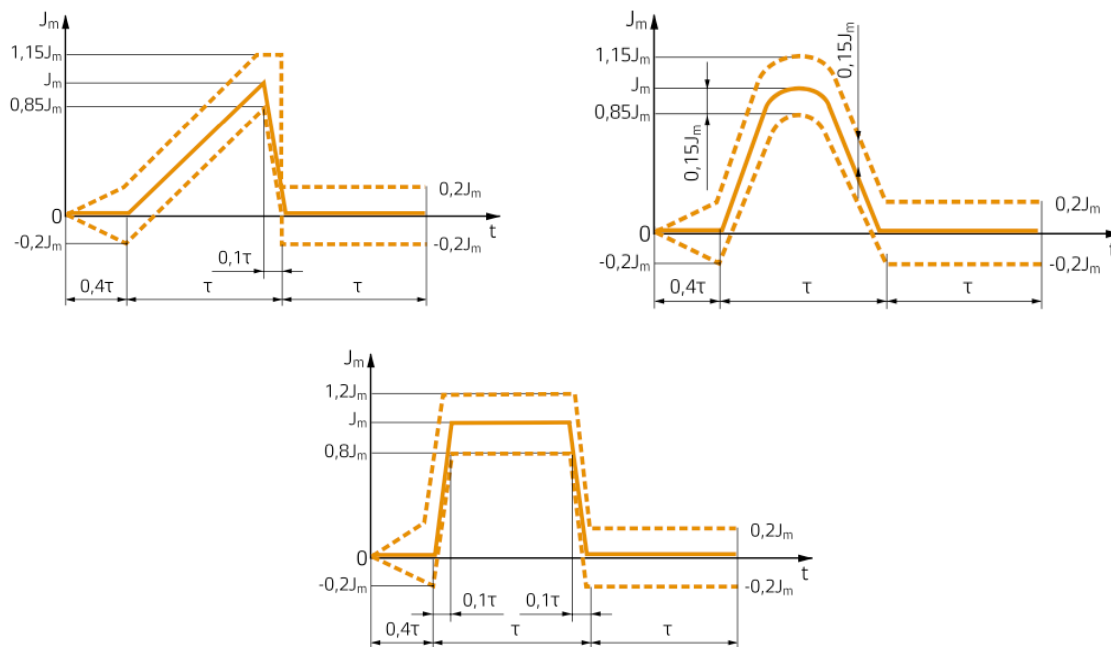


Рис. 1. Формы ударного импульса:

a – пилообразный импульс; *b* – полусинусоидальный импульс; *c* – трапецеидальный импульс
 --- границы допусков; τ – длительность ударного ускорения; J_m – пиковое ударное ускорение;
 $2,4 \tau$ – длительность наблюдения ударного импульса

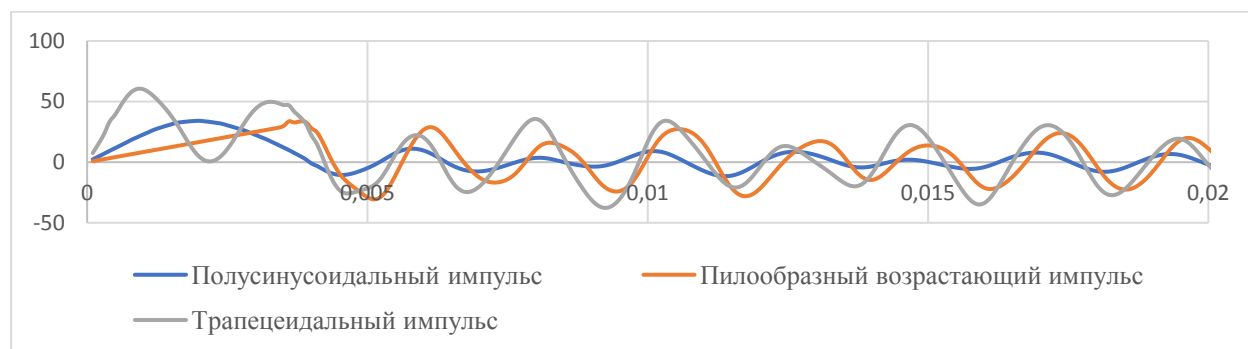


Рис. 2. Реакция ударного воздействия трапецеидального, полусинусоидального и пилообразного возрастающего импульса

Из представленных графиков видно, что при выборе в качестве ударного воздействия импульса трапецеидальной формы реакция исследуемого узла имеет максимальную амплитуду, из чего можно сделать вывод, что данная форма импульса ударного воздействия является наиболее информативной для проводимого исследования.

Определение значений амплитуды ударного импульса

Важнейшим параметром ударного импульса, от правильности выбора которого зависит результат диагностических испытания, является его амплитуда. Известно, что если подать на вход импульс малой амплитуды, то он может оказаться нечувствительным для сенсорного элемента (датчика) экспериментальной установки. Если же подать импульс большой амплитуды, то это может разрушить конструкцию исследуемого узла. В данной работе решена задача поиска эффективного диапазона изменения амплитуды ударного импульса, т.е. определения верхней и нижней границ допустимых значений.

Очевидно, что нижняя граница амплитудного диапазона определяется чувствительностью установленного датчика, а верхний предел – конструктивными особенностями исследуемого узла, его прочностью и устойчивостью.

Используя математическое моделирование и проведя серию вычислительных экспериментов на ПК, удалось определить теоретический диапазон значений амплитуды. Полученные значения были подтверждены результатами физических испытаний на ударной установке. При этом диапазон амплитуд, полученный при моделировании, был смещен в сторону более низких значений, чем полученный при натуральных экспериментах.

Это объясняется особенностями конструкции экспериментальной установки и чувствительностью вибродатчика. Результаты исследования амплитуды ударного импульса приведены на рис. 3. Из рисунка видно, что эффективный диапазон значений амплитуды ударного импульса находится между верхней теоретической границей диапазона, полученной при моделировании, и нижней практической границей, полученной при физических испытаниях. Верхняя теоретическая граница обеспечивает корректное проведение исследования без конструктивных разрушений узла, а нижняя практическая граница задает пороговое значение чувствительности датчика, обеспечивая воспроизводимость испытания.

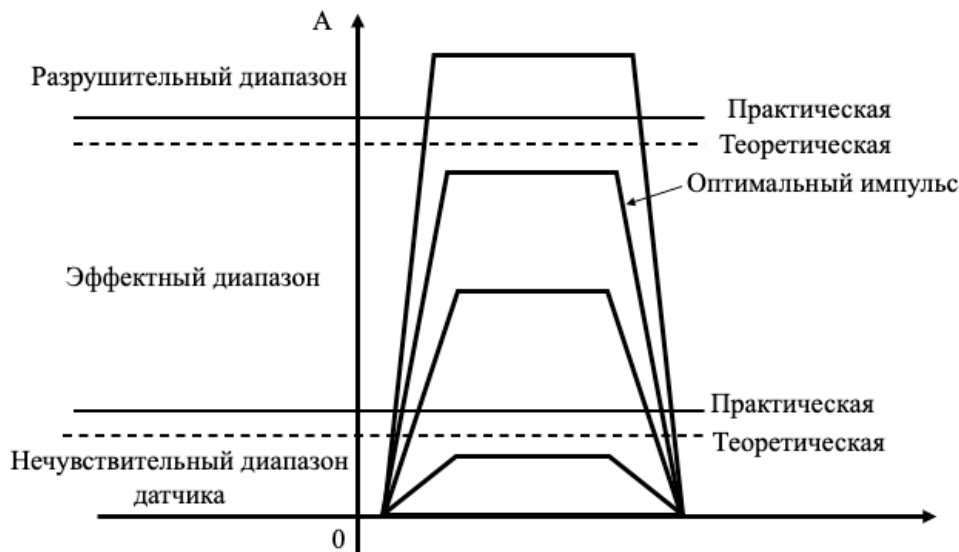


Рис. 3. Реакция системы при разных значениях амплитуды входного воздействия

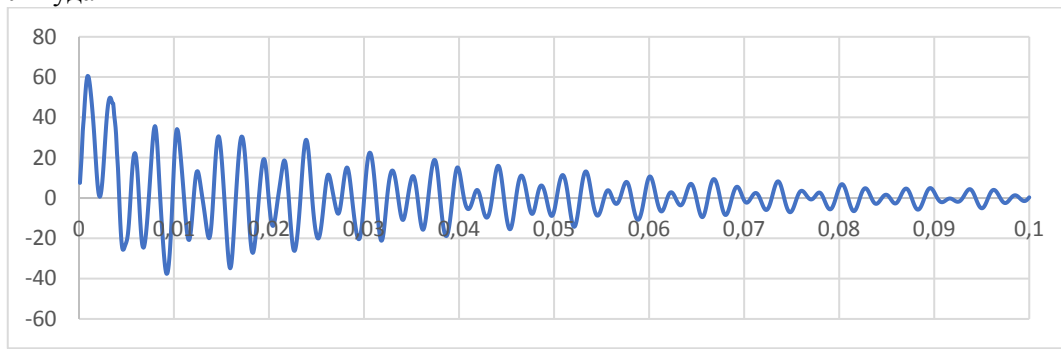
Определение длительности импульса

Реакция исследуемого узла на ударное воздействие заданной формы и амплитуды приведена на рис. 4. График представляет собой сложное затухающее колебание, по которому достаточно трудно оценить наличие конструктивных дефектов в исследуемом узле. С этой точки зрения АЧХ является мало информативной диагностической характеристикой, поскольку ее форма, значения, стабильность параметров зависят от условий проведения испытания, влияния внешних, настроек испытательного оборудования. Эта особенность отмечалась ранее авторами научно-исследовательских ра-

бот, посвященных совершенствованию методов выходного контроля

В данной работе с целью повышения достоверности результатов исследования по выявлению конструктивных дефектов электронного средства решено перейти от исследования АЧХ к исследованию частотной характеристики устройства, как более информативной, стабильной и поддающейся однозначной интерпретации. Далее в исследовании будут анализироваться резонансные частоты электронного узла, являющиеся диагностическим признаком на входное ударное воздействие.

Амплитуда



Время (с)

Рис. 4. Динамическая характеристика (зависимость амплитуды от времени)

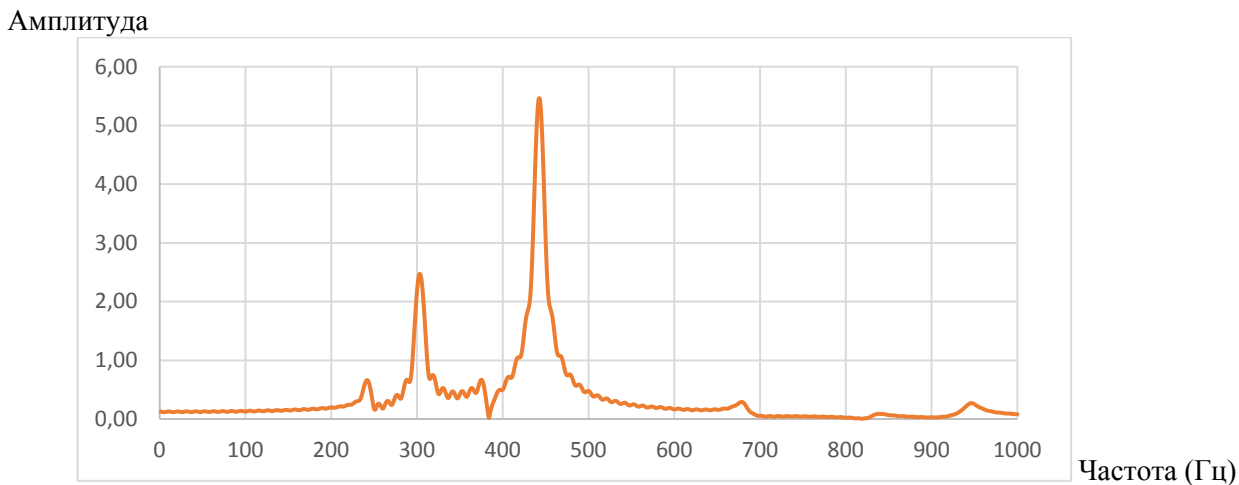


Рис. 5. Амплитудно-частотная характеристика

Для этого амплитудно-частотную характеристику (рис. 5) необходимо перевести в частотный спектр при помощи преобразования Фурье. Параллельно возникает задача в определении длительности ударного импульса, спектр которого должен обладать способностью «покрыть» резонансные частоты всех элементов исследуемого узла. Данная задача решалась на основе моделирования механических процессов в САПР *SolidWorks*, в результате чего были

идентифицированы резонансные частоты всех элементов узла. Далее, используя математическое моделирование и теорию цифровой обработки сигналов, был сформирован спектр ударного импульса и рассчитана его длительность, удовлетворяющая заданным требованиям. Спектр импульса показан на рис. 6.

Рассчитанное значение длительности ударного импульса и его график приведены на рис. 7.

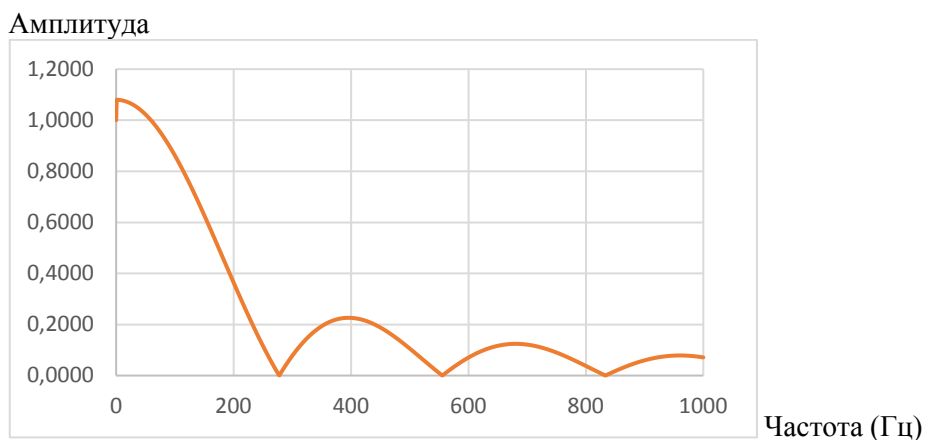


Рис. 6. Спектр ударного импульса

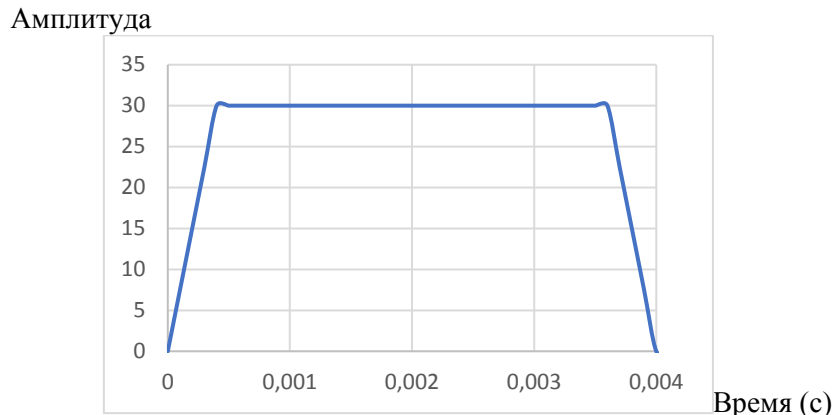


Рис. 7. Длительность входного ударного импульса

Выводы

Конструктивно электронное средство представляет собой анизотропную гетерогенную структуру, обладающую своими уникальными механическими характеристиками (распределение массы в конструкции).

Изменение любого геометрического или физико-механического параметра конструкции приводит к изменению выходных сигналов, представляющих собой реакцию системы на тестовые входные воздействия. Проводя испытания на действие удара, можно выявить определенные закономерности, в частности, амплитудно-временную зависимость функции отклика от параметров ударного воздействия. Такой подход, примененный на этапе выходного контроля изделия, позволяет отбраковывать образцы с наличием дефектов в конструкции и, как следствие, уменьшить риск возникновения внезапных отказов в процессе эксплуатации изделия. С учетом повышения требований к качеству изделия, а также для снижения временных затрат на контроль эффективным подходом является автоматизированное диагностирование механических характеристик узлов электронных средств.

Определение эффективного входного воздействия с оптимально подобранными параметрами ударного импульса является ключевым в вопросе механических испытаний электрон-

ных средств, поскольку напрямую влияет на достоверность результатов диагностирования и однозначную их интерпретацию.

Библиографический список

1. Горлов М.И., Сергеев В.А. Современные диагностические методы контроля качества и надежности полупроводниковых изделий. Ульяновск: УлГТУ, 2015. 407 с.
2. ГОСТ Р 53190-2008. Испытания на удар с воспроизведением ударного спектра. М.: Изд-во стандартов, 2008. 24 с.
3. Иванов И.А., Увайсов С.У., Кошелев Н.А. Методика обеспечения диагностируемости электронных средств космических аппаратов по ранговому критерию на ранних этапах проектирования // Качество. Инновации. Образование. 2012. № 1. С. 60–62.
4. Ланин В.А., Волкенштейн С.С., Хмыль А.А. Методы контроля и диагностики скрытых дефектов в изделиях электроники // Компоненты и технологии. 2010. № 2. С. 137–142.
5. Неразрушающий контроль и диагностика. Клюев В.В., Соснин Ф.Р., Ковалев А.В., Запускалов В.Г., Изотов А.В., Кантер Б.М., Курозаев В.П., Ланге Ю.В., Маслов А.И., Мужичкий В.Ф., Матвеев В.И., Федосенко Ю.К., Шевалдыкин В.Г. : справочник / под редакцией В.В. Клюева. М., 2003.
6. Технические средства диагностирования. Клюев В.В. Справочник. М., 1989.

Поступила в редакцию
22.10.2020