

КОММУТАЦИОННАЯ ТЕХНИКА (РЕЛЕ). КЛАССИФИКАЦИЯ, ОСОБЕННОСТИ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

*А.В. Анискин, С.Н. Ивакин, М.Н. Рыбкина, А.В. Вербицкий
390027, Россия, г. Рязань, ул. Новая, 51В, ОАО «РЗМКП»*

В работе рассмотрены разновидности коммутационной техники на основе: герконовых, электромагнитных и твердотельных реле. Раскрыты практические вопросы их применения в современной технике, определены допустимые границы эксплуатации и способы обеспечения безотказной работы.

The paper covers modifications of the switching equipment based on reed relays, electromagnetic and solid-state relays. Practical questions of their application in the modern engineering have been opened; the operation limits and methods of the failure-free operation have been defined.

Коммутация сигналов была и остается одной из самых необходимых и важных функций в электронных устройствах. Не следует забывать и о том, что отказ устройства коммутации, соединяющего различные узлы, может привести к отказу целой системы, поэтому надежность коммутационного оборудования должна быть весьма высокой. Правильный выбор коммутирующего элемента во многом заранее определяет надежность, долговечность и безотказность устройства в целом. Ошибки на начальном этапе проектирования могут привести к единичным сбоям или отказам при эксплуатации не из-за износа механических подвижных частей реле (которые, в некоторой степени, изначально снижают надежность реле), а из-за неправильного выбора режима эксплуатации. Всегда необходимо знать технические параметры и предотвращать возможные их превышения в процессе эксплуатации, так как поврежденный электрический контакт в процессе работы никогда не восстановится до первоначального уровня и не обеспечит стабильной и надежной коммутации электрических сигналов. Поэтому основная задача разработчика электронных изделий – предупредить саму возможность появления таких критических режимов работы.

В настоящее время реле очень широко используются во всевозможных устройствах автоматизации и узлах промышленных роботов. Реле были и остаются главными исполнительными устройствами. Многие поставят это высказывание под сомнение, оперируя тем, что существуют полупроводниковые транзисторы, тиристоры и т.п. – элементы, которые успешно заменяют реле, но по определению электрическое реле – это устройство (аппарат), предназначенное для скачкообразного изменения состояния выходной цепи при заданном входном воздействии (плавном, непрерывном, периодическом или скачкообразном). Общая классификация реле разнообразна (рис. 1).

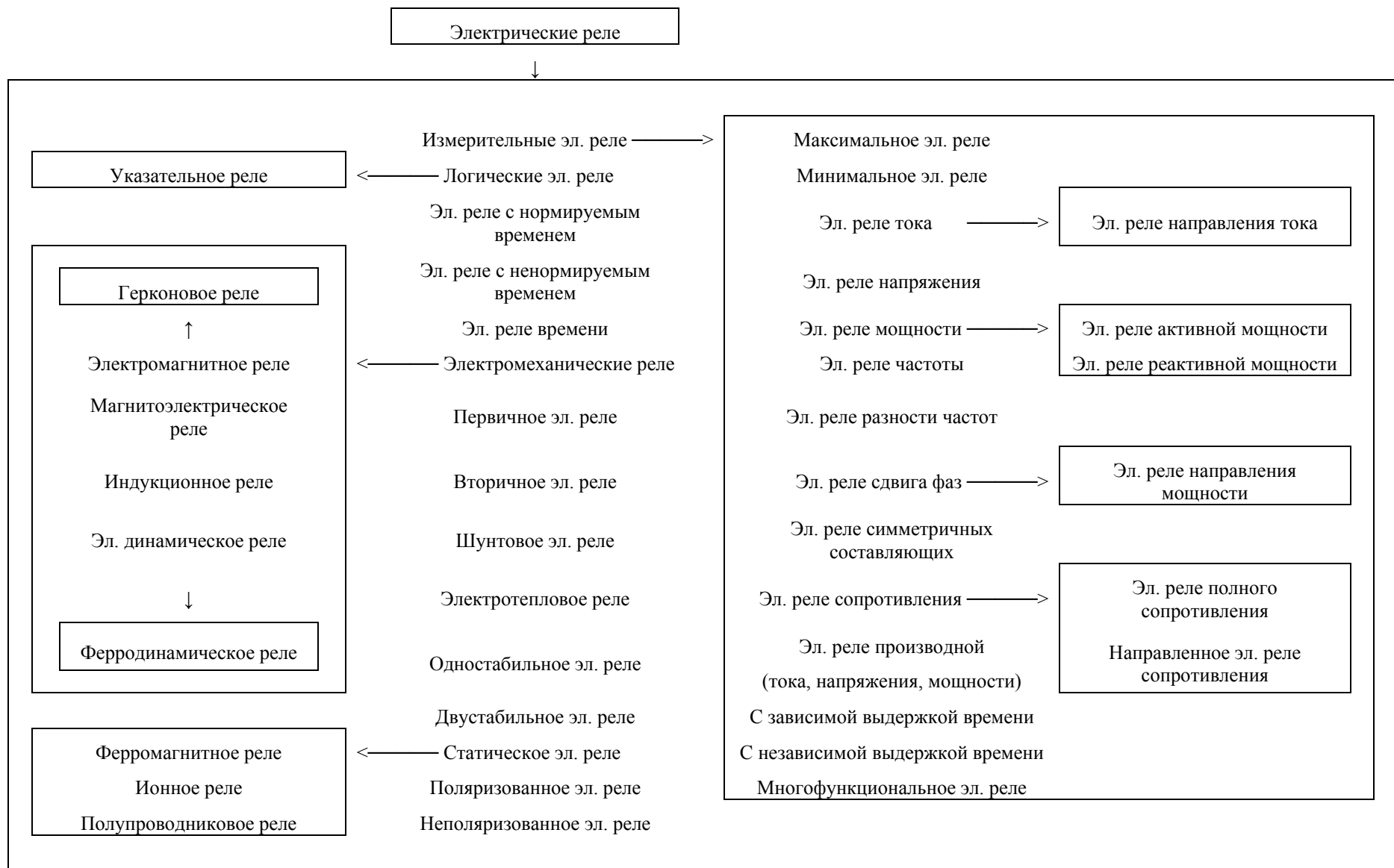


Рис. 1. Классификация реле

Эта классификация основана на данных ГОСТ и полностью отражает все конструктивное многообразие электрических реле. В литературе часто можно встретить более упрощенную классификацию, основанную на физическом представлении реле как объекте, конструктивно состоящем из двух функциональных частей (узлов), а именно: из воспринимающей или командной, т.е. реагирующей на изменение входного параметра, и исполнительной – воздействующей на внешние цепи (т.е. непосредственно контактная система).

Поэтому, в зависимости от физической природы входного воздействующего параметра, реле подразделяют на:

- электрические;
- механические (гидравлические, пневматические);
- тепловые;
- акустические;
- оптические.

Наиболее распространены электрические реле. По принципу действия воспринимающей части их подразделяют на электромагнитные (это основной тип для устройств автоматики и телемеханики), магнитоэлектрические, электродинамические, индукционные, электронные, полупроводниковые, магнитные (рис. 2) [1].

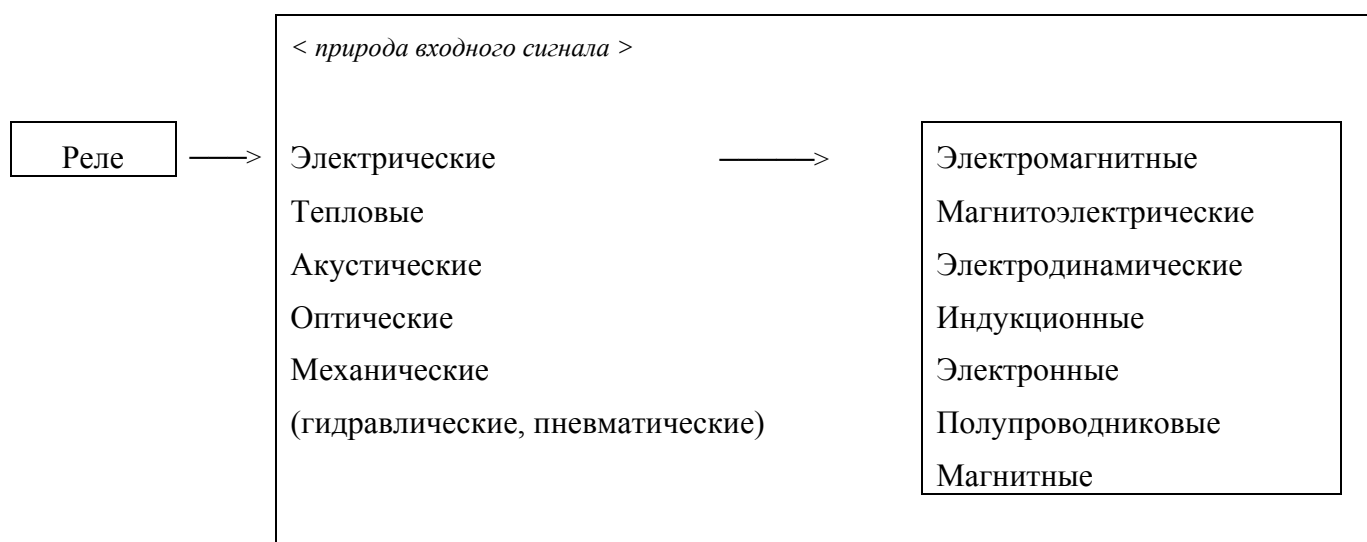


Рис. 2. Классификация реле в зависимости от входного воздействующего параметра

В механических реле главным образом используется изменение размеров или положений твердого тела под влиянием тех или иных факторов. К таким реле часто относят гидравлические и пневматические устройства.

В оптических и акустических реле используются процессы, происходящие соответственно под действием света или звука.

Магнитные реле реагируют на напряженность магнитного поля, его индукцию или поток.

На мощность теплового потока, величину температуры или на скорость ее изменения реагируют тепловые реле.

Действие электрических реле основано на явлениях, вызванных протеканием электрического тока, наличием электрического поля или связанных с электрической проводимостью твердого тела.

По времени срабатывания реле подразделяются на невременные реле, имеющие естественную (конструктивную) задержку срабатывания, не превышающую доли секунд (для наиболее инерционных динамических реле), и на реле времени, для которых задержка времени срабатывания от секунд до нескольких часов устанавливается специально.

Реле времени могут быть с фиксированными или регулируемыми временами задержки, которые создаются либо соответствующим конструктивным исполнением элементов динамических реле, либо регулированием времени прохождения управляющего сигнала от входного интерфейса реле до его воспринимающе-преобразующей части.

В пневматических реле задержка времени срабатывания создается уменьшением скорости истечения газа из резервуара. В электрических реле для управления временем срабатывания используются электрические схемы, содержащие конденсаторы, индуктивности, резисторы или счетчики импульсов, управляющие временем нарастания входного сигнала от входного интерфейса до воспринимающе-преобразующей части реле.

Для практического выбора модели реле приходится сталкиваться с более информативной технической классификацией реле с учетом его конструктивных и потребительских особенностей. Наиболее распространенными признаками при выборе реле являются:

- начальное состояние контактов реле. Здесь можно выделить реле с нормально замкнутыми, нормально разомкнутыми, переключающими контактами, а также реле с различным количественным сочетанием указанных контактов в одном корпусе;
- по типу управления выделяются следующие группы: реле постоянного, переменного тока, полярные и неполярные реле и комбинированные реле;
- по характеру коммутируемой цепи: реле слаботочные и силовоточные, низковольтные и высоковольтные, высокочастотные и низкочастотные. До настоящего времени некоторые параметры не стандартизованы и носят условный характер. Например, первоначально к слаботочным электромагнитным реле относились устройства, коммутирующие номинальный ток до 3–5 А, позднее – до 10 А;
- по конструктивному исполнению: реле герметичные, негерметичные, негерметичные герконовые и пылевлагозащищенные.

В представленном разнообразии типов реле наибольшее распространение получили электромагнитные и твердотельные реле. Последние начали активно развиваться относительно недавно, но ввиду особенностей и довольно низких предельных напряжений и токов область применения этих компонентов существенно ограничена. Поэтому традиционные электромагнитные реле, состоящие из катушки, сердечника из магнитного материала, толкателя и контактной группы, отнюдь не теряют своих позиций.

В дополнение к рассмотренной выше классификации реле следует отметить, что в радиоэлектронике релейные устройства часто относят к группе коммутационных устройств. Эта разновидность включает в себя кнопки, ручные выключатели, переключатели, тумблеры, клавиатуры, разъемы, контактные и бесконтактные, ручные или автоматические устройства. Очевидно, что реле представляют группу автоматических контактных и бесконтактных коммутационных устройств.

При многообразии релейных устройств наибольшее применение в технике по-прежнему имеют электромагнитные реле, а также некоторые виды бесконтактных коммутационных

устройств, таких как ферромагнитные и твердотельные (полупроводниковые, электрооптические) реле. Среди твердотельных устройств наиболее перспективно развитие электрооптических (оптоэлектронных) реле, обеспечивающих простую гальваническую развязку между управляющим сигналом и коммутируемыми цепями.

Следует также отметить и перспективность развития нового вида коммутационных устройств – микроэлектромеханических реле (МЭМС-реле). Эти реле уже близки к практическому применению в технике сверхмалых токов. Кроме того, важным технологическим преимуществом МЭМС-реле является возможность их создания одновременно с другими элементами микросхемы.

Особенности практического применения заключены в обеспечении мер защиты входных и выходных цепей реле.

1. Основные электрические схемы защиты контактов реле

Для предотвращения или уменьшения эрозии контактов из-за действия газовых разрядов, а также снижения коммутационных перенапряжений применяются схемы защиты [2, 3].

1.1. Защита при работе на активную нагрузку

Для защиты контактов при работе на постоянном токе с активной нагрузкой применяются RC цепочки, подключаемые параллельно контактам (см. рис. 3).

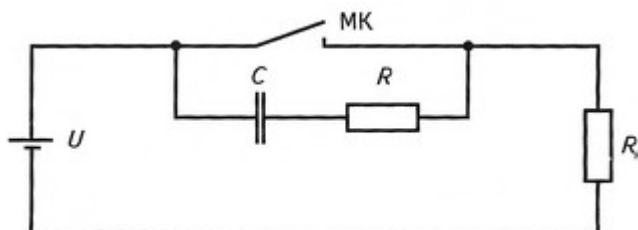


Рис. 3. Схема защиты контактов при работе на постоянном токе с активной нагрузкой

Для предотвращения зажигания короткой дуги необходимо выполнить условие:

$$U_k = U \cdot R / (R + R_n) \leq 10B,$$

где U_k – напряжение на контактах геркона в момент размыкания, В;

U – напряжение источника, В;

R – сопротивление защитного резистора, Ом;

R_n – сопротивление нагрузки, Ом.

Сопротивление резистора: $R = U / (I_{\text{ком. макс.}} - I_n)$

где $I_{\text{ком. макс.}}$ – максимальный коммутируемый ток, А;

I_n – ток нагрузки, А.

Значение емкости выбирается из условия: $C = (0,05 \dots 1,0) \cdot I_{\text{ком.}}$ (мкФ)

1.2. Защита при работе на индуктивную нагрузку

Для защиты контактов при работе с индуктивной нагрузкой применяется защитный диод, подключаемый параллельно индуктивности (см. рис. 4).

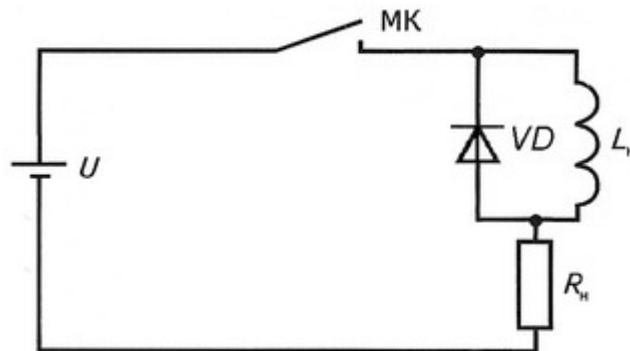


Рис. 4. Схема защиты контактов при работе с индуктивной нагрузкой

Максимальное значение тока через диод при размыкании цепи не должно превышать значения, допустимого для диода. Номинальное обратное напряжение диода должно быть выше напряжения источника питания.

1.3. Защита при работе на емкостную нагрузку

Для защиты контактов при работе с емкостной нагрузкой применяют защитный резистор, ограничивающий первоначальный бросок тока при коммутации (см. рис. 5).

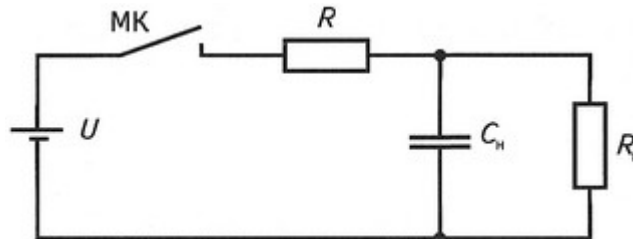


Рис. 5. Схема защиты контактов при работе с емкостной нагрузкой

Сопротивление защитного резистора R находится из выражения:

$$R > U/I_{\text{ком. макс.}} \text{ или } R > U^2/P_{\text{ком. макс.}}$$

где $I_{\text{ком. макс.}}$ — максимальный коммутируемый ток, А;

$P_{\text{ком. макс.}}$ — максимальная коммутируемая мощность, Вт.

1.4. Защита при работе на ламповую нагрузку

Защита осуществляется так же, как при емкостных нагрузках — с помощью резистора, включенного последовательно с лампой накаливания HL, для ограничения броска тока через холодную лампу при ее включении (см. рис. 6).

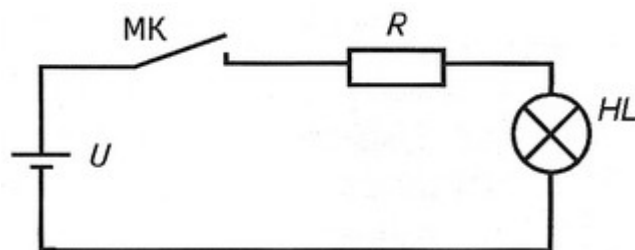


Рис. 6. Схема защиты контактов при работе на ламповую нагрузку

Сопротивление защитного резистора R находится из выражения:

$$R \geq (U/I_{\text{ком. макс.}}) - R_{\text{HL}}$$

где $I_{\text{ком. макс.}}$ – максимальный коммутируемый ток, А;

R_{HL} – сопротивление лампы в холодном состоянии (оно в 8-14 раз меньше сопротивления лампы в горячем состоянии), Ом.

2. Основные принципы защиты твердотельных реле (ТТР)

Методы защиты и повышения устойчивой работы ТТР основаны на рекомендациях по защите полупроводниковых приборов от помех по входу/выходу, а также по линии питания. Необходимость защиты очевидна, так как работа любого электрического прибора происходит в единой электрической цепи с массой элементов, требующих не только согласования сигналов, но и учета возможности появления специфических выбросов (например, скачков напряжения), которые могут носить и непредсказуемый характер (например, удар молнии, коммутация близко стоящих мощных нагрузок, коммутация длинной линии с распределенными параметрами и т.п.). Также постоянно присутствуют внешние воздействующие факторы (электромагнитные постоянные и импульсные помехи, магнитные поля, тепловые потоки, радиация и многое другое), приводящие к преждевременному отказу конкретных элементов и аппаратуры в целом.

2.1. Обеспечение режима работы входной цепи

Входные цепи полупроводниковых реле бывают токовыми и потенциальными в зависимости от входного управляющего элемента (рис. 7) [4].

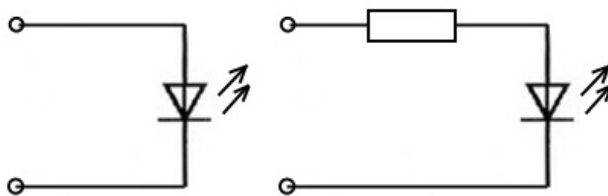


Рис. 7. Входные цепи полупроводниковых реле

Под токовым управлением подразумевается реле, которое имеет входную (управляющую) цепь, состоящую из одного светодиода без токоограничивающего (балластного) резистора (рис. 8). Такое исполнение входной цепи позволяет разработчикам РЭА применять ТТР с управляющими напряжениями различного уровня. Расчет балластного резистора в этом случае проводит разработчик РЭА.

Понятие «токовое управление» отсутствует для электромагнитных реле, для которых используется потенциальное управление (на контакты управляющей цепи необходимо подать то или иное напряжение, чтобы произошло его замыкание).

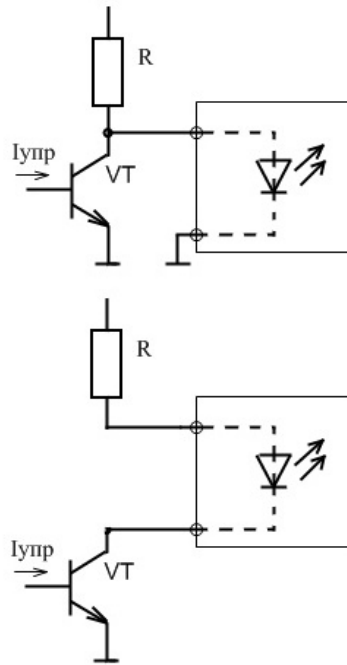


Рис. 8. Токовое управление реле

Режимы работы входных цепей твердотельных реле определяют функционирование реле во всем диапазоне внешних воздействий, поэтому расчет этих режимов имеет важнейшее значение при применении ТТР. При этом сама коммутация может быть осуществлена как параллельным, так и последовательным ключом. Для практического расчета входных токоограничительных резисторов необходимо использовать ВАХ входных цепей или оперировать справочным значением падения напряжения на нем при номинальном токе управления.

Входные цепи ТТР могут подвергаться воздействиям различных помех, так как реле работают в силовых цепях, где коммутируются большие токи и могут возникать шумы. Для компенсации помех могут применяться стабилитроны, последовательно включенные с входной цепью ТТР (см. рис. 9).

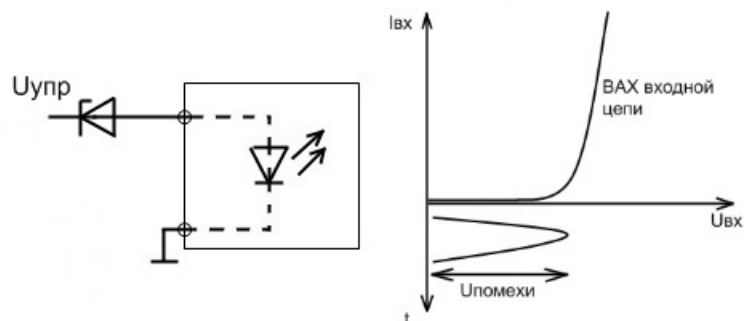


Рис. 9. Действие стабилитрона при подавлении помехи

Подавление входных помех можно обеспечить и путем включения параллельного резистора (см. рис. 10).

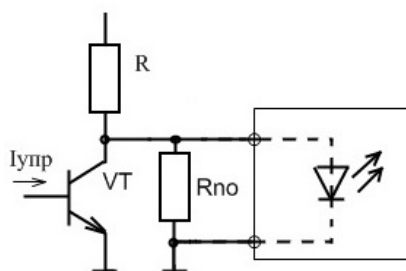


Рис. 10. Подавление входных помех резистором

В этом случае подавление помехи осуществляется «ответвлением» части тока помехи через резистор $R_{по}$.

Ограничение помехи может быть осуществлено с применением как стабилитрона, так и параллельного резистора.

С помощью стабилитрона можно защититься от выбросов, которые по амплитуде меньше управляющего напряжения входной цепи. Способ ограничения помех резистором может применяться для случая, когда амплитудное напряжение помехи превышает напряжение питания, но мощность помехи должна быть меньше мощности сигнала. В этом случае резистор исполняет роль шунта помехи.

Иногда во входной цепи могут присутствовать высокочастотные составляющие тока, тогда вместо резистора необходимо включать емкость величиной 0,01-0,1 мкФ.

Надо отметить, что в ряде случаев необходимо дополнительно форсировать время включения реле с целью сокращения времени переключения реле и, соответственно, снижения тепловой нагрузки на полупроводниковый кристалл. Для этого, параллельно токоограничивающему элементу цепи устанавливается последовательный тандем из резистора и емкости форсажа для увеличения входного тока (иногда до уровня 0,8 - 1А при длительности 100 мкс).

Для реле с потенциальным управлением необходимо обеспечить входное напряжение, не превышающее максимально допустимое паспортное значение для конкретного типа реле. При этом входной ток должен быть в соответствии с паспортными значениями. Иногда при входном управляющем напряжении выше требуемого устанавливается добавочный гасящий резистор R и стабилитрон VD (рис. 11).

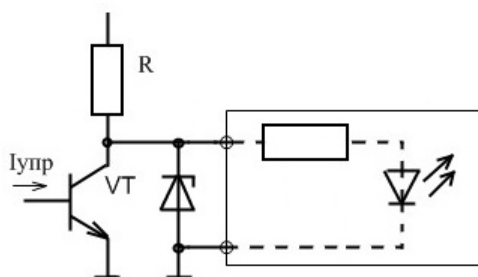


Рис. 11. Схема управления реле с гасящим резистором и стабилитроном

2.2. Обеспечение режима работы выходной цепи

Выбор ТТР по электрическим режимам заключается в выборе класса реле по напряжению и току в соответствии с данным типом нагрузки, а также состоянием электромагнитной обстановки в сети и предельными отклонениями питающих напряжений.

В качестве защитных элементов для ТТР переменного тока обычно применяют варисторы, а для ТТР постоянного тока — стабилитроны и диоды.

3. Защита ТТР переменного тока от импульсных помех RC-цепями

Необходимость защиты ТТР переменного тока вызвана двумя основными причинами. Во-первых, их ключевые каскады, как правило, выполнены на тиристорах или симисторах, которые могут самостоятельно открываться под действием импульсных помех. Во-вторых, напряжение, прикладываемое к полупроводниковым ключам ТТР, не должно превышать предельно допустимых значений, в противном случае произойдет электрический пробой, и ключ выйдет из строя.

Способность тиристоров и симисторов оставаться в закрытом состоянии при воздействии импульсных помех характеризуется параметром «критическая скорость нарастания напряжения». Защита ТТР RC-цепями предназначена для изоляции ТТР от высокочастотных составляющих напряжения по цепи питания. Вместе с индуктивностью питающих проводов RC-цепь образует LRC-фильтр, который защищает выходные контакты ТТР от импульсных помех. LC-фильтр обеспечивает наилучшую фильтрацию, но имеет резонансную частоту, на которой сигнал на выходе фильтра может иметь большую величину, чем при его отсутствии.

Дополнительно необходимо применять защиту выхода от любых кратковременных перенапряжений, которые могут возникнуть при коммутации индуктивных или емкостных нагрузок, так как такой импульс приведет к пробоем р-п-перехода и, соответственно, выходу управляющего ключа из строя. В качестве защитного элемента устанавливается варистор — полупроводниковый элемент, имеющий нелинейную симметричную ВАХ. Благодаря большой площади р-п-перехода он выдерживает импульсы тока в несколько сотен и тысяч ампер и подключается параллельно защищаемому выходу непосредственно на контактах реле.

В последнее время рядом фирм, выпускающих электронные приборы для авиации и других областей применения электронной техники, где предъявляются повышенные требования, был освоен новый класс коммутирующих приборов — твердотельные контроллеры нагрузки [5].

Это стало возможным благодаря сильному развитию микропроцессорной техники, позволяющей создавать компактные совершенные и эффективные модульные системы управления для исполнительных устройств любых типов. Устройство по-прежнему объединяет в себе оптронную развязку и силовой коммутирующий элемент (на базе тиристоров, биполярных или полевых транзисторов). Особенностью является появление встроенной защиты входов/выходов (область безопасной работы, температурный режим), самотестирование и постоянное отслеживание критических режимов работы с сигнализацией аварийных ситуаций путем выставления статусных сигналов в систему управления.

Эти свойства приборов позволяют осуществлять надежное управление любой нагрузкой без применения дополнительных защитных элементов (рис. 12).

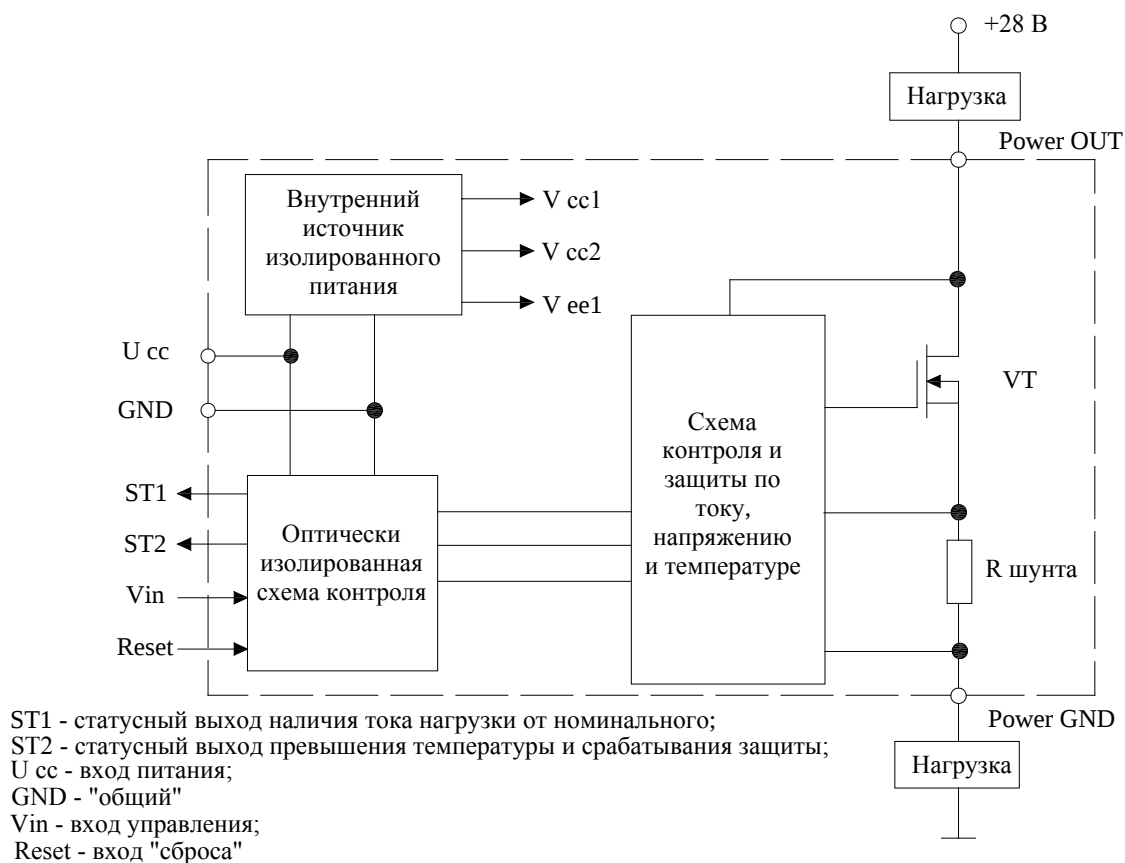


Рис. 12. Встроенная схема защиты входов/выходов реле

Входные цепи твердотельного контроллера нагрузки для согласования с системой управления выполнены на КМОП-логике и оптронных схемах. Внутреннее питание контроллера (± 15 В) – на DC/DC преобразователе с трансформаторной развязкой. Формирование статусных сигналов осуществляется на оптронных схемах высокого быстродействия с ТТЛ-совместимыми уровнями выходных сигналов. Примененная схема контроля и защиты обеспечивает контроль уровня тока в нагрузке и формирование необходимой токовременной характеристики работы контроллера. Силовой блок содержит ряд включенных параллельно полевых транзисторов, токоизмерительный шунт малого сопротивления (менее 1 мОм), термодатчик и ограничитель напряжения.

Конструктивно твердотельный контроллер нагрузок выполнен в виде микросборки с применением тонко- и толстопленочной технологии и имеет малые размеры (36x45x13 мм) и высокую надежность.

Литература

1. Малащенко А. Реле – определение и классификация. Электронные компоненты. № 9. 2004.
2. Нейман Л.Р., Демирчан К.С. Теоретические основы электротехники. – Л.: Энергия, 1981.
3. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники: Учебное пособие для вузов. – М.: Сов. радио. 1980.
4. Абрамов Н. Основные параметры и особенности применения твердотельных реле ЗАО «Протон-Импульс». Компоненты и технологии. № 6, 2005.
5. Волошин С. Современные полупроводниковые коммутаторы нагрузок. Компоненты и технологии. № 7, 2003.