

Краткие результаты исследования поддельных силовых полупроводниковых приборов

Владимир Веревкин

v_verevkin@mail.ru

Анатолий Солодовник

office@element.zp.ua

Андрей Санчугов

marketing@element.zp.ua

В настоящее время нет, наверное, ни одного сегмента рынка, который избежал бы нашествия поддельной продукции. Весьма остро стоит эта проблема и в электротехнике, в частности, на рынке силовых полупроводниковых приборов (СПП) [1, 2]. Высокая стоимость мощных полупроводниковых приборов и огромные технические и экономические потери при аварийных ситуациях, вызванных отказами фальсифицированных тиристоров или диодов низкого качества, требуют весьма тщательного подхода к выбору не только поставляемой продукции, но и организации, осуществляющей поставку.

Предприятие ООО «Элемент-Преобразователь» (г. Запорожье) имеет в своем составе измерительную лабораторию, аттестованную Госстандартом Украины на право проведения испытаний силовых полупроводниковых приборов. За последние два года в лаборатории по многочисленным просьбам потребителей проводились исследования большого количества фальсифицированных СПП различных типов. Наиболее интересные для потребителей результаты этой работы изложены в настоящей статье.

Лидером по объему фальсифицированных образцов является лавинный диод типа ДЛ161. Диоды этого типа в огромных количествах применяются на железнодорожном транспорте, как для подвижного состава, так и для выпрямителей тяговых подстанций. Естественно, что к изделиям в этой сфере применения предъявляются повышенные требования к качеству и надежности. Прежде всего, это высокая стойкость к перенапряжениям, которой обладают только лавинные диоды. Предприятие-изготовитель, как правило, обязано проводить стопроцентный контроль их на стойкость к воздействию импульсов перенапряжения длительностью 100 мкс и мощностью не менее 16 кВт. Проведение таких сложных испытаний может позволить себе только крупное предприятие, хорошо оснащенное дорогостоящим испытательным оборудованием. Диоды должны также обладать высокой надежностью при работе в режимах с циклической токовой нагрузкой, типичных для подвижного состава. Приборы паяной конструкции, выпускавшиеся в 70-е годы прошлого века, в таких режимах работы имеют низкую надежность, обусловленную развитием усталостных явлений в швах, паяных оловянно-свинцовыми припоями. Например, в соответствии с информационными материалами на диод ВЛ200, при перепаде температуры в 80 °С число циклов до отказа с вероятностью 0,5 составляет 7,5 тысячи [3]. Подробно механизм разрушения СПП при работе в циклических режимах рассмотрен

в [4]. Современные мощные силовые полупроводниковые приборы, в том числе диоды ДЛ161 производства ООО «Элемент-Преобразователь», имеют прижимную конструкцию, которая свободна от этого недостатка и была разработана в первую очередь для подвижного транспорта. Известно, что приборы прижимной конструкции имеют число циклов до отказа более 200. Различные варианты конструкции силовых диодов представлены в [5].

Итак, в феврале 2010 г. в лабораторию на исследование поступила партия диодов ДЛ161-200-12, предназначенная для поставки на одну из железных дорог Украины (рис. 1). Диоды были замаркированы товарным знаком, похожим на товарный знак ООО «Элемент-Преобразователь», но по целому ряду особенностей не соответствовали действующей на предприятии конструкторской документации. В частности, диоды были не лавинными и имели паяную конструкцию. Кроме того, значения импульсного прямого напряжения (U_{FM}) не соответствовали требованиям п. 6.9.2. «Руководства на ремонт выпрямительной установки при капитальном ремонте КР-1 и КР-2 тепловозов» от 16.05.1991 г. (первая группа диодов должна иметь значения импульсного прямого напряжения 1,11–1,16 В, вторая — 1,17–1,24 В).



Рис. 1. Элементы конструкции паяного и прижимного диодов типа ДЛ161

Применение диодов со значениями U_{FM} , отличающимися от требуемых, при ремонте выпрямителя приведет к ухудшению распределения токов между параллельно включенными ветвями выпрямителя, перегрузке отдельных ветвей и выходу выпрямителя из строя.

Диоды типа ДЛ161 паяной конструкции неизвестного производителя (без товарного знака) регулярно попадают на исследование в ООО «Элемент-Преобразователь». Предположительно, это изделия китайского производства. Все они имеют особенности, описанные выше, и являются потенциально ненадежными изделиями при их эксплуатации в жестких режимах работы.

В июле 2012 г. на исследование поступила большая партия диодов ДЛ161-200-16 с товарным знаком ОАО «Электровыпрямитель» (г. Саранск, Россия), которая также была предназначена для поставок на предприятия железнодорожного транспорта Украины. Диоды имели прижимную конструкцию, но не соответствовали упомянутым выше требованиям по значению U_{FM} . Более того, фактические значения U_{FM} не совпадали с теми, которые были нанесены на корпуса диодов. Все испытываемые образцы оказались не только не лавинными, но браком по обратному напряжению — они просто пробивались при подаче на них испытательного напряжения амплитудой 1500–1600 В. Продукция ОАО «Электровыпрямитель» всегда характеризовалась высоким уровнем качества. Поэтому очевидно, что исследуемые изделия были изготовлены не на этом предприятии и являются откровенной подделкой.

В последнее время появилось также большое количество поддельных полупроводниковых приборов таблеточной конструкции. С одной стороны, это объясняется желанием потребителя купить продукт по минимальной цене, с другой — выбросом на рынок дешевой китайской продукции под известными брендами. Так спрос и предложение нашли друг друга. Но с весьма плачевным итогом.

Диоды D163-4000-08 с товарным знаком ЗАО «Протон-Электротекс» (г. Орел, Россия), которые вышли из строя на одном из предприятий Луганска, поступили к нам на исследование в июле 2012 г. Маркировка диодов не соответствует принятой на ЗАО «Протон-Электротекс», обнаруженный на диодах товарный знак (рис. 2) действовал до 2006 г., а тогда приборы такой конструкции не выпускались. Латинская буква «D» в маркировке типа СПП производства РФ и Украины не применяется. Год выпуска и обозначение климатического исполнения в маркировке отсутствуют.

Вскрытие корпусов диодов показало, что их конструкция имеет существенный недостаток. Общеизвестно, что для обеспечения равномерного прижатия выпрямительного элемента к электродам корпуса применяются мягкие диски из серебряной или медной посеребренной фольги [5]. В рассматриваемых образцах диски отсутствуют, что существенно ухудшает качество теплоотвода от выпрямительного элемента. Следует заметить, что этот недостаток конструкции является типичным для СПП китайского производства. Объяснимое желание

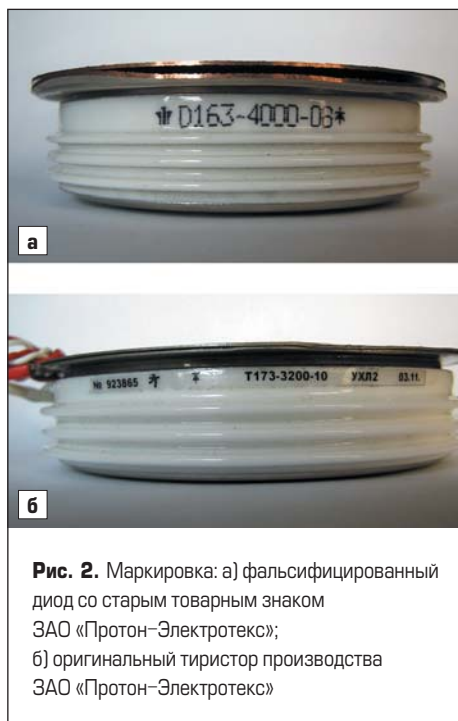


Рис. 2. Маркировка: а) фальсифицированный диод со старым товарным знаком ЗАО «Протон-Электротекс»; б) оригинальный тиристор производства ЗАО «Протон-Электротекс»

удешевить продукцию оборачивается потерей качества, в данном случае несоответствием исследуемых изделий маркировке по предельному току. В тиристорах Т253-1250-18 (товарный знак ЗАО «Протон-Электротекс» диски также отсутствовали (акт исследования от 15.08.12). В результате тиристоры не только имели завышенное значение импульсного напряжения в открытом состоянии, но и это значение изменялось после нагрева тиристоров и при каждом их зажатии во время испытаний. Аналогичные дефекты имели место у тиристоров с маркировкой Т253-1250-18 неизвестного производителя (без товарного знака) в корпусах с керамикой нетипичного сиреневого цвета, которые исследовались в декабре 2010 г. Кроме того, поддельные тиристоры, как правило, не имеют маркировки динамических параметров, что не соответствует требованиям стандартов и не характерно для продукции ОАО «Электровыпрямитель» и ЗАО «Протон-Электротекс».

Кроме фальсифицированной продукции, произведенной неизвестными умельцами и поставляемой потребителю под известными торговыми марками, рынок СПП наполнен изделиями, изготовленными еще во времена развитого социализма и перемаркированными под требования заказчика. Производители преобразовательной техники, желая приобрести дешевые комплектующие, иногда покупают прямо-таки музейные экспонаты. Так, в январе 2012 г. к нам обратилось запорожское предприятие, которому были предложены для приобретения тиристоры с маркировкой Т143-630-16 и товарным знаком ОАО «Электровыпрямитель». Но тиристоры по конструкции корпусов являются устаревшими, предположительно чешского производства, выпущенными до 1980 г. ОАО «Электровыпрямитель» в таких корпусах тиристоры не выпускало. У изделий было значительно повреждено гальванопокрытие контактных поверхностей, что предположительно обусловлено длительной эксплуатацией об-

разцов. По результатам измерений тиристоры забракованы по импульсному напряжению в открытом состоянии (U_{TM}). Характерной особенностью являются очень большие значения порогового напряжения $U_{T(T0)}$ как при комнатной температуре, так и в горячем состоянии. Предположительно, исходя из измеренных сочетаний параметров и внешнего вида исследуемых образцов, фактически на испытания были представлены частотные тиристоры устаревшего типа TV967F-500 производства Polovodice (Чехословакия) с фальсифицированной маркировкой. По сравнению с низкочастотными тиристорами они, кроме завышенных значений U_{TM} (по справочнику — до 2,5 В, а Т143-630 — не более 1,65 В), имеют меньшее значение ударного тока (не более 7 кА) и завышенное тепловое сопротивление (0,034 °С/Вт). Естественно, что их применение вместо низкочастотных тиристоров Т143-630 недопустимо.

Массовым выходом из строя закончилось для одного из машиностроительных заводов Украины приобретение тиристоров типа Т173-3200-8 (рис. 3). Тиристоры действительно были произведены на ОАО «Электровыпрямитель» и замаркированы товарным знаком этого предприятия. Но маркировка, нанесенная на липкой прозрачной ленте, никогда не применялась этим предприятием. Дата выпуска 02.11, нанесенная на маркировке, явно не соответствовала истине, так как тиристоры в корпусах с керамикой розового цвета «Электровыпрямитель» не выпускал примерно с 2000 г. Более того, в ходе испытаний было установлено, что значение U_{TM} тиристоров превышает 2,5 В (норма по техническим условиям — не более 1,5 В), а повторяющиеся напряжения составляют более 3 кВ. Иными словами, предприятию вместо низковольтных сильноточных тиристоров были поставлены очень старые высоковольтные с фактическим предельным током менее 1600 А.

Следует также заметить, что применение старых полупроводниковых приборов, бывших в эксплуатации и выработавших свой ресурс, является крайне нежелательным, так как сопряжено с риском возникновения аварии даже в ненагруженных режимах эксплуатации. Механизмы старения полупроводниковых приборов рассматривались в огромном количестве литературы, поэтому отметим только, что длительная эксплуатация СПП приводит, в первую очередь, к возрастанию обратных токов и токов



Рис. 3. Фальсифицированная маркировка тиристора Т173 производства ОАО «Электровыпрямитель», выполненная прозрачной липкой лентой (дата на маркировке 02.11, а фактически тиристор произведен не позднее 2000 г.)

утечки вследствие старения пассивирующего кремнийорганического компаунда и ухудшения его адгезии с фаской. У старых СПП прижимной конструкции, кроме того, наблюдается значительное увеличение импульсного напряжения в открытом состоянии, обусловленное окислением контактных поверхностей выпрямительного элемента с внутренними плоскостями корпуса. Другими словами, устанавливая в изделие образцы тиристоров, изготовленные 20 лет назад, потребитель фактически применяет СПП с меньшим номинальным током, более низкого класса по повторяющемуся напряжению, с нестабильными параметрами и низкой надежностью.

Еще одним семейством СПП, которое регулярно подделывают, являются силовые полупроводниковые модули. Высокая монтажная готовность и наличие гальванической развязки между корпусом и внутренними соединениями обеспечили популярность этим изделиям. А там, где есть спрос, есть и предложение фальсификата. Например, не так давно в Украине было невозможно приобрести настоящий модуль на быстродействующих частотных диодах фирмы IXYS типа MEE 75-12 DA. Зато ряд торгующих организаций предлагал подделку, в которой вместо быстродействующих эпитаксиальных диодов (FRED) с временем обратного восстановления $t_{rr} = 0,25$ мкс были смонтированы обычные низкочастотные диоды со значением t_{rr} , равным 4–5,5 мкс.

По нашему мнению, проблема подделки тесно переплетается с применением модулей китайского производства, которые формально подделкой и не являются. Просто фирмы, торгующие этими изделиями, создают у потребителей мнение, что это не «просто Китай», а модули, изготовленные в Китае по лицензии и на оборудовании известной западной фирмы, вплоть до SEMIKRON. Часть таких модулей была нами исследована.

Наибольшей популярностью у китайских производителей СПП пользуются модули SKKT90 (ООО «Элемент-Преобразователь» выпускает его аналог МТТ4/3-100). Подлинные модули фирмы SEMIKRON являются высококачественными изделиями, безупречными как по конструкции, так и по электрическим параметрам. А их многочисленные подделки выглядят, как правило, следующим образом. Например, в июле 2011 г. исследовались модуль с маркировкой SKKT92-800 и модуль SKKT172-800 (маркировка типа, принятая для модулей SEMIKRON, но товарный знак фирмы отсутствует). Модули изготовлены в 2011 г., по информации от потребителя этих модулей — в Китае. Электрические параметры практически соответствовали требованиям для модулей этих типов. Но тепловые сопротивления обоих элементов модуля SKKT90 завышены примерно в два раза, что делает предельный ток модуля равным примерно 40 А, а не 90 А, как указано в маркировке. В результате вскрытия модулей было установлено, что в них использованы круглые выпрямительные элементы со смещенным управляющим электродом, причем область управления выпрямительных элементов обоих модулей выполнена без реге-

нерации. Такая конструкция выпрямительных элементов у ведущих фирм не используется с середины 70-х гг. В оригинальных модулях фирмы SEMIKRON, выпускаемых в настоящее время, применяются только выпрямительные элементы квадратной формы (чипы), монтаж которых производится на автоматизированном оборудовании. В исследуемых модулях пайка элементов выполнена кустарно, видимо, вручную. Слой защитного геля отсутствует. Защитный компаунд нанесен очень тонким слоем. Этого недостаточно для обеспечения защиты выпрямительных элементов от климатических воздействий в течение срока службы.

Следует отметить, что завышенные значения теплового сопротивления являются типичным недостатком модулей китайского производства. Например, нами исследовались модули известной китайской фирмы Guerte с маркировкой МТС25-12, МТС70-12, МТС90-08, МТС160-08 и МТС250-08, изготовленные в 2012 г. Тепловые сопротивления всех устройств, кроме одного образца, завышены примерно в полтора раза, что делает фактические значения предельного тока модулей заниженными по сравнению с маркировкой. Кроме того, при нагреве МТС250 из щелей в его корпусе обильно выделялся заливочный гель. Иными словами, приобретая такое изделие в полтора раза дешевле, потребитель практически ничего не экономит. Ведь он приобретает модуль с предельным током меньше в полтора раза, который и должен стоить существенно меньше.

В журнальном варианте статьи мы не останавливаемся на многочисленных случаях подделки маломощных СПП. Более полный вариант работы будет приведен на сайте www.element.zp.ua.

Не утомляя читателя дальнейшим перечислением примеров исследования фальсификата, хочется отметить, что естественное желание приобрести дешевые комплектующие, как правило, оборачивается риском покупки подделки. Опыт показывает, что все поддельные изделия по сравнению с оригиналом имеют упрощенную конструкцию и ухудшенные основные параметры, что делает их потенциально ненадежными. Качественные СПП не могут изготавливаться по бросовым ценам, так как их стоимость в первую очередь определяется высокой ценой качественных материалов — высокоомного кремния, бескислородной меди, химических материалов с квалификацией качества ОСЧ, особо чистыми алюминием, серебром, родием и т. д. Существенную долю стоимости изделия составляют также его испытания. В процессе изготовления каждый образец проходит через межоперационный контроль параметров, определятельные испытания и, наконец, приемно-сдаточные испытания. Кроме того, для контроля качества изделий проводятся периодические испытания и испытания на безотказность, объем которых регламентирован стандартами и требует применения большого количества специализированного весьма дорогого оборудования. Нужно отдавать себе отчет в том, что входной контроль у потребителя, ограниченный либо проверкой блокирующей способности цепи анод–катод

с помощью мегаомметра, либо проводимый по принципу «включил — работает», не в состоянии дать какую-либо объективную оценку надежности приобретенных «подешевле» полупроводниковых приборов.

Естественно, что при покупке невероятно дешевого изделия обе стороны, и продавец, и покупатель, понимают, что работают с недоброкачественным товаром. Поэтому остается только удивляться безответственности первых и легкомыслию вторых. Хотя вряд ли те и другие согласились бы ездить на автомобилях с контрафактными тормозными колодками или использовать поддельную подушку безопасности.

Реально удешевить преобразовательную технику без риска приобретения ненадежных полупроводниковых приборов можно только путем заключения долгосрочных контрактов непосредственно с производителем СПП или с его официальными представителями. В этом случае потребитель, приобретая качественный товар по цене производителя, получает и определенные гарантии, и техническое сопровождение конструкторской службы предприятия-изготовителя. Если же партия тиристоров приобретена не у их изготовителя, определить фальсификат можно по внешнему виду изделий, соответствию маркировки требованиям стандарта, состоянию сопроводительной документации (паспорта или этикетки). Подтверждение подлинности приборов можно получить у их изготовителя, тем более что ЗАО «Протон-Электротекс» и ООО «Элемент-Преобразователь» (для мощных приборов на токи более 160 А) присваивают своим изделиям порядковые номера, по которым можно восстановить историю производства исследуемого образца. По мнению авторов, действенным методом борьбы с фальсификатом было бы обязательное включение в состав эксплуатационной документации на преобразовательное устройство сведений, подтверждающих подлинность основных комплектующих, в том числе СПП. Например, комплектовать эксплуатационную документацию паспортами, этикетками или сертификатами на изделия. Более того, ведущие производители СПП снабжают изделия протоколами приемно-сдаточных испытаний, которые также могли бы входить в комплект поставки преобразователя. Для производителя преобразователей это было бы удачным маркетинговым приемом, а для потребителей — гарантией надежной работы изделия. ■

Литература

1. Акимов Е. Г. Проблема подделок на рынке электротехники. www.ielectro.ru.
2. Бреш В. Оригинал или подделка? Выявление источника всех зол. <http://www.proton-electrotex.com/ru/articles>.
3. Диоды лавинные типов ВЛ10, ВЛ25, ВЛ50, ВЛ200, ВЛ5-200, ВЛ320. Информационный каталог. М.: Информэлектро. 1979.
4. Бардин В. М. Надежность силовых полупроводниковых приборов. М.: Энергия. 1978.
5. Евсеев Ю. А., Дерменжи П. Г. Силовые полупроводниковые приборы. М.: Энергоиздат. 1981.