

# Первый международный стандарт на твердотельные реле (IEC 62314, Ed. 1): критический обзор

Владимир ГУРЕВИЧ,  
к. т. н.  
vladimir.gurevich@gmx.net

## Введение

Твердотельные полупроводниковые реле появились на рынке в 70-х годах прошлого столетия и за прошедшие десятилетия получили широкое распространение во многих областях техники. Поскольку по принципу действия и внутреннему устройству они существенно отличаются от традиционных электромеханических реле, то естественно, что стандарты на электромеханические реле мало подходят для этого класса реле. Тем более странно, что международный стандарт, специально написанный для твердотельных реле (IEC 62314 Solid-state relays), впервые появился лишь в 2006 году. Целью данной публикации является критический анализ требований первой редакции стандарта IEC 62314:2006.

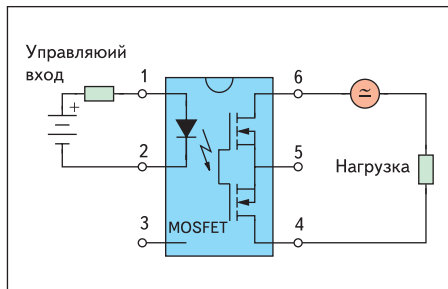


Рис. 1. Принципиальная схема твердотельного реле на MOSFET-транзисторе, предназначенного для коммутации и переменного, и постоянного тока

Стандарты Международной Электротехнической Комиссии (МЭК) являются важнейшими документами, регулирующими международную техническую политику, а также техническую политику отдельных стран, национальные стандарты которых написаны на основе стандартов МЭК. Поэтому любые неточности, недомолвки или нечеткие формулировки в стандартах МЭК могут привести к очень серьезным последствиям. (Standards of International Electrotechnical Commission (IEC) are the major documents regulating the international technical policy, and also a technical policy of the many countries which national standards are written on the basis of IEC standards. Therefore any mistakes, discrepancies, and indistinct formulations in the IEC standards can lead to very serious consequences. The purpose of the given publication is the critical analysis of requirements of the first edition of standard IEC 62314:2006.)

## Предмет и область применения стандарта

В данном разделе указываются ограничения на область применения стандарта. Согласно стандарту, эта область ограничивается твердотельными реле с номинальным напряжением 750 В и переменным током 160 А. В примечании указывается, что требования на твердотельные реле с выходом постоянного тока находятся в разработке. Уже одно только это примечание вызывает недоумение: зачем нужно было выпускать в обращение стандарт на твердотельные реле, заведомо покрывающий лишь малую толику таких реле, имеющих на рынке? Кроме того, многие типы твердотельных реле с выходным элементом в виде двух мощных MOSFET-транзисторов могут коммутировать и переменный, и постоянный ток (рис. 1).

Да и сам стандарт (в примечании к п. 3.1.8) допускает возможность работы некоторых полупроводниковых реле и на переменном, и на постоянном токе. Получается абсурдная ситуация, когда стандарт IEC 62314 охватывает одну половину такого реле, а другую половину — нет. Неясно также, о каких значениях тока и напряжения идет речь, поскольку для полупроводниковых приборов обычно указывают амплитудные значения, в то время как для обычных электромеханических реле — чаще действующие значения. Такие вольности в международном стандарте, по нашему мнению, недопустимы.

Далее отмечается, что стандарт рассматривает твердотельные реле как отдельный компонент, предназначенный для встраивания в другое оборудование, а не как отдельное устройство, то есть твердотельное реле не предназначено для выполнения прямых функций, и поэтому требования по электромагнитной совместимости в стандарте не рассматриваются. По нашему мнению, это весьма спорное суждение. Во-первых, очень часто твердотельные реле используются для прямого включения электродвигателей, нагревательных элементов, осветительных ламп и т. п. При этом все оборудование как раз и состоит из этого самого реле и нагрузки, а устойчивость к электромагнитным воздействиям полностью определяется устойчивостью к ним лишь самого твердотельного реле, а не каких-то других элементов. Во-вторых, само по себе даже простое твердотельное реле содержит большое количество сложных встроенных электронных компонентов: светоизлучающих диодов, фотодиодов или фототранзисторов, электронных усилителей и триггеров, схем синхронизации с сетью, элементов защиты от перенапряжений и т. д., что характеризует скорее устройство, а не элемент. В-третьих, сегодня на рынке появились так называемые «интеллектуальные» твердотельные реле с расширенными функциями, снабженные сложной электроникой, а иногда даже и микропроцессором. По вышеперечисленным причинам, по нашему мнению, требования по электромагнитной

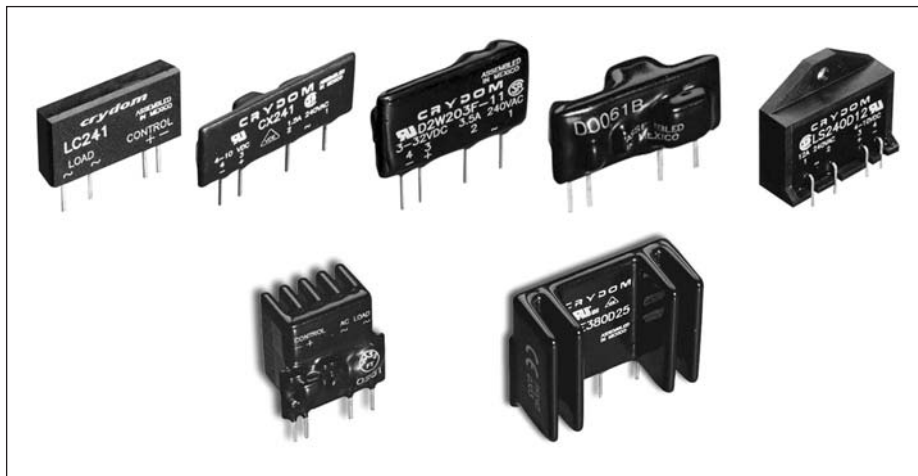


Рис. 2. Твердотельные реле фирмы Crydom с монолитной структурой

совместимости обязательно должны быть включены в стандарт на такие относительно сложные электронные устройства, как твердотельные реле.

Стандарт исключает из рассмотрения твердотельные реле с монолитной структурой, однако не объясняет, что именно понимается под «монолитной структурой».

Кроме того, определение «твердотельному реле», данное в п. 3.1.1 (анализ этого определения приведен ниже), вовсе не исключает наличие монолитной структуры у твердотельного реле. Более того, термины «твердотельное» и «монолитное» являются почти синонимами. Такое совершенно неопределенное ограничение области применения стандарта является, по нашему мнению, недопустимым. В качестве примера можно привести твердотельные реле широко известной компании Crydom, уже много лет специализирующейся на выпуске таких реле (рис. 2), которые представляют собой монолитные структуры, опресованные пластмассой или залитые эпоксидным компаундом. В некоторых случаях в единый монолит интегрирован также и радиатор. Согласно стандарту IEC 62314, получается, что эти реле не подпадают под его область действия только потому, что они «замоноличены» в эпоксидный компаунд? Какая в этом логика, непонятно.

Стандарт исключает из рассмотрения полупроводниковые контакторы, но не дает ни-

какого определения термину «контактор». Однако без четкого определения отличий между реле и контактором невозможно установить, распространяется ли действие данного стандарта на то или иное конкретное изделие. В результате проведенного нами анализа удалось установить, что на сегодняшний день не существует четких границ между контактором и реле и четких определений, позволяющих однозначно и определенно отнести тот или иной конкретный коммутационный аппарат к контакторам или к реле. Скорее наоборот, в технической литературе сегодня существует полный произвол в присвоении названий «реле» или «контактор». По какому критерию, например, мировой лидер в области электротехники концерн ABB отнес часть своих твердотельных коммутационных аппаратов к категории «реле», а другую часть — к категории «контакторы» (рис. 3)?

Единственное принципиальное отличие, которое нам удалось обнаружить, анализируя технические параметры этих двух групп изделий, — то, что контакторы выпускаются укомплектованными радиаторами, а реле — без них (что, правда, не освобождает потребителя от необходимости самостоятельно приобретать радиаторы и монтировать на них реле). Выходит, твердотельный контактор — это то же твердотельное реле, но установленное на радиаторе? На одном из англо-



Рис. 3. Полупроводниковые контакторы и твердотельные реле компании ABB



Рис. 4. Твердотельное реле, установленное на радиаторе — это уже не реле, и на него уже не распространяется действие стандарта IEC 62314?

язычных интернет-сайтов нам удалось найти абсолютно однозначное подтверждение этой догадки. Однако принятие такого критерия, как отсутствие или наличие радиатора, для отнесения коммутационного аппарата к реле или к контактору нам представляется полным абсурдом (рис. 4). Кроме того, следует иметь в виду, что при номинальных токах 10 и более ампер любой полупроводниковый коммутационный аппарат (как контактор, так и реле) требует наличия радиатора. Без радиатора эти аппараты способны пропускать лишь небольшую часть номинального тока.

Таким образом, при отсутствии четко определенной границы между «контактором» и «реле» остается совершенно непонятным, на какие же именно изделия распространяется действие стандарта, тем более что установленная в стандарте верхняя граница токов (160 А) характеризует скорее контакторы, нежели реле. Если такую границу установить не представляется возможным, то данный пункт, ограничивающий область применения стандарта, должен быть исключен.

### Термины и определения

В п. 3.1.1 стандарта приведено определение термину «твердотельное реле». Согласно стандарту, это электрическое реле, реагирующее на воздействие, произведенное электронными, магнитными, оптическими или другими компонентами без механического перемещения. В общем случае любое электрическое реле имеет входной чувствительный элемент, реагирующий на то или иное входное воздействие, и выходной исполнительный элемент, производящий переключения во внешней цепи. В обычном электромеханическом реле это катушка с магнитной системой и контакты. В твердотельном реле это входная цепь управления и выходной полупроводниковый коммутационный элемент.

Как видно из определения, данного в стандарте, в нем оговаривается только принцип построения цепи управления (которая не должна содержать подвижных элементов) и никак не характеризуется силовая цепь, то есть цепь коммутации. Поэтому под определение, данное в стандарте, подходит, например, фотореле, состоящее из полупроводникового датчика, полупроводникового уси-

лителя и выходного электромагнитного реле. С другой стороны, хорошо известна конструкция реле, в корпусе которого (заполненном эпоксидным компаундом) помещен полупроводниковый коммутационный элемент (тиристор, транзистор), цепь управления которого образована герконом. Катушка управления этого геркона образует магнитную цепь управления реле. Реле на таком принципе хорошо известны и широко применяются [1, 2]. Но геркон содержит подвижные элементы, и, стало быть, такое устройство не может быть названо «твердотельным реле», несмотря на то, что оно удовлетворяет абсолютно всем требованиям стандарта IEC 62314 за исключением определения самого термина «твердотельное реле».

По нашему мнению, определение термина «твердотельное реле» представлено в стандарте IEC 62314 некорректно и требует пересмотра с ориентацией на «твердотельный» характер выходного элемента, осуществляющего коммутацию внешней цепи, а не на конструкцию цепи управления.

В п. 3.1.4 стандарта дано определение термина «номинальное изоляционное напряжение» как «значения напряжения, для которого оговариваются диэлектрические испытания и минимальные расстояния по поверхности изоляционного материала между двумя электропроводными частями». По нашему мнению, это весьма странная и ничего, по сути, не определяющая формулировка. При определении термина «изоляционное напряжение» должны быть совершенно четко и недвусмысленно оговорены цепи, к которым это напряжение относится (прикладывается). Для твердотельного реле под изоляционным напряжением обычно принято понимать напряжение между входными цепями управления и выходными цепями коммутации, включенными в цепь нагрузки, а также напряжение между металлической поверхностью корпуса реле, предназначенной для соприкосновения с внешним радиатором, и всеми остальными токопроводящими выводами реле. По нашему мнению, именно такое определение было бы правильным для рассматриваемого термина.

В п. 3.1.5 стандарта приводится определение термина «номинальное импульсное выдерживаемое напряжение» как «амплитудного значения напряжения заданной формы и полярности, которое твердотельное реле способно выдержать без повреждения при заданных условиях испытания, для которых оговариваются минимальные расстояния по поверхности изоляционного материала между двумя электропроводными частями». И опять, как и в предыдущем случае, не определено, о каких цепях реле, к которым применим данный термин, идет речь. Дело в том, что в твердотельном реле имеется несколько независимых изолированных друг от друга цепей, к которым может быть применен термин «импульсное выдерживаемое напряже-

ние», причем эти цепи имеют существенно различающийся уровень изоляции, а следовательно, и выдерживаемого напряжения, что делает совершенно неопределенным этот термин. Например, в твердотельном реле типа R111/25 (с номинальным рабочим напряжением 280 В переменного тока) выдерживаемое импульсное амплитудное значение напряжения на выводах коммутационного элемента может достигать 650 В, а между цепью управления и цепью коммутационного элемента — 4000 В. В маломощном твердотельном реле типа H11D1 выдерживаемое импульсное амплитудное значение напряжения на выводах коммутационного элемента может достигать 300 В, а между цепью управления и цепью коммутационного элемента — 7500 В. Так что же такое в данном случае, например, номинальное импульсное выдерживаемое напряжение?

В п. 3.1.6 стандарта дается определение термина «номинальный рабочий ток» как нормальному рабочему току, который протекает через твердотельное реле во включенном (открытом) состоянии при учете номинального рабочего напряжения, номинальной частоты, категории нагрузки и перегрузочной характеристики при температуре среды 40 °С, если иное не оговорено. В этом определении, в первых, непонятно, что такое «нормальный» ток и какой ток является «ненормальным»? Во-вторых, какое отношение к току, протекающему через включенное (то есть с выходной коммутационной цепью, находящееся в проводящем состоянии) реле имеет рабочее напряжение, которое было приложено к выходной цепи реле перед его включением. Ведь после включения (отпирания) реле ни о каком рабочем напряжении не может быть и речи, поскольку во включенном состоянии на коммутационном элементе остается лишь небольшое падение напряжения, составляющее доли/единицы вольта (в зависимости от протекающего тока). В-третьих, как известно из теории силовых полупроводниковых приборов, единственным критерием, ограничивающим протекание через него установившегося значения тока, является температура его внутренней структуры, которая, в свою очередь, зависит от наличия или отсутствия радиатора, вида охлаждения (естественное, воздушное принудительное, водяное и т. д.). В связи с изложенным нам представляется более правильным такое определение «номинального рабочего тока»: это максимальное действующее значение тока в установившемся режиме, длительно протекающего через коммутирующий элемент реле, при котором температура его внутренней структуры не превосходит максимально допустимой для данного типа и материала полупроводниковой структуры с учетом данного типа радиатора и данного вида охлаждения при температуре внешней окружающей среды 40 °С.

В связи с изложенным абсолютно непонятно, что такое «номинальный непрерываемый

ток» твердотельного реле, указанный в п. 3.1.7 стандарта как «значение тока, определенное производителем, который твердотельное реле может проводить в непрерывном цикле». А разве «номинальный рабочий ток» из п. 3.1.6 реле не может проводить в непрерывном цикле? Но в чем тогда разница между этими двумя токами?

В п. 3.1.11 стандарта вводится понятие «номинальный условный ток короткого замыкания», которое трактуется как «значение ожидаемого тока, установленного производителем, которое твердотельное реле, защищенное устройством защиты от короткого замыкания указанным производителем, может выдержать в течение времени работы этого устройства при условиях испытания, указанных в соответствующих производственных стандартах». Это определение даже не хочется комментировать, поскольку трудно сдержаться, чтобы не назвать его резким словом, которое оно заслуживает.

Определение для «тока утечки» представлено в п. 3.1.12 как «действующее значение максимального тока, установленного производителем, которое твердотельное реле может проводить в выключенном состоянии». Поскольку ток утечки в сильной степени зависит от приложенного к реле напряжения и его температуры, то, по нашему мнению, это определение следовало бы дополнить словами: «...при максимальном рабочем напряжении и максимально допустимой температуре окружающей среды».

Также требует дополнений и уточнений определение термина «падение напряжения во включенном состоянии», которое трактуется в п. 3.1.13 как «амплитудное значение напряжения, указанное производителем, между выводами твердотельного реле во включенном состоянии». Какими именно выводами, ведь у твердотельного реле есть как минимум выводы цепи управления и выводы силового коммутирующего элемента? Падение напряжения на включенном (открытом) коммутационном элементе твердотельного реле определяется физическими свойствами самого этого коммутационного элемента и током, протекающим через него. К сожалению, в приведенном определении напрочь отсутствует всякая связь падения напряжения с током, для которого это падение напряжения оговорено, что делает термин совершенно неопределенным и непригодным для практического использования.

В п. 3.2.3 и 3.2.5 раздела «Термины и определения» дается объяснение двум терминам: «функциональная изоляция» и «базовая изоляция», которые далее используются в стандарте. Согласно приведенным в стандарте разъяснениям, «функциональной» является изоляция, необходимая только для правильного функционирования реле, а «базовой» является изоляция, предотвращающая поражение электрическим током. Совершенно очевидно, что одна и та же изоляция может

быть и базовой, и функциональной в зависимости от конкретного применения реле. Так, например, если реле используется для гальванической развязки разнопотенциальных цепей аппаратуры, то при этом изоляция между цепью управления и выходной цепью коммутирующего элемента реле не имеет никакого отношения к безопасности человека и является чисто функциональной, тогда как в других случаях применения реле именно она является базовой. Таким образом, определить вид изоляции реле в общем случае, то есть без привязки к конкретному его применению, и устанавливать различные требования к электрической прочности изоляции реле только по этим заранее детерминированным определениям нельзя. Но тогда зачем вообще нужны эти термины?

В п. 3.2.4 вводится термин «твердая изоляция» и дается такое толкование этому термину: «твердый изоляционный материал между двумя проводящими частями». Этому определению соответствуют оба приведенных на рис. 5 примера, но оба ли они соответствуют термину «твердая изоляция» — весьма сомнительно, так как свойства этой изоляции для одного и того же изоляционного материала будут совершенно разными. Непонятно, зачем вообще нужно было специально вводить этот термин в стандарт и давать ему специальное толкование.

Заканчивая рассмотрение раздела «Термины и определения», необходимо подчеркнуть, что наряду с большим количеством специально придуманных для данного стандарта и далеко не всегда корректных терминов в стандарте не применяется терминология, широко распространенная для силовых полупроводниковых приборов (каковыми, собственно, и являются выходные коммутирующие элементы твердотельных реле). Речь идет о таких терминах, как повторяющееся (неповторяющееся) импульсное напряжение в закрытом состоянии, ток удержания, ударный неповторяющийся ток в открытом состоянии, критическая скорость нарастания тока в открытом состоянии, критическая скорость нарастания напряжения в закрытом состоянии, мощность потерь в открытом состоянии, время включения и выключения, минимальный ток нагрузки и т. д. Такое ничем не оправданное изобретательство в области терминологии и полное игнорирова-

ние давно устоявшейся и широко применяемой терминологии отнюдь не делает чести авторам стандарта, а лишь вызывает недоумение и разочарование.

### Характеристики твердотельного реле

Не затрагивая повторно тех терминов, которые мы уже рассмотрели выше, но которые вновь повторяются в данном разделе стандарта, обратимся лишь к новым терминам и новым характеристикам твердотельных реле, предлагаемым в стандарте. Так, в разделе 4.4 вводится совершенно новая система категорий электрических нагрузок, не существовавшая ранее и предназначенная для использования только в данном стандарте. При этом полностью игнорируется существующая и широко используемая на практике система классификации нагрузок по категориям применения (Utilization Categories), охватывающая все возможные типы электрических нагрузок. По нашему мнению, такой подход, когда для каждого нового стандарта изобретается новая система классификаций и полностью игнорируется существующая система, является совершенно неприемлемым, и поэтому стандарт в этой части должен быть полностью переработан и возвращен в систему действующих стандартов.

В п. 4.3 вводится термин «профиль тока перегрузки», который трактуется в п. 3.1.9 как «токо-временные координаты для контролируемого тока перегрузки», а в п. 4.3 определяется как «множитель к номинальному рабочему току и представляет максимальное значение номинального рабочего тока в режиме рабочей перегрузки». И далее: «Установленные сверхтоки, не превышающие десяти циклов промышленной частоты, которые могут превысить установленные значения таблицы 4, игнорируются для профиля токовой перегрузки». И наконец, в таблице 4 приводятся кратности тока перегрузки и напряжения перегрузки для «изобретенных» специально для данного стандарта категорий нагрузок. В настоящее время все эти мало-вразумительные словосочетания в технической документации на твердотельные реле отражены двумя четкими, понятными и привычными для разработчиков аппаратуры параметрами:

- ударный неповторяющийся ток в открытом состоянии, приводимый обычно для длительности протекания в течение половины или целого периода частоты 50 или 60 Гц ( $I_{TSM}$ );
  - защитный показатель ( $I^2t$ ).
- Эти параметры и должны быть, по нашему мнению, приняты в стандарте для характеристики перегрузочной способности твердотельных реле.

В п. 4.5 вводятся такие характеристики, как «номинальное напряжение цепи управления» и «номинальное напряжение источника пи-

тания цепи управления». В пояснении к этому пункту говорится, что разница между этими двумя напряжениями может иметь место вследствие встроенного в цепь управления трансформатора, выпрямителя и других встроенных во внутреннюю цепь управления реле вспомогательных элементов, на которых может создаваться дополнительное падение напряжения. Введение двух таких параметров и данное по этому поводу объяснение вызывает лишь недоумение: кому и с какой целью нужно знать о разностях напряжений между внутренними элементами схемы твердотельного реле? Информация такого рода нам представляется совершенно бессмысленной и даже вредной, так как лишь запутывает потребителя.

В этом же п. 4.5 вводятся такие термины, как «управляющее напряжение включения» и «управляющее напряжение выключения». О том, что такое «напряжение выключения», можно лишь строить догадки. Введение этих терминов считаем совершенно неоправданным, поскольку в технической документации на твердотельные реле используется такой показатель, как «управляющее напряжение», которое задается в виде интервала напряжений, например: 3–32 В постоянного тока. Этот показатель всем понятен и удобен для пользователя.

### Маркировка и документация

В таблице 2 раздела «Маркировка и документация» приведен перечень технических параметров, обязательных для указания производителем непосредственно на самом реле или в технической документации. Эта таблица содержит множество параметров, которые уже критиковались выше, и не содержит множество важнейших параметров, о которых уже тоже упоминалось. Обращает на себя внимание лишь новый параметр: «максимальный интеграл безопасности нагрузки —  $I^2t$ », который появился в стандарте впервые и не рассматривался ранее ни в разделе 3 «Термины и определения», ни в разделе 4 «Характеристики твердотельного реле». Требование о включении в техническую документацию параметра, ранее не упоминаемого в стандарте, считаем недопустимым.

### Требования к конструкции

В п. 7.1 следующим образом сформулировано требование к материалам, используемым в реле: «Максимальная допустимая температура внутренних материалов, используемых в твердотельном реле, не должна превышать их безопасные рабочие пределы, которые должны быть подтверждены при проверке согласно п. 7.3...» Данная формулировка, по нашему мнению, ошибочна: из текста должно быть исключено слово «допустимая», придающее этой формулировке противоположный смысл.

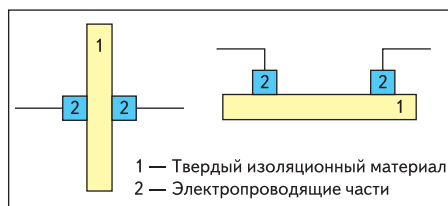


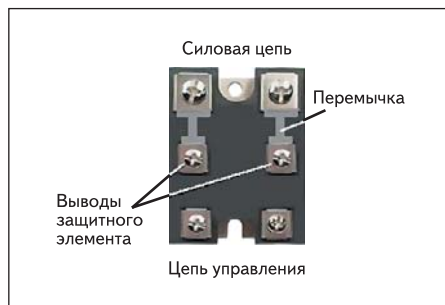
Рис. 5. Два варианта взаимного расположения электропроводящих частей и твердого изоляционного материала с весьма отличающимися диэлектрическими свойствами



## Испытания

В п. 8.2.1 а.2 указывается, что при испытаниях на перегрузочную способность твердотельное реле, использующее устройство токовой отсечки в дополнение к защите от сверхтоков, то есть от перегрузки во включенном состоянии, должно испытываться вместе с этим устройством токовой отсечки. Иными словами, если твердотельное реле используется в конкретной электроустановке вместе с защитным автоматическим выключателем (автоматом), то оно должно испытываться на перегрузочную способность вместе с этим автоматом. Но ведь в таком случае испытанию будет подвергаться не твердотельное реле, а защитный автомат. Возникает вопрос — кому нужны такие испытания?

Как уже отмечено выше, ни в одном из требований стандарта, относящихся к испытаниям повышенным напряжением, не указаны цепи (точки), между которыми должно прикладываться испытательное напряжение. Это неверно и требует исправления. Однако это будет лишь частичным решением проблемы. Более сложной, на наш взгляд, представляется проблема испытания повышенным напряжением, прикладываемым к клеммам силового коммутирующего элемента. Проблема заключается в том, что во многих конструкциях твердотельных реле имеются встроенные во внутреннюю структуру элементы для защиты от перенапряжений (чаще всего варисторы), которые, естественно, имеют более низкие пороги срабатывания,



**Рис. 6.** Предлагаемая конструкция твердотельного реле с выведенными наружу выводами защитного элемента, подключаемого к клеммам силовой цепи посредством съемных перемычек

чем защищаемый ими объект, то есть коммутирующий элемент твердотельного реле. При этом кратковременное (импульсное) повышение напряжения на выходных клеммах реле при испытаниях приведет к срабатыванию этого защитного элемента, а длительное (например, в течение одной минуты) повышение напряжения при испытаниях приведет к сгоранию защитного элемента. Таким образом, получается, что провести нормальные испытания повышенным напряжением выходной цепи твердотельного реле просто невозможно. Выходом из этой ситуации было бы изменение принципа подключения защитного элемента к выходным клеммам реле, при котором этот элемент мог бы отключаться на время испытаний за счет снятия соответствующих перемычек (рис. 6). Такое

изменение конструкции реле позволило бы решить проблему испытаний и должно, по нашему мнению, войти в стандарт как обязательное требование к конструкции твердотельного реле.

## Выводы

Силовые полупроводниковые приборы и твердотельные реле появились задолго до стандарта IEC 62314 и существуют на рынке уже не один десяток лет. За это время сложилась четкая и понятная специалистам система терминов и обозначений, используемая всеми производителями. Попытка полностью проигнорировать сложившуюся систему и ввести в обращение совершенно новую систему, связанную только с одним-единственным новым стандартом, представляется совершенно неоправданной и вредной.

Количество ошибок, нечетких определений и отсутствие связей с существующими стандартами делает, по мнению автора, невозможным использование стандарта IEC 62314 в существующей редакции. Требуется его полная переработка с учетом приведенного в данной статье анализа. ■

## Литература

1. Gurevich V. Protection Devices and Systems for HV Applications. New York: Marcel Dekker, 2003.
2. Gurevich V. Electric Relays: Principles and Applications. Boca Raton — New York — London: CRC Press (Taylor & Francis Group), 2005.