

Твердотельные реле

производства International Rectifier

Впервые появившись, оптроны и твердотельные реле были призваны заменить существующие электромагнитные реле, но без присущих последним недостатков. Особенно активно процесс вытеснения электромагнитных реле твердотельными происходит в течение последних десяти лет. Он обусловлен большими успехами, достигнутыми ведущими производителями полупроводниковых приборов для силовой электроники и особенно — компанией International Rectifier, занявшей позиции лидера. Не случайно твердотельные реле занимают первое место в мировом обороте компании. В нашей стране, к сожалению, внимание к этой группе продуктов IR недостаточно акцентировано. И напрасно: для любого разработчика и производителя электронной аппаратуры намного удобнее иметь дело с одним хорошим поставщиком, продукция которого зарекомендовала себя на рынке своим высоким качеством и хорошими ценами, чем с несколькими, поставляющими компоненты, выполняющие те же функции.

Александр Зыбайло

alex_z@platan.ru

Классификация

Что же заставляет разработчиков отказываться от электромагнитных реле и использовать вместо них твердотельные? В числе основных преимуществ оптоэлектронных реле следует отметить:

- высокую надежность, обусловленную отсутствием механических контактов, и, как следствие, высокую наработку на отказ: число переключений составляет не менее 10 млрд, что в 1000 раз превышает тот же показатель для лучших образцов электромагнитных реле;
- неизменное контактное сопротивление в течение всего срока службы;
- отсутствие дребезга контактов, что снижает внутрисхемный уровень помех в аппаратуре и обеспечивает стабильность ее работы;
- отсутствие акустического шума от работы механических контактов;
- совместимость по входу с логическими микросхемами, обеспечивающая простоту интеграции твердотельных реле в цифровые устройства;
- отсутствие индуктивности — причины возникновения нежелательных выбросов напряжения при переключении электромагнитных реле;
- необходимость низкоуровневых сигналов управления, что существенно упрощает схему управления твердотельным реле в отличие от электромагнитного, для управления работой которого, как правило, необходим электронный ключ с дводной защитой от выбросов напряжения;
- высокую виброустойчивость и ударостойкость, обусловленную отсутствием подвижных механических контактов;
- отличные характеристики изоляционных свойств как между входом и выходом реле, так и высокое сопротивление изоляции корпуса;

- высокое быстродействие;
- высокую устойчивость к воздействию внешних электромагнитных полей;
- малое энергопотребление: твердотельные реле потребляют электроэнергию на 95% меньше, чем электромагнитные реле;
- малые габариты и вес.

Компания International Rectifier предлагает широкий выбор оптоэлектронных приборов — оптронов и твердотельных реле различного назначения (рис. 1). В технической документации компании принято их сокращенное обозначение — MER (Microelectronic Relay).

Телекоммуникационные реле предназначены для работы в факс-модемах, многофункциональных телефонах, беспроводных телефонах, автоответчиках, в коммутаторах и мультиплексорах телефонных линий, в аппаратуре систем безопасности.

Реле промышленного контроля и автоматики используются в качестве выходных реле программируемых логических контроллеров, драйверов соленоидов, клапанов, контакторов, электродвигателей, обмоток, индикаторов и дисплеев. Они предназначены для коммутации наиболее мощной нагрузки (на ток до 4,5 А в корпусе DIP 6), имеют низкое сопротивление во включенном состоянии (40 мОм), работают при напряжениях постоянного или переменного тока до 280 В, а при напряжении только постоянного тока — при напряжении до ± 400 В, имеют высокую чувствительность (3 мА), обеспечивают замену ртутных реле. Эти реле полностью взаимозаменяемы с твердотельными реле производства других компаний, например, твердотельные реле HSSR8060 серии SSR компании Hewlett-Packard (в настоящее время Agilent) могут быть заменены аналогами производства IR: PVG612S — для поверхностного монтажа, PVG612 — для монтажа в отверстие.

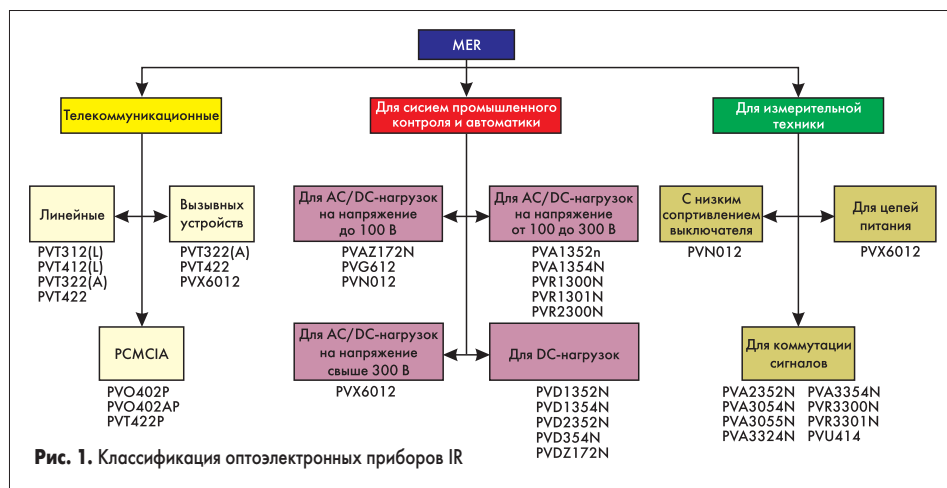


Рис. 1. Классификация оптоэлектронных приборов IR

Реле для измерительной техники применяются в сканерах, мультиплексорах, системах сбора данных, контрольно-измерительном оборудовании. Они обеспечивают высокую скорость переключения, имеют высокое сопротивление в выключенном состоянии (1011 Ом), высокую чувствительность (2 мА), низкое отклонение значения напряжения включения при изменении температуры (0,2 мкВ). Реле этой группы производства компании IR обеспечивают полную замену твердотельных реле HSSR8200 серии SSR.

Технологии и конструкции

Главной особенностью твердотельных реле производства IR является использование выходных ключей, выполненных на полевых МОП или IGBT-транзисторах. В отличие от других производителей компания не выпускает реле с выходными ключами на биполярных транзисторах или тиристорах. По сравнению с ними ключи на МОП-транзисторах характеризуются линейной зависимостью тока от напряжения открытого ключа, падение напряжения на нем составляет менее 0,6 В. Более того, выходные ключи твердотельных реле IR на двоярных МОП-транзисторах обеспечивают двунаправленное пере-

ключение нагрузки и работают в цепях переменного тока. В качестве транзисторов ключей используются полевые МОП-транзисторы, выполненные по запатентованной IR технологии HEXFET или биполярные транзисторы с изолированным затвором — IGBT. При использовании твердотельных реле всегда следует учитывать особенности IGBT и МОП-транзисторов: IGBT-транзисторы работают на низких частотах (до 20 кГц), допускают небольшой разброс параметров нагрузки, подходят для работы в высоковольтных приложениях при достаточно высокой температуре; МОП-транзисторы, напротив, имеют высокое быстродействие (более 200 кГц), допускают широкий разброс параметров нагрузки, но в то же время работают при более низких рабочих напряжениях и сравнительно низкой мощности нагрузки.

Двунаправленные ключи твердотельных реле на полевых МОП-транзисторах получили название BOSFET. На рис. 2 представлены варианты условных электрических схем твердотельных реле и оптронов, выпускаемых компанией IR. В 2001 году технология производства BOSFET-ключей была усовершенствована — в них стали применять «разумные» монолитные оптоэлектронные из-

лучатели и выходные ключи на HEXFET-транзисторах. Обновленная технология получила название BOSFET Upgrade, а к обозначению микроэлектронных реле добавился суффикс N на конце (если суффикс состоит из двух букв — NS, то это значит, что микроэлектронное реле, выполненное по технологии BOSFET Upgrade, предназначено для поверхностного монтажа). Обновленная технология используется так же и при производстве оптронов.

В том случае, если требуется переключение столь мощной нагрузки, что выпускаемые для этой цели твердотельные реле не подходят, IR предусмотрительно выпускает серию оптронов по технологии Lego-Block — PVI5033R (рис. 2, и). Их применяют совместно с мощными дискретными HEXFET или IGBT-транзисторами, используемыми в качестве ключевых, и, таким образом, получают твердотельные реле, рассчитанные на заданную мощность нагрузки. Они предназначены только для функции включения и выключения и не годятся для работы в быстродействующих приложениях. В таких реле обеспечивается полная оптическая развязка между логической схемой управления и нагрузкой, работающей при высоких значениях рабочего напряжения и тока нагрузки. Раздельное управление посредством двух оптоэлектронных пар делает возможной реализацию твердотельного реле со схемой 1 Form C, например, однополюсного реле на два положения.

Применение в твердотельных реле, например PVX6012, в качестве ключей IGBT-транзисторов позволяет коммутировать нагрузку мощностью до 400 Вт на постоянном токе или до 280 Вт — на переменном. Кроме того, такие реле полностью заменяют опасные для окружающей среды и здоровья человека ртутные реле и в отличие от них могут быть установлены в любом положении, в то время как ртутные устанавливают, как правило, вертикально. Цены на твердотельные реле существенно ниже цен на ртутные реле.

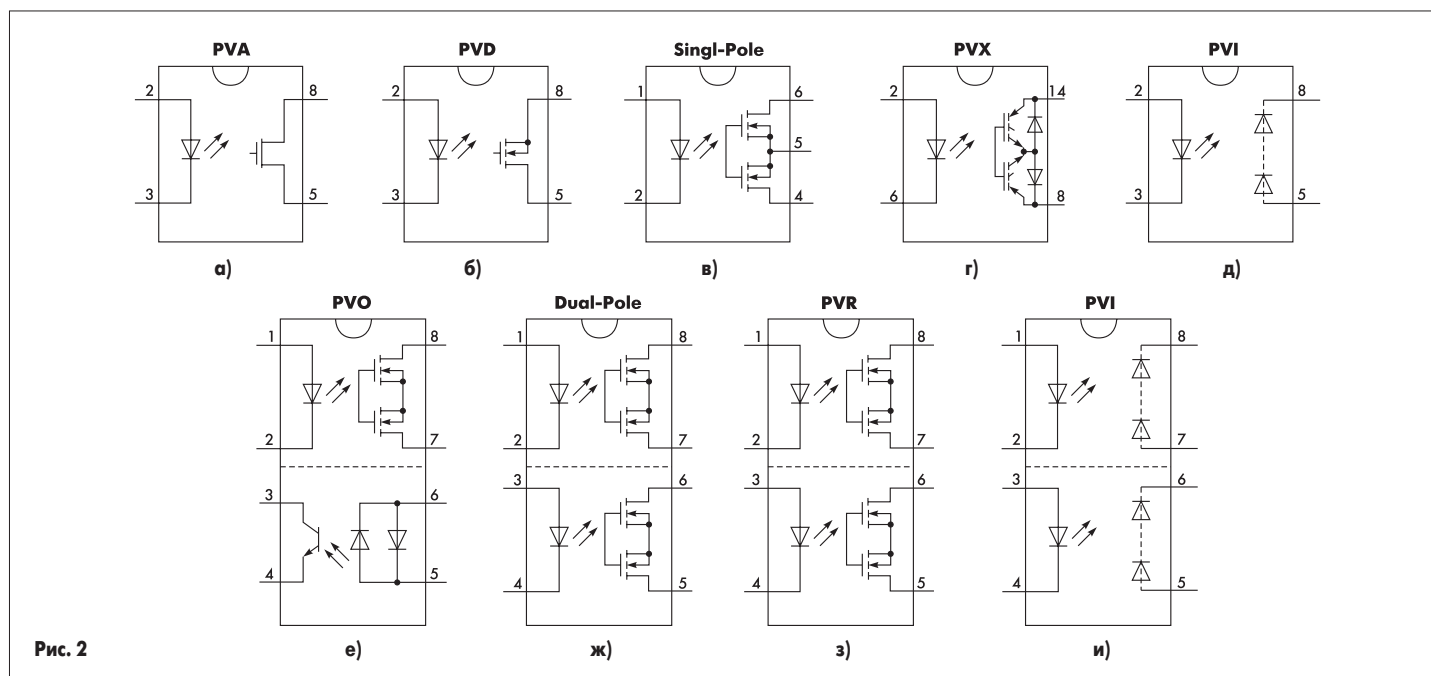


Рис. 2

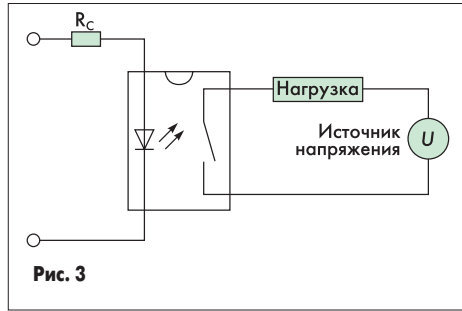


Рис. 3

PVR-реле

В технической документации IR твердотельные реле обозначаются сокращением PVR — Photovoltaic Relay. На рис. 3 показана упрощенная схема включения PVR. Твердотельное реле является токозависимым устройством, то есть его включение зависит от входного тока. Для его правильной работы необходимо правильно рассчитать сопротивление токоограничительного резистора R_C. С одной стороны, этот резистор должен обеспечить ток достаточной для включения величины, а с другой — ограничить величину этого тока так, чтобы он не превышал 25 мА. При этом следует также учитывать температуру среды, в которой будет работать реле. Зависимость входного тока от падения напряжения на светодиоде при различных температурах показана на рис. 4. Рассчитать сопротивление ограничительного резистора можно по формуле:

$$R_C \leq \frac{U_{BX} - U_{LED}}{I_C}$$

где I_C — ток включения.

Например, приняв минимальное входное напряжение равным 4,5 В, ток включения — 5 мА, температуру окружающей среды — -40 °С, а падение напряжения на светодиоде — 1,6 В, в результате расчета получим величину сопротивления ≤580 Ом. Это максимальная величина сопротивления, при которой обеспечивается надежное включение реле. При высоких температурах падение напряжения на светодиоде обычно принимают равным 0,9 В.

Необходимо рассчитать и минимально допустимую величину сопротивления, чтобы избежать выхода светодиода из строя. Ее рассчитывают по формуле:

$$R_C \geq \frac{U_{BX} - U_{LED}}{I_C}$$

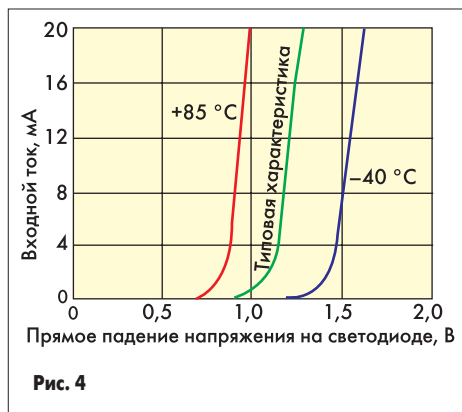


Рис. 4

При расчете в формулу подставляют максимальные значения величин: входного напряжения — 6 В (продолжаем расчет примера), входного тока — 25 мА при максимальной температуре 85 °С. Падение напряжения на светодиоде, как было отмечено, принимают равным 0,9 В. В результате получаем расчетную величину минимально допустимого сопротивления. Оно составит 204 Ом. Следовательно, в данном случае величину сопротивления резистора R_C следует выбирать в пределах 204–580 Ом.

Твердотельные реле в телекоммуникационных устройствах

Твердотельные реле в телекоммуникационных устройствах предназначены, прежде всего, для замены механических реле в схемах поднятия трубки, импульсного набора номера в телефонных аппаратах, факсах, модемах. Именно механические реле в таких устройствах наиболее подвержены выходу из строя. На рис. 5, 6 показаны схемы входного линейного устройства факс-модема с механическим реле и с твердотельным реле типа PVT412L, которым это механическое реле заменено. Этот пример ясно показывает, что при переходе на твердотельные реле не только повысится надежность устройства, но, кроме того, потребуется меньше компонентов для схемы, а именно:

- исключается цепь для борьбы с дребезгом R1C1, поскольку в твердотельных реле явление дребезга контактов отсутствует;
 - нет необходимости в предохранительных резисторах R2 и R3, благодаря токоограничивающим свойствам реле PVT412L. Это наиболее важное преимущество, так как в результате перенапряжения, например, при грозном разряде, предохранительные резисторы в модеме с механическим реле перегорают, что неизбежно потребует ремонта. При использовании твердотельного реле такой проблемы не возникает.
- В числе других преимуществ такой замены — экономия места на печатной плате и экономия в средствах примерно на 15% (при больших объемах производства).

Среди твердотельных реле производства IR, которые с успехом применяются как в телекоммуникационном оборудовании, так и в устройствах другого назначения — силовых, телекоммуникационных, измерительных и т. д., следует отметить новое оптоэлектронное реле PVN012. В этом реле использованы ключи на полевых транзисторах HEXFET 5-го поколения (Generation V), которые управляются оптоэлектронным генера-

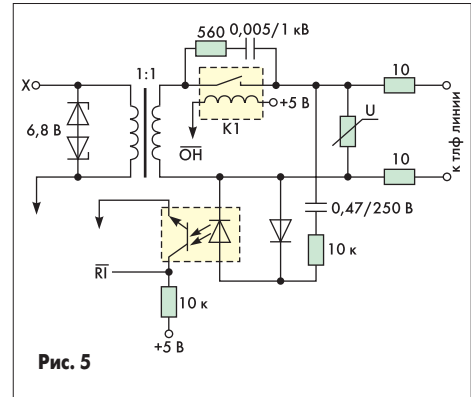


Рис. 5

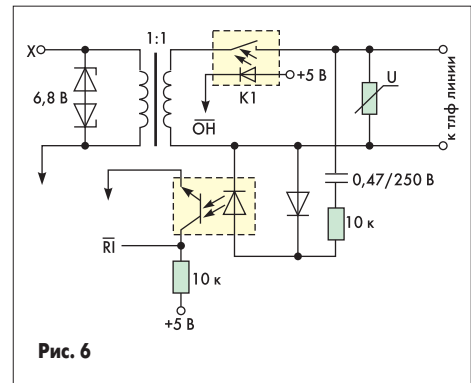


Рис. 6

тором. Реле PVN012 обладает хорошей линейностью, работает в цепях постоянного и переменного тока (2,5–4,5 А), имеет контактное сопротивление 100 мОм и напряжение пробоя между входом и выходом 4000 В (переменного тока).

Низкопрофильные реле серии PVO предназначены для работы в PCMCIA-картах.

Твердотельные реле для приборостроения и промышленной аппаратуры

Твердотельные реле для применения в приборостроении и системах промышленной автоматики — это самая большая группа реле как по количеству, так и по разнообразию конструкции и характеристик, потому что такие реле предназначены для выполнения самых разнообразных задач.

Существует три схемы включения твердотельных реле: схема А — для работы в цепях переменного и постоянного тока и схемы В, С — для работы в цепях постоянного тока (рис. 7). Соответственно, допустимый ток нагрузки минимален для схемы включения А, больше — для схемы включения В и максимален — для схемы включения С. Его величина для конкретной схемы включения указана в технических характеристиках реле.

Твердотельные оптоэлектронные реле IR по назначению нельзя четко выделить в от-

Таблица 1

Компания	Макс. напряжение нагрузки, В	Макс. ток нагрузки, мА (AC/DC)	Макс. ток нагрузки, мА (только DC)	Обозначение	Сопротивление включения, Ом (AC/DC)	Сопротивление включения, Ом (только DC)
IR	150	550	825	PVT212	0,75	0,25
Infineon	150	400	800	LH1517	3,0	0,85
Clare	60	1000	1800	LCA710	0,5	0,15
Aromat	200	250	500	AQV257	4,0	1,0

дельные группы, поскольку они могут выполнять свои функции в различных цепях. Поэтому при их подборе следует принимать во внимание «конкретную обстановку»: для работы в мультиплексорах, приборах, в которых требуются высокое быстродействие, линейность характеристик, высокая чувствительность и стабильность работы, следует использовать быстродействующие реле; в устройствах питания следует подбирать реле по рабочему напряжению и допустимому току нагрузки и обращать внимание на напряжение пробоя между входом и выходом. В тех случаях, когда не удастся подобрать необходимое реле, выйти из положения можно, если использовать схему на дискретных полевых или IGBT-транзисторных ключах и оптопару серии PVI.

Новое реле PVY116 предназначено для замены обычных и ртутных механических реле. Его особенность — высокое быстродействие, что делает это реле необходимым компонентом в автоматизированном измерительном оборудовании, приборах и системах сбора данных. PVY116 выпускают только в корпусе SOP-4, предназначенном для поверхностного монтажа.

Новые реле серии PVT212 предназначены для замены популярных твердотельных реле LH1517 производства AT&T Microelectronics и Infineon, а также одностипных реле других компаний. Сравнительные характеристики этих реле приведены в таблице 1.

Твердотельные реле типа PVX6012 выполнены на выходных ключах IGBT и HEXFRED (см. рис. 2, з) в 14-выводном корпусе DIP. Рабочее напряжение для них составляет 0–280 В (среднеквадратичное значение) на переменном токе и 0–400 В — на постоянном. Максимальный ток нагрузки составляет 1 А. Реле этого типа предназначены для работы в системах промышленной автоматизации и управления, контрольно-измерительном оборудовании, для замены электромагнитных и ртутных реле.

Твердотельные реле IR выпускаются в 6-, 8-, 14- и 16-выводных корпусах DIP, 6-выводных корпусах SMT и в корпусах Thin-Pak.

В таблице 2 приведен перечень возможных замен твердотельных реле других производителей на аналогичные реле IR.

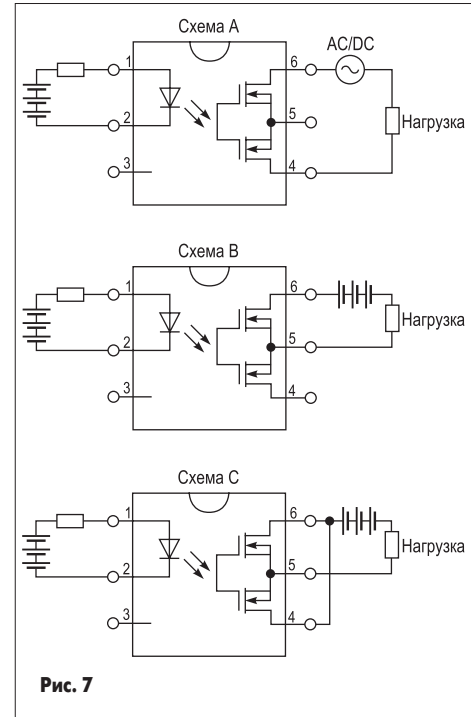


Рис. 7