

Рекомендации по монтажу гибридно-пленочных преобразователей напряжения. Стойкость к воздействию механических факторов

Виктор ЖДАНКИН

В статье даны рекомендации по монтажу гибридно-пленочных преобразователей в аппаратуру, а также рассказано о методах испытаний на стойкость к механическим воздействиям. Представленные в статье принципы являются общепринятыми, но здесь они сформулированы специально для гибридно-пленочных преобразователей Interpoint на основе рекомендаций специалистов компании [1].

Гибридная технология обеспечивает предельно достижимую в настоящее время плотность упаковки компонентов бескорпусного исполнения, максимальную согласованность температурных коэффициентов расширения всех узлов сборки, минимальное сопротивление теплопередачи от всех теплонагруженных элементов конструкции к поверхности теплоотвода, минимальное количество внутрисхемных электрических соединений, наивысшую степень герметичности изделия. Эти достоинства определяют широкие эксплуатационные возможности гибридных преобразователей

напряжения в различных областях применения — в аппаратуре специального назначения, авиационной, ракетной и космической технике.

Меры предосторожности при эксплуатации гибридно-пленочных модулей преобразователей напряжения

Гибридно-пленочные преобразователи напряжения, выполненные в герметичных металлических корпусах, имеют изоляцию в виде стеклянной прокладки вокруг выво-

дов и требуют бережного обращения для сохранения герметичности. Например, падение детали на вывод с небольшой высоты несомненно закончится растрескиванием стеклянного изолятора и закономерной потерей герметичности. Падение со значительной высоты с контактом на любую часть металлического корпуса может завершиться необратимым повреждением уплотнения или другим видом повреждения. Все, что изгибает или скручивает выводы, может раздробить стекло или расколоть подложку из алюминиевой керамики.

Поэтому нельзя укорачивать (срезать) вывод бокорезами или другими средствами без обеспечения опоры вывода. Возникающая в результате нагрузка приведет к растрескиванию уплотняющего и изолирующего стеклянного шарика (бусинки). Для того чтобы укоротить выводы перед установкой детали на печатную плату или другую конструкцию, выводы должны быть обеспечены опорой. Плиточный калибр или другое приспособление, которое легко надевается на выводы и предоставляет возможности, подобные представленным на рис. 1, должны быть использованы для поддержки вывода. Как только это выполнено, выводы могут быть срезаны или обрезаны острым лезвием. В том случае, когда деталь установлена и запаяна на печатную плату без обрезания выводов, паяные соединения обеспечат поддержку (опору) для безопасного отрезания. Но если используются бессвинцовые пайки, паяные соединения оказываются сравнительно хрупкими и поверхность спаев подвергается растрескиванию. Поэтому предпочтительно сначала обрезать выводы, а затем паять их.

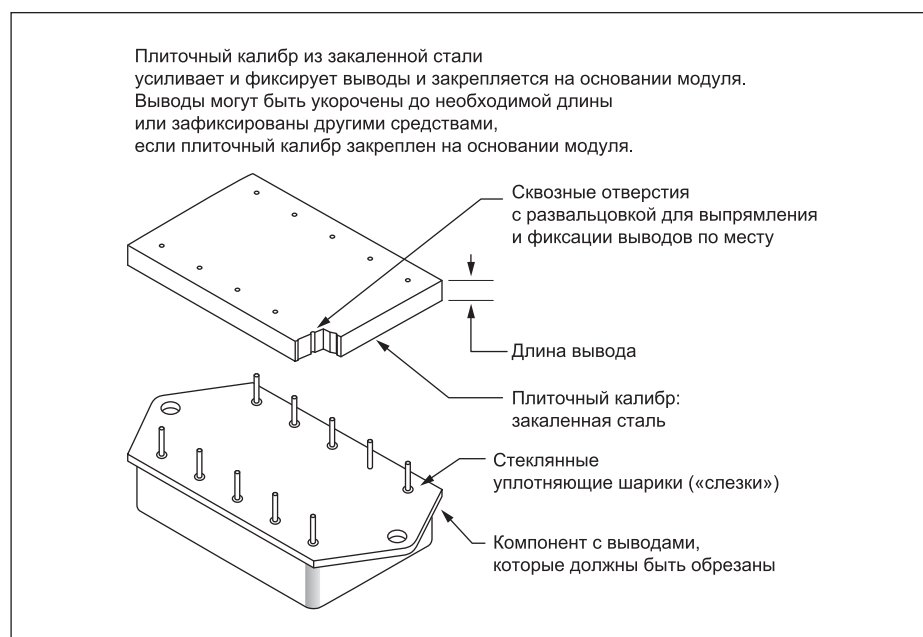
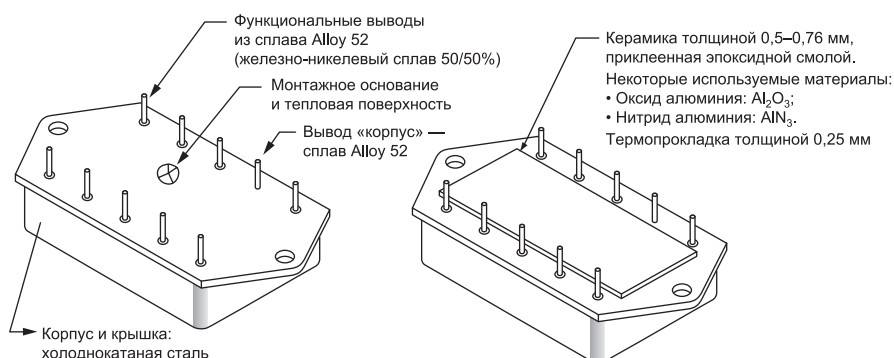


Рис. 1. Обрезание выводов, герметизированных стеклянными изоляторами

Монтаж на печатную плату над медными дорожками: для защиты дорожек и возвышения основания над печатной платой используется керамический или другой диэлектрический материал. Это является не очень хорошим решением для отвода тепла.



Хорошее решение для отвода тепла: монтаж на плату с металлическим каркасом для уменьшения теплового сопротивления при отводе тепла за счет теплопроводности. Выводы гибкой печатной платы могут быть использованы для электрического соединения.

Рис. 2. Монтаж преобразователя напряжения на печатную плату

Монтаж гибридно-пленочных преобразователей напряжения на печатную плату или металлическую пластину

На рис. 2 показана форма конструкции типичного металлического корпуса, используемая для некоторых моделей преобразователей напряжения серии MTR. Модуль имеет девять функциональных выводов, которые выводятся из монтажного основания через стеклянные уплотняющие и изолирующие шарики («слезки»), и один вывод для заземления корпуса, припаянный к монтажному основанию. Монтажное основание является к тому же теплоотводящей поверхностью.

Вывод, соединенный с корпусом, предназначен для подключения к «земляному» слою печатной платы, который соединяется с другими компонентами, такими как вывод корпуса фильтра электромагнитных помех или корпус блокировочного конденсатора, предназначенного для подавления помех общего вида (синфазная помеха). В том случае, когда преобразователь напряжения установлен на печатную плату с некоторым зазором между платой для очистки или контроля, генерируемая внутри тепловая мощность будет отводиться главным образом конвекцией, а не за счет теплопроводности. Для корпуса в представленном примере тепловое сопротивление на участке «корпус – окружающая среда» (неподвижный воздух) будет равно примерно 18 °C/Вт рассеиваемой мощности и зависеть от расположения корпуса. При работе с выходной мощностью 10 Вт и КПД 80% внутренние потери мощности составят 2,5 Вт и температура корпуса будет на 45 °C выше окружающего воздуха. Это может быть недостаточным решением

для обеспечения теплового режима работы устройства, необходим отвод тепловой мощности за счет теплопроводности. Монтаж на теплопроводящую керамическую или иную проводящую тепло прокладку поможет снизить температуру корпуса и обеспечить контроль паяных соединений.

Монтаж на промежуточный слой (алюминиевую пластину) печатной платы с алюминиевыми промежуточными слоями или другую металлическую конструкцию с применением теплопроводящих прокладок для заполнения воздушных пустот будет лучшим решением для обеспечения тепловых режимов. Окраска корпуса в матовый черный цвет обеспечит эффект излучения в тех случаях, где перенос тепла конвекцией неэффективен. Более подробная информация по обеспечению тепловых режимов гибридно-пленочных преобразователей напряжения представлена в [2].

Там, где стойкость к вибрации и ударам является системным требованием, должны быть предусмотрены дополнительные меры предосторожности. Необходимо использовать модули в корпусах с крепежными фланцами и, если монтаж осуществляется на печатную плату или плату с армирующей рамой, нужно устанавливать корпус как можно ближе к поддерживающим рейкам, а не к центру платы. Это должно также улучшить ситуацию с тепловым режимом работы. Закреплять устройство к плате следует крепежным средством через фланцы или иными средствами. У устройств, закрепленных только выводами, и особенно у тех, что имеют диаметр выводов менее 0,5 мм, при воздействии вибрации выводы могут быть срезаны. Проблему удастся разрешить закреплением устройства эпоксидным клеем

или другими средствами или применением гибких выводов для снятия напряжений, что предпочтительней, чем пайка непосредственно на печатную плату.

Особенно внимательно надо следовать рекомендациям по обеспечению дополнительной механической фиксации при установке на печатную плату преобразователей напряжения и фильтров электромагнитных помех, выполненных в корпусах для поверхностного монтажа — серии преобразователей напряжения MGH (1,5 Вт), MGA (5 Вт) и FMGA (фильтр), как показано на рис. 3, с выводами типа «крыло чайки» (Gull Wing), чтобы снизить нагрузку на выводы при воздействии механического удара и вибрации. Для этого рекомендуется применять фиксацию эпоксидным клеем Scotch Weld 2216 после припайки преобразователя к печатной плате (рис. 4). Данная марка эпоксидного клея была выбрана в результате ряда экспериментов, проведенных специалистами компании. При использовании герметика силиконового термостойкого Red RTV выяснилось, что его можно употреблять при длительности вибрационных воздействий в течение 1–3 мин и ниже, чем установлено стандартом MIL-STD-883, Condition I, степень жесткости C, общее среднее квадратическое значение 9 G. Эпоксидный клей EPO-TEK H54 оказался слишком твердым и хрупким для уменьшения коэффициента передачи механических воздействий, приложенных к корпусу. Перечень применяемых для этой цели отечественных клеев достаточно широк: KBK-68, BK-9, МК-400. Еще одним способом, обеспечивающим дополнительную механическую поддержку SMD-корпуса для защиты выводов от повреждения при воздействии вибрации, является припайка доннышка кор-

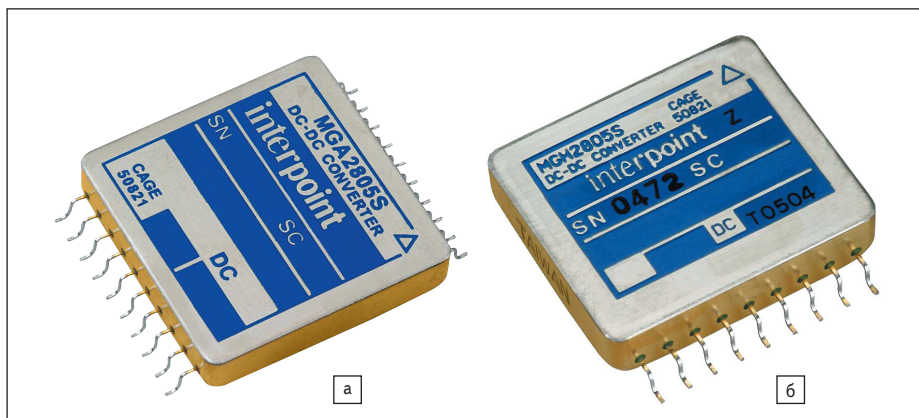


Рис. 3. Внешний вид конструкции преобразователей напряжения в SMD-корпусах:
а) 5-Вт преобразователь серии MGA; б) 1,5-Вт преобразователь серии MGH с выводами типа «крыло чайки» (Gull Wing)

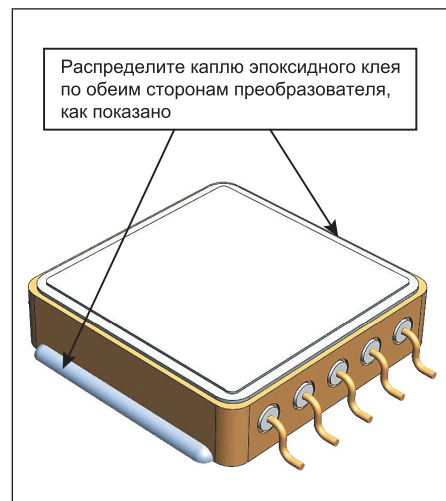


Рис. 4. Установка микросхемы преобразователя напряжения в SMD-корпусе с усилением монтажа эпоксидным клеем

пуска к металлизированной площадке платы с последующей распайкой выводов.

Примеры условий вибрационных и ударных воздействий с комментариями о том, каким образом они испытываются, приводятся далее.

Случайная вибрация

Гибридно-пленочные преобразователи напряжения компании Interpoint — прочные устройства, способные выдерживать высокие уровни вибраций и механических ударов при условии, что конструкция решений, в которую они установлены, свободна от резонансных колебаний при значительной добротности Q. Высокая добротность Q означает отсутствие демпфирования — чем выше добротность, тем меньше затухание коле-

Таблица 1. Значения для условия испытаний I.
График испытаний приведен на рис. 5а

Степень жесткости	Спектральная плотность ускорения, $G^2/Гц$	Общее с.к.з. ускорения, G
A	0,02	5,2
B	0,04	7,3
C	0,06	9
D	0,1	11,6
E	0,2	16,4
F	0,3	20
G	0,4	23,1
H	0,6	28,4
J	1	36,6
K	1,5	44,8

Таблица 2. Значения для условия испытаний II.
График испытаний приведен на рис. 5б

Степень жесткости	Спектральная плотность ускорения, $G^2/Гц$	Общее с.к.з. ускорения, G
A	0,02	5,9
B	0,04	8,3
C	0,06	10,2
D	0,1	13,2
E	0,2	18,7
F	0,3	22,8
G	0,4	26,4
H	0,6	32,3
J	1	41,7
K	1,5	51,1

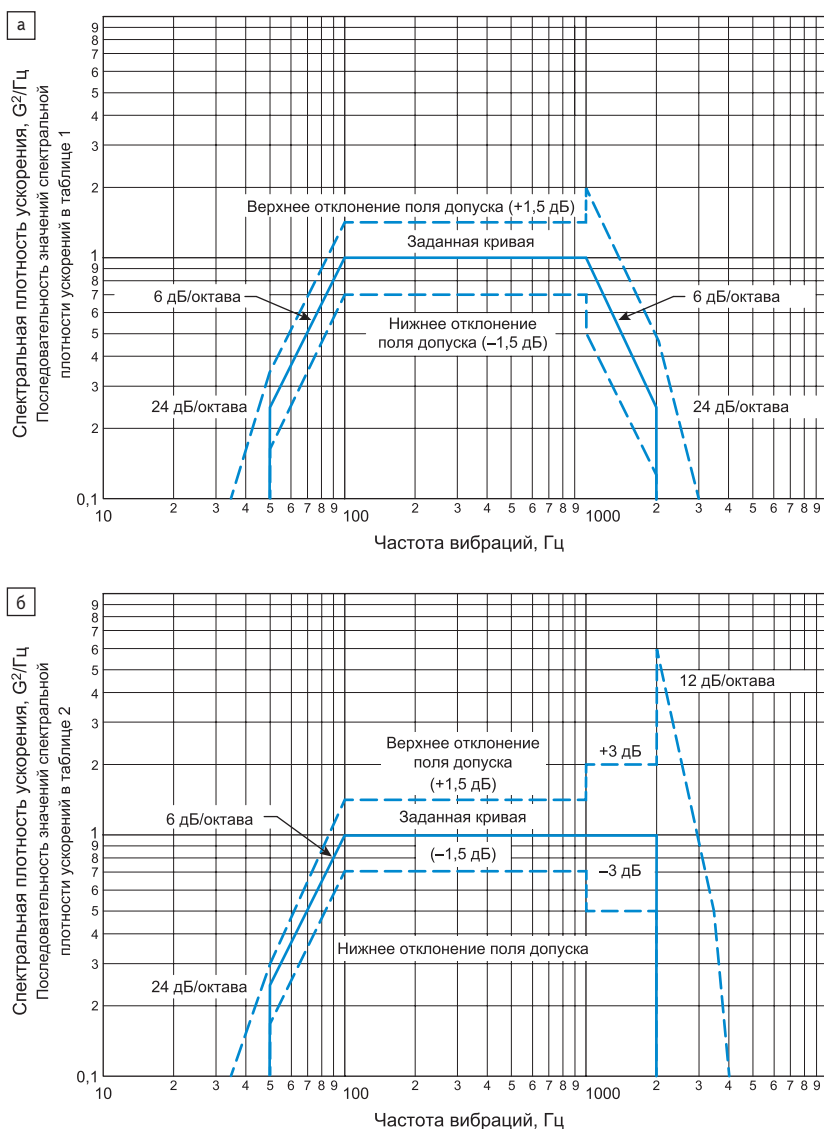


Рис. 5. Типичные графики задания спектральной плотности ускорения при испытаниях на случайную вибрацию:
а) испытания I согласно методу 2026 стандарта MIL-STD-883F, огибающая испытательной кривой на воздействие случайной вибрации;
б) испытания II согласно методу 2026 стандарта MIL-STD-883F, огибающая испытательной кривой на воздействие случайной вибрации
Примечание. Условия испытаний приведены в таблицах 1, 2.

баний, и значение добротности Q , равной единице или меньше, желательно, но часто трудно осуществимо. Случайная вибрация является характеристикой условий реального окружения и колебанием, где все частоты в пределах ширины спектра вибрации имеют одинаковую вероятность присутствия в любое одно время — отсюда термин «случайный» для описания спектра колебаний.

Спектр случайной вибрации для испытаний создается генератором ограниченного белого шума (шум с равномерным распределенным спектром), за которым следует группа фильтров, формирующих полосу частот и схемы кондиционирования, питающие усилитель мощности, который обеспечивает электрический вход на подвижную катушку вибростенда. На рис. 5 показаны типичные спектры вибраций для различных условий испытаний из стандарта MIL-STD-883 метод 2026 (табл. 1, 2). Здесь вертикальная ось — спектральная плотность ускорения — имеет размерность $G^2/Гц$. Горизонтальная ось — это частота в логарифмическом масштабе, имеет размерность $Гц$. Среднеквадратическое значение G случайного спектра в пределах заданной ширины спектра вычисляется из квадратного корня площади под характеристической кривой вибрации во всей установленной ширине спектра.

$$dB = 10 \log \frac{G^2/f}{G_r^2/f} = 20 \log \frac{G/\sqrt{f}}{G_r/\sqrt{f}}.$$

Среднеквадратическое значение ускорения в пределах частотного диапазона между f_1 и f_2 есть:

$$G_{rms} = \left[\int_{f_1}^{f_2} G^2/f df \right]^{1/2},$$

где G^2/f — установленное справочное значение (контрольное значение) спектральной плотности ускорения, обычно максимальное заданное значение.

Например, равномерный сигнал (плоский спектр) на рис. 6, имеющий спектральную плотность ускорения $0,5 G^2/Гц$ в диапазоне частот 20–2000 $Гц$, имеет среднеквадратическое значение ускорения $31,5 G_{rms}$. Этот спектр колебаний и уровень находятся в пределах, допустимых для преобразователей Interpoint, которые обеспечены монтажными средствами, свободными от значительных резонансных колебаний.

Компания Interpoint не проводит отбраковочные тестирования преобразователей напряжения на виброустойчивость и вибропрочность, за исключением случаев, когда это требуется по специальному заказу. Тем не менее Interpoint выполняет квалификационные испытания на виброустойчивость для новых изделий, при этом используются монтажные средства, свободные от резонанса. Нужные условия достигаются примене-

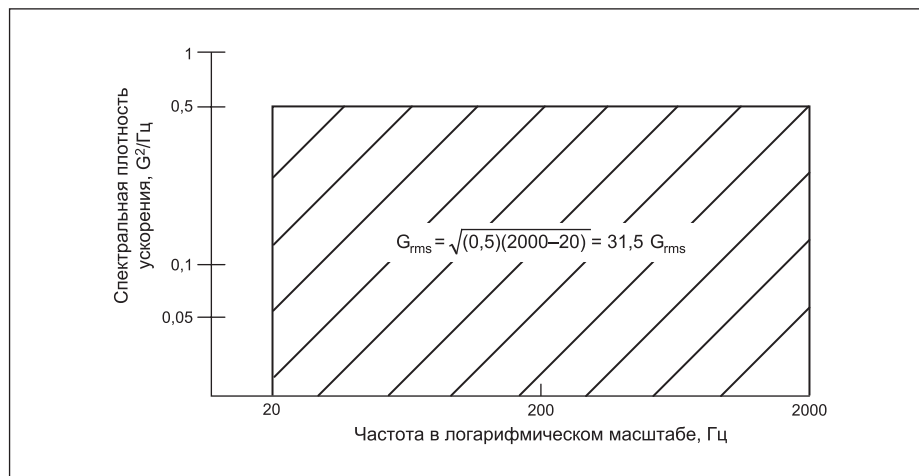


Рис. 6. Случайная вибрация — плоский спектр

нием алюминиевого блока, надежно закрепленного на головной части вибростенда и имеющего углубления, в которые вставляются преобразователи напряжения и затем заливаются воском (парафином). Испытания на виброустойчивость (виброиспытания) могут проводиться с подачей или без подачи напряжения на тестируемые образцы.

При квалификационных испытаниях изделий с уровнями качества Class H и K проводят тесты на воздействие случайной вибрации по методу 2026 стандарта MIL-STD-883, степень жесткости F, общее значение среднеквадратического ускорения $20 G_{rms}$, по трем осям X, Y и Z в течение 15 мин. Но испытания модулей 30-Вт преобразователей напряжения серии MTR на воздействие случайной вибрации при более высокой степени жесткости показали, что они не получили значительных механических повреждений корпуса, выводов и герметичность не была нарушена — тестирования проводились по условиям Condition II, степень жесткости K: спектральная плотность ускорения $1,5 G^2/Гц$, общее среднее квадратическое значение ускорения $51,1 G_{rms}$.

Метод широкополосной случайной вибрации считается основным, так как его важной особенностью является одновременное возбуждение воздействующих на изделие частот. Это позволяет учесть их взаимное влияние и приближает испытание к реальным условиям эксплуатации изделий.

Для определения потенциально ненадежных устройств Interpoint проводит отбраковочные испытания изделий на воздействие линейных нагрузок с ускорениями 500 или 5000 G в зависимости от уровня качества тестируемых изделий. При квалификационных испытаниях преобразователей с уровнями качества Class H и K испытания проводятся с ускорением 5000 G , продолжительность испытания 1 мин по оси Y1. Это статическое испытание на воздействие линейных ускорений выполняется на специальных установках — центрифугах, создающих в горизон-

тальной плоскости радиально направленные ускорения. Воздействие линейных нагрузок позволяет обнаружить конструктивные и механические недостатки корпуса изделия, не выявленные другими механическими испытаниями, такими как механический удар и вибрация. Это испытание позволяет обнаружить пределы механической прочности выводов корпуса, системы крепления кристаллов к подложке и др.

Данные испытания никоим образом не связаны с вибрационными испытаниями.

Полезной будет также информация о собственной резонансной частоте модулей гибридно-пленочных преобразователей. Например, собственная нижняя резонансная частота преобразователя серии SMHF превышает 3,5 $кГц$. А это выше частот диапазона вибраций во время выведения космического корабля на орбиту. Это позволяет заменить требования к механическим воздействиям определением собственной резонансной частоты компонента при разработке модели внешних воздействующих факторов (ВВФ) в конкретной аппаратуре и исключить при сертификации компонента многие виды механических испытаний.

В современных электронных модулях используются крупногабаритные выводные компоненты — электролитические конденсаторы, дроссели, трансформаторы и т. д. Применение компонентов, обладающих существенной массой, усложняет процесс проектирования электронных модулей, поскольку необходимо избежать резонансов конструктивных элементов в диапазоне низких частот. В момент возникновения резонанса амплитуда вибрации и ускорения в определенной области печатной платы увеличивается в десятки раз по сравнению с амплитудой в точках крепления. Для оценки устойчивости конструкций электронных модулей к механическим воздействиям применяют ускоренные технологические испытания на электродинамических стендах. Это помогает свое-

временно выявить слабые места конструкции электронного модуля и принять меры к повышению ее жесткости. В работе [3] рассматривается пример расчета резонансных частот в заданном диапазоне 50–700 Гц и оценка амплитуды воздействующих вибраций для платы источника питания, выполненного в формате РС-104 на основе модуля преобразователя напряжения. С помощью моделирования воздействия механической нагрузки на электронный модуль на этапе разработки были определены слабые места модуля (и это был отнюдь не модуль преобразователя напряжения!). Жесткость конструкции модуля была увеличена с помощью армирующей рамы, за счет чего повысилась резонансная частота и снизилась амплитуда перемещения печатной платы в момент резонанса.

Механический удар

Основная задача испытаний на ударные нагрузки — проверка способности изделия выполнять свои функции во время ударного воздействия и после него. Примеры режимов испытаний полупроводниковых изделий согласно требованиям стандарта MIL-STD-883 Method 2002 приведены в таблице 3.

При квалификационных испытаниях гибридно-пленочные преобразователи Interpoint испытываются на ударные нагрузки по нормам стандарта MIL-STD-883 Method 2002 по условию испытания (степень жесткости) В: пиковое ударное ускорение 1500 G по оси Y1, общее число ударов 5, с длительностью действия ударного ускорения 0,5 мс. Форма импульса ударного ускорения — полусинусоидальная. Для устройств, у которых внутренние элементы установлены в плоскости, перпендикулярной оси Y, выбирают направление воздействия ударного ускорения Y1, так как при этом ударное ускорение действует в направлении смещения элементов с их места закрепления.

При испытаниях на ударные нагрузки необходимо использовать свободные от резонанса монтажные средства. Во время тестирования устройство должно быть жестко

Таблица 3. Характеристики режимов испытаний на ударные нагрузки по MIL-STD-883 Method 2002

Степень жесткости	Пиковое ударное ускорение, G	Длительность ударного импульса, мс
A	500	1
B	1500	0,5
C	3000	0,3
D	5000	0,3
E	10 000	0,2
F	20 000	0,2
G	30 000	0,12

установлено на установке с достаточной защитой выводов.

При более жестких режимах испытаний многократные применения могут служить причиной образования трещин в магнитных компонентах, с последующими повреждениями электрической цепи силового блока. Также могут иметь место другие виды повреждений.

Заключение

Гибридно-пленочные преобразователи напряжения отличаются надежной механической конструкцией, что позволяет применять их в системах электропитания функциональных узлов электронной аппаратуры специального назначения наземного и морского базирования, авиационной, ракетной и космической техники. Но при эксплуатации этих изделий необходимо выполнять рекомендации по монтажу изделий в аппаратуре. ■

Литература

1. Eide M. Mechanical: Mounting, Vibration and Shock. Rev D-20090310. Application Note. Interpoint. Crane Aerospace & Electronics Power Solutions. www.interpoint.com
2. Жданкин В. К. Обеспечение оптимальных тепловых режимов гибридно-пленочных DC/DC-преобразователей // Компоненты и технологии. 2016. № 7.
3. Ланин В., Парковский В. Конструкции электронных модулей. Оценка устойчивости к механическим воздействиям // Электроника: НТБ. 2013. № 4.