

Отечественным твердотельным реле – быть!

С каждым годом твердотельные реле завоевывают все большую популярность у разработчиков и производителей систем промышленной автоматики и бытовой техники и практически все современные устройства выпускаются с применением твердотельных реле. Однако в России ситуация развивается совершенно иначе. У отечественных разработчиков твердотельные реле не нашли соответствующего признания. Эта статья посвящена анализу этих проблем и попытке пропаганды твердотельных реле для отечественных производителей, тем более что сегодняшний уровень развития технологии и конструкции этих изделий позволяет выпускать отечественные приборы, по качеству и параметрам не уступающие лучшим зарубежным образцам.

Сергей Волошин

voloshin@orel.ru

Твердотельное реле (solid state relay), оптоэлектронное реле, полупроводниковое реле — этими терминами обозначается большой класс модульных полупроводниковых приборов, выполненных по гибридной технологии, содержащих в своем составе мощные силовые ключи на полевых, биполярных, IGBT-транзисторах или на тиристорных (симисторных) структурах, а также оптронную схему управления. Эти устройства сокращенно называют ТТР (SSR), так как они с успехом могут использоваться для замены традиционных электромагнитных реле во многих случаях. Низковольтная часть реле с оптронной схемой выполняет роль катушки обычного электромагнитного реле, а высоковольтный полупроводниковый ключ подобен силовым контактам электромагнитного реле. Оптронная схема обеспечивает электрическую изоляцию между управляющей и силовой частью до нескольких тысяч вольт. Появившись в 70-е годы прошлого века, эти приборы прошли большой путь развития. Первые из них были выполнены на биполярных транзисторах и были относительно маломощными. Впоследствии с развитием тиристорных приборов, полевых, а затем и IGBT-транзисторов появлялись все более мощные приборы для работы в сетях с высоким напряжением (до 1200 В пикового значения), что соответствовало тенденциям развития электротехнических систем. Выпускаемые в настоящее время промышленностью приборы этого класса можно разделить на несколько базовых типов:

1. Маломощные приборы в корпусах DIP с рабочими токами менее 1 А.
2. Приборы средней мощности с рабочими токами до 10 А.
3. Приборы большой мощности с рабочими токами до нескольких сотен ампер.

С каждым годом твердотельные реле завоевывают все большую популярность у разработчиков и производителей систем промышленной автоматики и бытовой техники и практически все современные устройства выпускаются с применением твердотельных реле. Количество зарубежных фирм, развивающих эти изделия, их номенклатура и объемы продаж растут от года к году. Это связано в первую очередь с растущей интеллектуальностью силовых устройств, насыщенностью их микроконтроллерами, а твердотельные реле имеют неоспоримые преимущества перед электромагнитными реле при непосредственном микроконтроллерном управлении. Однако в России ситуация развивается совершенно иначе. У отечественных разработчиков твердотельные реле не нашли соответствующего признания. Автору довелось заниматься развитием этого направления в России с 1995 года. И с сожалением приходится признать, что за это время не удалось продвинуть этот класс приборов. В беседах с руководителями крупных дистрибьюторских фирм, пытающихся продвигать это направление продажами приборов зарубежных фирм, выясняется, что и у них в этом существуют серьезные проблемы. Эта статья посвящена анализу этих проблем и попытке пропаганды твердотельных реле для отечественных производителей. Тем более что сегодняшний уровень развития технологии и конструкции этих изделий позволяет выпускать отечественные приборы, по качеству и параметрам не уступающие лучшим зарубежным приборам фирм CRYDOM, Teledyne Relays, OPTO22, Siemens, Omron, по ценам существенно более привлекательным для отечественного потребителя.

Основные проблемы в развитии применения твердотельных реле можно сгруппировать в два блока: технический и экономический.

Технические проблемы:

1. Твердотельные реле — это реле, но применять их как обычные электромагнитные реле нельзя, необходимо учитывать их особенности как полупроводникового прибора.
 2. Отсутствие необходимой нормативной базы (стандартов, руководств по применению и т. д.) на этот класс приборов.
 3. В 80–90-е годы были созданы отечественные оптоэлектронные силовые приборы, являющиеся некоторым прообразом твердотельных реле — модули МТО производства «Оптрон» (Ставрополь), «Преобразователь» (Запорожье), — а также серия приборов 5П19..., 5П20... от «Протон-Импульс» (Орел), однако из-за большого количества конструктивных и технологических недоработок данные приборы не обеспечивают необходимый технический уровень и показатели надежности.
- Экономические проблемы:

1. Приборы ведущих зарубежных производителей стоят очень дорого. Эти приборы выпускаются на высококачественных полупроводниковых структурах с применением лучших материалов и оборудования, проходят в процессе производства многочисленные проверки на соответствие всех параметров приборов необходимым требованиям качества.
2. Дешевые зарубежные приборы имеют низкое качество или по своим параметрам и конструктивным особенностям вообще неприменимы в отечественных промышленных сетях, так как выпускаются с применением полупроводниковых структур, имеющих недостаточные запасы по предельно допустимым значениям таких параметров, как максимальное пиковое напряжение (800 или даже 600 В, что приемлемо в низковольтной питающей сети Японии или США, но совершенно недопустимо в отечественных сетях с напряжением 220 В, где с учетом выбросов и помех напряжение может достигать 1000 В), критическая скорость нарастания напряжения (большинство зарубежных дешевых реле выпускается на симисторных структурах, имеющих низкие значения dU/dt , что приемлемо для активных нагрузок, но совершенно недопустимо для реактивных нагрузок).
3. Обеспечить необходимые показатели качества и надежности сложных полупроводниковых приборов, какими являются твердотельные реле, технология сборки и методы контроля параметров и качества которых являются, наверно, одними из самых сложных среди прочих полупроводниковых приборов, можно только применяя самые высококачественные, со строго нормируемыми параметрами материалы и оборудование, высокоточное и сложное технологическое оборудование и уникальные измерительные комплексы. Пренебрежение чем-либо из вышеперечисленного не позволяет произвести качественный прибор. В дешевых приборах используются корпусированные полупроводниковые элемен-

ты, размещаемые на теплоотводящих пластинах из алюминия с использованием прокладок из слюды, в то время как высококачественный прибор может быть выполнен только на медном теплоотводе с применением высокотеплопроводного керамического изолятора, что обеспечивает низкие значения теплового сопротивления, а следовательно, отсутствие перегрева силового элемента и его высокую долговечность.

Остановлюсь подробнее на этих проблемах.

1. Так как твердотельные реле являются полупроводниковыми приборами, то их коммутирующим элементом выступает один из типов полупроводниковых элементов:
 - симистор (пиковое напряжение до 800 В, рабочий ток до 25 А, низкая устойчивость к скоростям нарастания тока и напряжения) — коммутация цепей переменного тока;
 - пара встречноключенных тиристоров (пиковое напряжение до 1200 В, рабочие токи до 250 А для монолитного модуля и до 5000 А для специального исполнения, высокая устойчивость к скоростям нарастания тока и напряжения) — коммутация цепей переменного тока;
 - полевой транзистор (пиковое напряжение с учетом возможных перенапряжений до 600 В, рабочий ток до 200 А) коммутация цепей постоянного тока;
 - IGBT (пиковое напряжение с учетом возможных перенапряжений до 1200 В, рабочий ток до 250 А для монолитного модуля и до 2000 А для специального исполнения) — коммутация цепей постоянного тока.

Все эти типы приборов имеют совершенно идентичную входную схему, выполненную на основе инфракрасного светодиода, излучение которого обеспечивает включение соответствующего силового элемента через специальную фоточувствительную схему, причем для тиристорно-симисторных и MOSFET-IGBT реле применяются разные схемы (см. далее). Цепи управления светодиодом выполнены или на резисторе соответствующего номинала или с применением токового стабилизатора. Типичный ток управления твердотельным реле — 10–15 мА, что на порядок меньше тока управления электромагнитного реле. Различные типы приборов могут управляться (как и электромагнитные реле) как постоянным, так и переменным напряжением.

При этом возможны следующие варианты для коммутации цепей переменного тока:

- постоянное напряжение 3–30 В;
- переменное напряжение 6–30 В;
- переменное напряжение 90–280 В.

Для коммутации цепей постоянного тока существуют следующие модификации по постоянному напряжению управления:

- постоянное напряжение 4–10 В;
- постоянное напряжение 12–30 В;
- постоянное напряжение 30–70 В;
- постоянное напряжение 70–120 В;
- постоянное напряжение 120–200 В.

В части коммутируемой цепи реле различия между электромагнитными и электромеханическими реле принципиальны.

Коммутирующий элемент электромагнитного реле — металлическая перемычка, через которую может протекать как постоянный, так и переменный ток величины, соответствующей предельной мощности реле. Главные проблемы электромагнитных реле — быстрый износ механического коммутирующего элемента (лучшие реле обеспечивают до 1 млн срабатываний, 3 млн — реле специсполнения для аэрокосмических применений), «пригорание» контактов реле, вследствие неизбежно возникающей при размыкании дуги, а следовательно, большая вероятность отказа в процессе работы. Как и электромеханические реле, реле твердотельные могут быть как нормально разомкнутыми, так и нормально замкнутыми, в одной или несколькими группами контактов, в том числе для коммутации 3-фазных цепей (3-фазный контактор) и реверсивного управления электродвигателями (реверсивное реле). Полупроводниковые коммутирующие элементы в отличие от контактов электромагнитного типа имеют существенные ограничения, связанные с предельными значениями напряжений, токов, скоростей их изменения, утечками в выключенном состоянии, что порождает огромное количество вопросов и сомнений в надежности коммутации с их помощью у разработчиков систем. Однако правильное понимание процессов, происходящих в электронном реле, и их учет для конкретной технической ситуации позволяет строить системы на твердотельных реле с высокой степенью надежности и качества. Для понимания процессов, обеспечивающих надежное функционирование твердотельных реле, остановимся на системе параметров этих приборов, способах их обеспечения на примере реле переменного тока, выпускаемых ООО «Электрум АВ»:

1. Твердотельное реле обеспечивает надежную электрическую изоляцию входных и выходных электрических цепей друг от друга, а также токоведущих цепей от элементов конструкции прибора. Этот показатель определяется тремя параметрами, нормируемыми в ТУ на приборы:

- сопротивление изоляции, определяющее максимально возможную утечку по элементам конструкции при испытательном напряжении 500 В. Для твердотельных реле эта величина составляет 10^9 Ом.
- напряжение изоляции, определяющее электрическую прочность элементов конструкции реле. Для твердотельных реле гарантируется отсутствие пробоя для напряжений до 2500 В переменного тока (или 4000 В постоянного тока) в течение 1 минуты.
- трекинговость, определяющая способность материала конструкции реле к образованию поверхностных токоведущих мостиков при работе в агрессивных средах. За счет монолитной конструкции и применения специальных стеклонеполненных пластиков, твердотельные реле имеют нулевой показатель трекинговости.

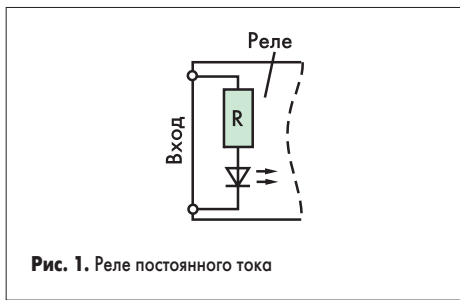


Рис. 1. Реле постоянного тока

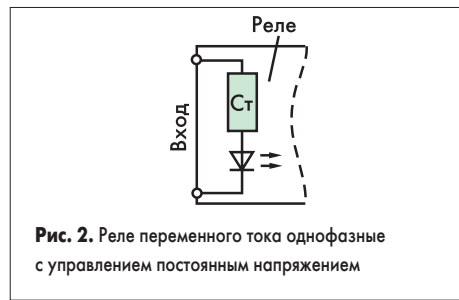


Рис. 2. Реле переменного тока однофазные с управлением постоянным напряжением

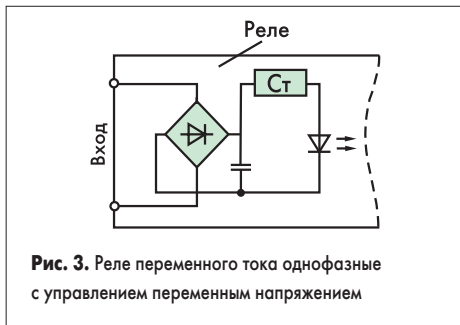


Рис. 3. Реле переменного тока однофазные с управлением переменным напряжением

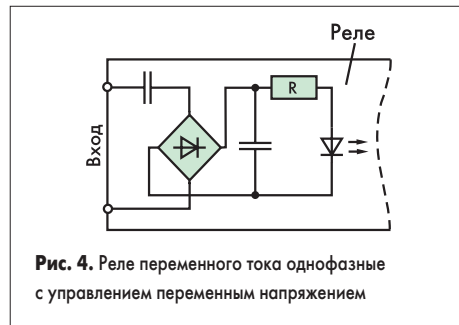


Рис. 4. Реле переменного тока однофазные с управлением переменным напряжением

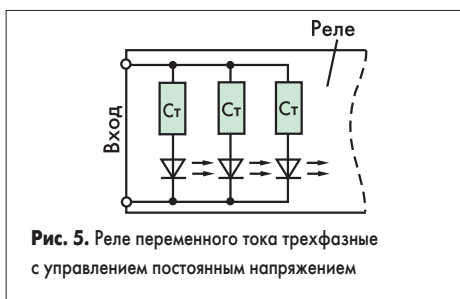


Рис. 5. Реле переменного тока трехфазные с управлением постоянным напряжением

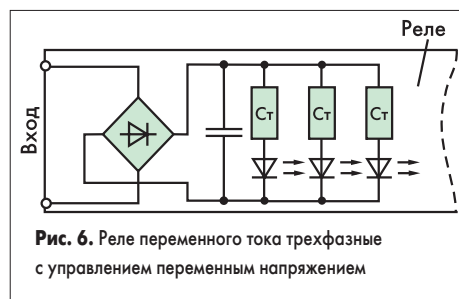


Рис. 6. Реле переменного тока трехфазные с управлением переменным напряжением

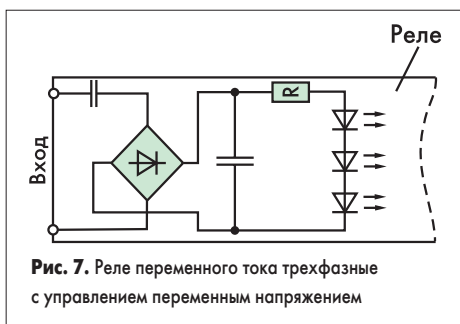


Рис. 7. Реле переменного тока трехфазные с управлением переменным напряжением

2. Параметры цепи управления:

- Входное напряжение в зависимости от модификации прибора составляет:
 - группа А — 3–30 В постоянного тока (для реле переменного тока по коммутируемой цепи); 4–10 В (для реле постоянного тока);
 - группа Б — 6–30 В переменного тока (среднеквадратичное значение);
 - группа В — 90–280 В переменного тока (среднеквадратичное значение).

При этом входной ток цепи управления во всем диапазоне температур эксплуатации (–60... +80 °С) не превысит 15 мА.

Входные схемы реле представлены на рис. 1–7 («Ст» на схемах означает стабилизатор тока).

При управлении постоянным напряжением входная цепь реле имеет резистивный ограничитель тока (для реле постоянного тока по коммутируемой цепи) или токовый стабилизатор (для реле переменного тока).

Входная цепь реле, управляемых переменным напряжением, имеет на входе AC/DC-преобразователь, а далее токовый стабилизатор, аналогичный вышерассмотренному.

- Максимальное напряжение невключения реле составляет:
 - группа А — 1 В;
 - группа Б — 4 В (среднеквадратичное значение);
 - группа В — 10 В (среднеквадратичное значение).

Еще одним параметром реле, управляемых постоянным напряжением, является предельно допустимая величина обратного напряжения, составляющая 7 В.

3. Свойства и параметры оптронной развязки:

Оптронная развязка твердотельных реле представляет собой сложный электронный прибор, входную схему которого мы рассмотрели выше. Выходным элементом входной части этой оптронной развязки является светодиод, излучающий в инфракрасном диапазоне. Входным элементом выходной части оптрона являются фоточувствительная электронная схема на основе симистора (для реле переменного тока) или на основе так называемого фотovoltaического элемента, создающего на своих выводах разность потенциалов при облучении инфракрасным излучением. На работе этого элемента и всей группы реле постоянного тока в этой статье мы не будем останавливаться, а продолжим обсуждение реле переменного тока.

Структурные схемы реле представлены на рис. 8–14.

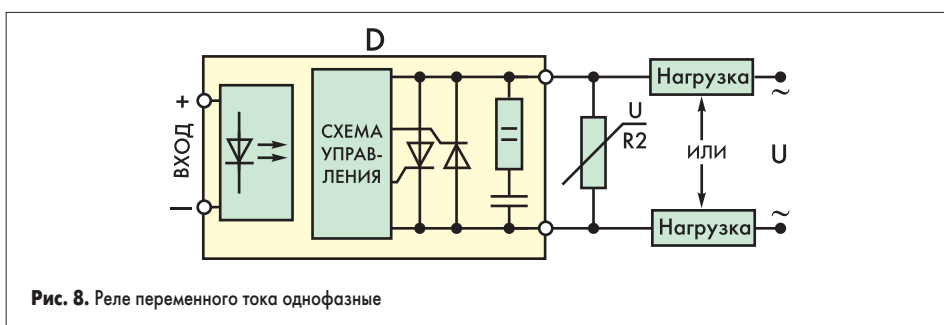


Рис. 8. Реле переменного тока однофазные

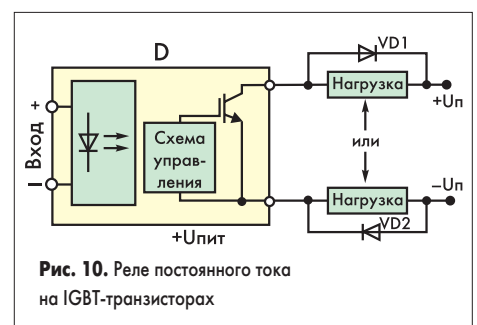


Рис. 10. Реле постоянного тока на IGBT-транзисторах

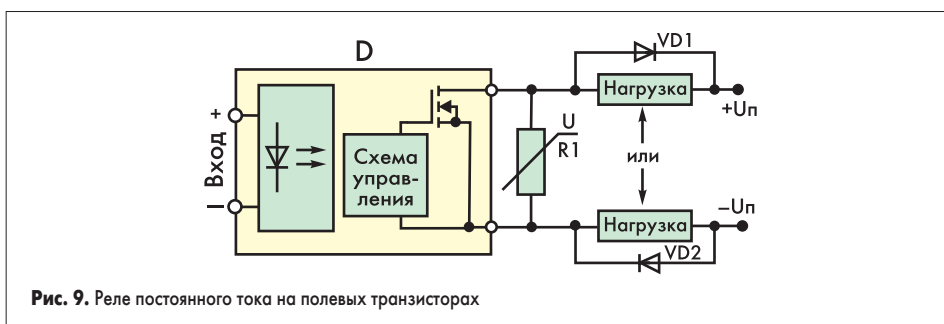


Рис. 9. Реле постоянного тока на полевых транзисторах

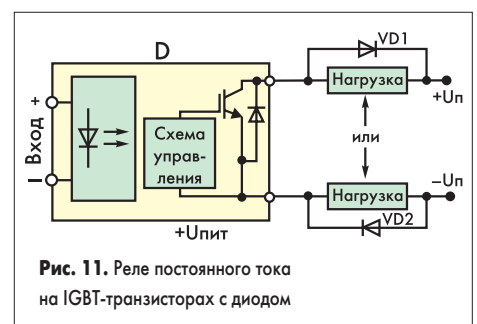


Рис. 11. Реле постоянного тока на IGBT-транзисторах с диодом

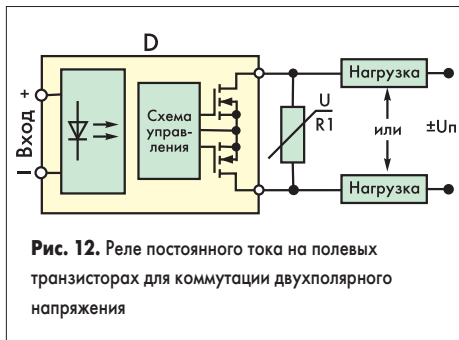


Рис. 12. Реле постоянного тока на полевых транзисторах для коммутации двухполярного напряжения

Рассмотрим однофазное реле переменного тока. Функциональный элемент, подключенный к управляющим электродам выходных тиристоров реле, является по своей сути симистором на полное рабочее напряжение силовой цепи реле с максимальным током (импульсным) до 500 мА. Под воздействием излучения инфракрасного диода светодиода входной части реле этот симистор открывается и подает отпирающий ток в управляющие электроды выходных тиристоров реле при поступлении положительной или отрицательной полуволны сетевого напряжения соответственно. Этот элемент включается на короткое время (около 20 мкс), необходимое для отпирания выходного тиристора, а в дальнейшем весь ток идет через силовой тиристор реле. Однако, кроме того, этот элемент выполняет еще одну очень важную функцию. Он следит за фазным напряжением в сети. Есть две модификации реле переменного тока, отличающиеся характером поведения реле:

- 1) Реле без контроля «нуля» фазы сетевого напряжения или реле с произвольным включением, которые наиболее аналогичны по своим коммутационным свойствам электромагнитным реле. При поступлении управляющего сигнала силовая цепь этих реле отпирается сразу за очень короткое время.
- 2) Реле с контролем «нуля» фазы сетевого напряжения, в которых специальная схема обеспечивает включение реле при наличии управляющего сигнала в момент времени, близкий к «нулю» фазы. Под «нулем» фазы понимается некоторый диапазон напряжений малой величины положительной и отрицательной полуволны сетевого напряжения, при которых может произойти коммутация силовой цепи. При больших значениях напряжения реле не включится даже при наличии управляющего

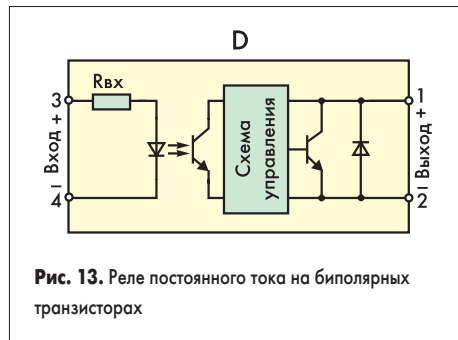


Рис. 13. Реле постоянного тока на биполярных транзисторах

сигнала. Эта величина напряжения называется напряжением запрета и составляет 40 В для всех реле независимо от уровня коммутируемого тока.

Реле первого типа могут быть использованы в регуляторах мощности, обеспечивая отсечку фазы силового напряжения регулируемой длительности, системах автоматики и т. д., а у реле второго типа главным преимуществом является «мягкое» включение нагрузки, не порождающее помех в сети и не искажающее форму напряжения на нагрузке.

Реле с произвольным включением, как и электромагнитные реле, могут быть как нормально замкнутыми, так и нормально разомкнутыми, что обеспечивается специальными схемными решениями. Эти реле могут пропустить ток по силовой части без подачи управляющего напряжения и запираются при подаче управляющего сигнала на вход реле.

Таким образом, все реле переменного тока имеют двухкаскадную выходную схему, что накладывает ряд ограничений на допустимые параметры коммутируемой нагрузки.

Выходная часть реле (силовой коммутирующий элемент) построена на паре встречно-параллельно включенных тиристоров, на параметрах которых остановимся подробнее, так как именно они в первую очередь определяют параметры коммутационного процесса. В реле применены современные тиристоры. Твердотельные реле — это сложный прибор, состоящий из большого количества различных элементов, к свойствам и качеству которых предъявляются очень высокие требования. Строгое соблюдение этих требований позволяет обеспечить высокую надежность приборов и высокие технические характеристики. Рассмотрим эти особенности на примере реле МО8МА, выпускаемого ООО «Электрум АВ».

В основании прибора находится медная пластина с никелевым покрытием и отверстиями для монтажа готового прибора в аппаратуре. Главная функция этой пластины — эффективный отвод тепла, выделяемого на силовых полупроводниковых элементах в процессе работы. Мощность этого тепловыделения определяется падением напряжения на полупроводниковом элементе (тиристор) и протекающим через него током. Эта величина составляет от 15 Вт (реле 10 А) до 375 Вт (реле 250 А). Все это тепло, как станет ясно из дальнейшего, передается в окружающую среду именно через эту пластину, которую в дальнейшем будем называть радиатором. Площадь этой пластины составляет 25 см² для реле на токи до 120 А и 70 см² для реле на токи до 250 А. Толщина пластины — 3 мм. Медь, используемая при изготовлении радиатора, обладает очень высокой теплопроводностью и обеспечивает хороший съем тепла со всей поверхности радиатора. Однако в силу относительно небольшой площади радиатора он не может обеспечить передачу всего тепла в окружающую среду, поэтому при использовании реле при больших уровнях тока (более 5 или 10 А в зависимости от площади радиатора) реле необходимо устанавливать на специальные охладители. Контактная поверхность радиатора для обеспечения хорошей теплопередачи на охладитель имеет высокую плоскостность и гладкость, что позволяет устанавливать реле на охладитель со специально подготовленной поверхностью (охладители, поставляемые ООО «Электрум АВ», шлифуются с необходимой точностью) без применения каких-либо прокладок и паст, которые увеличивают тепловое сопротивление перехода «радиатор — охладитель» и тем самым ухудшают теплопередачу. Конструкция монтажных отверстий в радиаторе позволяет стянуть радиатор с охладителем (при обеспечении соответствующих моментов на стягивающих болтах — 3 Н·м) с необходимым усилием, обеспечивающим высокий уровень теплопередачи. В приборах до 120 А для этого используются два болта, а в приборах до 250 А — четыре. Никелевое покрытие меди обеспечивает высокую коррозионную стойкость радиатора, так как соединения, образующиеся на поверхности чистой меди под воздействием атмосферы и влаги, сильно ухудшают ее теплопередачу.

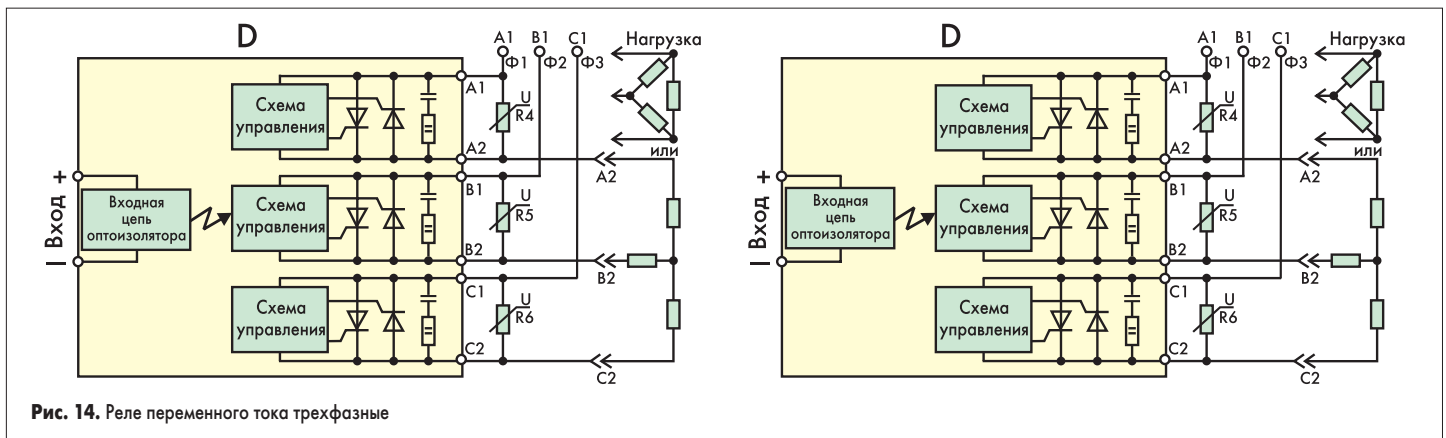


Рис. 14. Реле переменного тока трехфазные

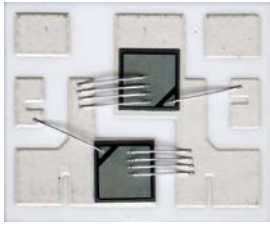


Рис. 15. Типовая сборка радиатора твердотельного реле с установленной на нем керамикой и кристаллами тиристоров

На радиаторе установлена (напаяна) керамическая пластина. Пластина выполнена из высокотеплопроводной высокоглиноземистой (содержание зерен Al_2O_3 — 98%) керамики с нанесенными на обеих сторонах медными покрытиями толщиной до 0,5 мм. Эта пластина выполняет три важнейших задачи:

1. За счет высоких диэлектрических свойств она обеспечивает изоляцию силовой цепи реле от радиатора (при толщине 0,6 мм обеспечивается изоляция на уровне 4 кВ действующего значения в течение 1 мин).
2. За счет высокой теплопроводности, обеспечиваемой мелкозернистой структурой, сопоставимой с теплопроводностью меди, обеспечивается высокая теплопередача от кристалла полупроводникового элемента к радиатору, а через него на охладитель и в окружающую среду.
3. Толстые медные покрытия обеспечивают возможность пропускания больших плотностей тока.

На рис. 15 представлена типовая сборка, содержащая радиатор, керамику и кристаллы тиристоров, установленные на ней.

Соединения кристалла с керамикой и керамики с радиатором производится специальными мягкими припоями, которые обеспечивают хорошую теплопроводность и являются демфирующими прокладками, компенсирующими разность ТКР материалов сборки (кремний — медь — керамика). Процесс сборки производится при очень строгом соблюдении технологических режимов, обеспечивающих необходимый температурный профиль, так как отклонение от них приводит к деформации радиатора, а следовательно, к браку. Для обеспечения высокой теплопроводности спаев они должны обладать малой толщиной и не иметь просветов. Для обеспечения этого количество припойного материала строго дозируется, а после пайки проводится рентгеновский контроль спаива (допускается на площади 1 см^2 до 5 точечных проколов общей площадью не более 2 мм^2).

Кристаллы, используемые в реле, имеют специальную конструкцию со стеклянной изоляцией р-п-переходов (темный ободок по периметру кристалла), что обеспечивает высокие предельно допустимые напряжения анод-катод (не хуже 1200 В при токе утечки не более 100 мкА). Стеклянная изоляция обеспечивает также высокую стабильность этого параметра во времени при прямых и обратных смещениях, в отличие от традиционных тиристорно-диодных модулей МТТ, МТД, МТОТО и т. д., где используется



Рис. 16. Примеры сборки радиатора с силовыми контактами (показаны сборки на рабочие токи 20 и 100 А и сборки радиатора с печатной платой)

кремнийорганическая изоляция р-п-переходов. На верхней поверхности керамики сформирован рисунок меди, который обеспечивает необходимые электрические соединения между кристаллами, элементами схемы управления и внешними контактными площадками. Соединение кристалла с медной металлизацией керамики производится алюминиевой проволокой методом ультразвуковой сварки. Диаметр используемых проволок в зависимости от номинального тока прибора от 300 мкм до 500 мкм, а их число от 2 до 14, при этом одна проволока диаметром 0,3 мм способна выдерживать длительный ток до 20 А, а 0,5 мм — 55 А. Петля алюминиевой проволоки обеспечивает еще один фактор надежности реле — компенсацию тепловых расширений при циклическом изменении температуры реле при пропускании тока. Эта особенность реле, как любого силового полупроводникового прибора, в первую очередь влияет на долговечность и надежность прибора. Величина номинального тока, допустимого для прибора конкретного типа, определяется из условия разогрева р-п-перехода тиристора или другого силового элемента до температуры 125 °С. При правильном подборе охладителя температура на корпусе прибора достигает 90–100 °С. Таким образом, включенный прибор всегда горячий, а выключенный всегда имеет температуру окружающей среды. Такие циклические изменения температуры прибора, особенно при частых коммутациях, предъявляют повышенные требования ко всем применяемым деталям, материалам из которых они изготовлены, технологическим режимам сборки для обеспечения их физической и химической совместимости. Силовая сборка, выполненная на радиаторе прибора, является коммутирующим элементом реле. Схема управления этим коммути-

рующим элементом располагается на печатной плате, соединенной как с силовыми контактами реле, так и с управляющими контактами. Пример сборки представлен на рис. 16.

Силовые контакты реле имеют непосредственный электрический контакт с медной металлизацией керамической подложки, что обеспечивает минимальные потери, а также контакт с печатной платой. Силовые контакты выполняются из медных шин необходимого сечения, обеспечивающего протекание необходимого уровня тока. Управляющие контакты электрически соединены только с печатной платой. Ток, протекающий через них, невелик (миллиамперы), однако для унификации конструкции они выполняются подобно силовым контактам. Сборка реле из радиатора и печатной платы закрыта корпусом из специального трудногорючего, с высокой диэлектрической прочностью и нулевой трекинговостью пластика, внутренний объем которого заполнен специальным эластичным кремнийорганическим компаундом, имеющим широкий диапазон температур эксплуатации (от –60 до +150 °С), что также обеспечивает эксплуатацию реле в режиме циклического изменения температуры. Подключение внешних силовых кабелей или шин осуществляется с помощью винтов с резьбой М5, что при обеспечении стягивающего момента 3 Н·м создает необходимый электрический контакт между внешней клеммой или шиной и силовой клеммой реле. Силовые провода, используемые для подключения реле, должны иметь сечения в соответствии с таблицей 1.

Подключение управляющих контактов производится в зависимости от тока реле

Таблица 1. Сечения проводов

Номинальный ток, А	Сечение жил внешних проводов и кабелей, мм ²	
	не менее	не более
до 4	0,5	1,0
6, 3	0,75	2,5
10	1,0	2,5
16	1,5	4
25	2,5	6
32	2,5	10
40	4	16
63	6	25
80	10	35
100	10	50
125	25	70
160	25	90
200	50	120



Рис. 17. Внешний вид реле

Таблица 2. Номенклатура реле, выпускаемых ООО «Электрум АВ»

Реле переменного тока с выходом на встречно-параллельных тиристорах	
Однофазные реле переменного тока (частота до 400 Гц) на токи до 250 А	
Без контроля перехода фазы коммутируемого напряжения через «0»	Нормально замкнутые
	Нормально разомкнутые
С контролем перехода фазы коммутируемого напряжения через «0»	Нормально разомкнутые
Трехфазные реле переменного тока (частота до 400 Гц) на токи до 120 А	
Без контроля перехода фазы коммутируемого напряжения через «0»	Нормально разомкнутые
С контролем перехода фазы коммутируемого напряжения через «0»	Нормально разомкнутые
Реле постоянного тока	
Однополярные реле постоянного тока с выходом на МОП-транзисторах	
Однополярные реле постоянного тока с выходом на IGBT	
Биполярные реле постоянного тока с выходом на МОП-транзисторах	

или через винтовое соединение с резьбой М3, или через быстроразъемный соединитель (fast-on) шириной 28 мм, к которому также можно просто подпаять провода. При резьбовом соединении контакт также должен быть надежным для предотвращения нарушения работоспособности реле. Внешний вид реле показан на рис. 17.

Окончание следует

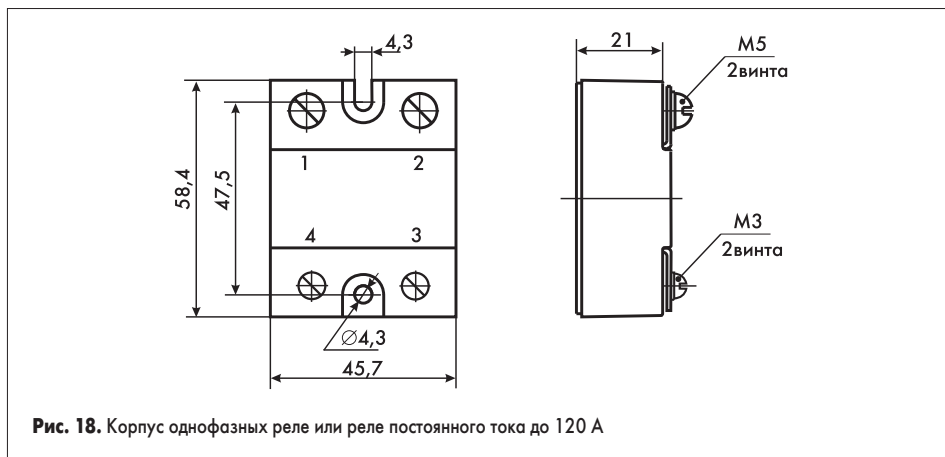


Рис. 18. Корпус однофазных реле или реле постоянного тока до 120 А

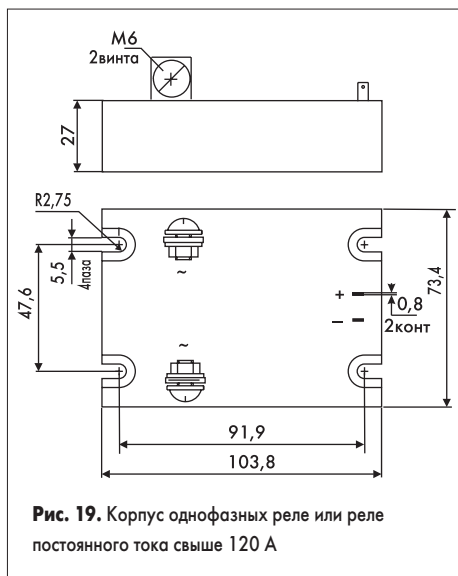


Рис. 19. Корпус однофазных реле или реле постоянного тока свыше 120 А

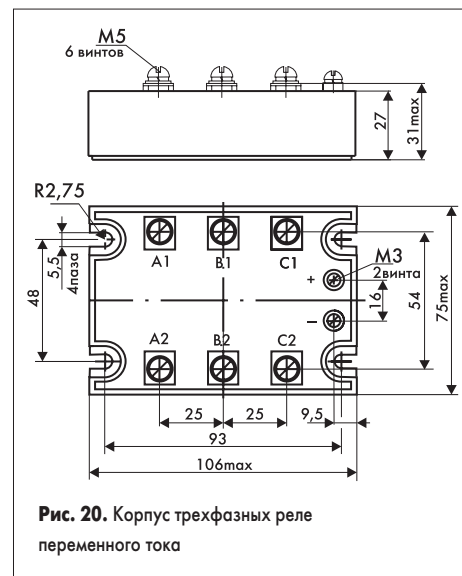


Рис. 20. Корпус трехфазных реле переменного тока