

# Фотоэлектрические изоляторы серии PVI компании IR

International Rectifier является одним из лидеров в области силовой электроники. Полупроводниковые компоненты фирмы стали в этом сегменте стандартом де-факто и широко используются производителями конечной продукции для самых разнообразных применений. Наиболее интересными для российского рынка являются системы управления питанием (Power Management Devices, PMD), для которых предлагаются мощные MOSFET и системы на основе энергосберегающих технологий (Energy-Saving Products, ESP). Одна из неотъемлемых частей схемы силового устройства — гальваническая развязка управляющих сигналов и сигналов состояния отдельных силовых узлов, работающих с большими токами или напряжениями от управляющей части, ответственной за логику работы.

Максим СОЛОМАТИН  
solomatina@compel.ru

IR предлагает широкий выбор оптоэлектронных приборов — оптронов и твердотельных реле различного назначения (в терминологии компании — Microelectronic Relay, MER). Спектр оптоизолированных приборов покрывает все основные области их применения: системы контроля и автоматики, измерительные системы, телекоммуникационные реле [1, 2]. Последние 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 кон-

троллеров, драйверов соленоидов, клапанов, контакторов, электродвигателей, обмоток, индикаторов и дисплеев. 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, высокую чувствительность, низкое отклонение значения напряжения включения при изменении температуры.

На рис. 1 представлены варианты условных электрических схем твердотельных реле и оптронов, выпускаемых компанией IR.

В основе приборов — полевые транзисторы или IGBT. Первые обеспечивают высо-

кое быстродействие, но имеют относительно низкие рабочие напряжения, вторые при сравнительно низком быстродействии (частоты переключения ниже 20 кГц) способны напрямую работать с напряжениями в несколько сотен вольт.

## Фотоэлектрические изоляторы серии PVI

Несколько выделяются из спектра продукции фотоэлектрические изоляторы серии PVI (PhotoVoltaic Isolator), представляющие собой достаточно интересный класс приборов, являющийся средним между оптронами и твердотельными реле [3].

Фотоэлектрические изоляторы серии PVI состоят из инфракрасного светодиода и линейки из 10 последовательно соединенных фотодиодов, находящихся примерно в 1 мм от него за слоем прозрачного пластика. То есть можно говорить об управляемом изолированном источнике напряжения (рис. 2а). Эквивалентная схема представлена на рис. 2б. Входной ток  $I_{вх}$  питает GaAlAs-диод, излучение которого, в свою очередь, генерирует в фотоячейках ток  $I_g$  (источник тока на эквивалентной схеме), прямо пропорциональный входному току (отношение  $I_{вх} : I_g$  примерно 2000:1). Источник тока шунтируется диодоподобной характеристикой фотоячеек, представленных на рисунке 1б как 10 последовательно соединенных диодов D1–D10 с общим внутренним сопротивлением  $r$ . Выходное напряжение ограничено величиной порядка 6 В.

Проходная емкость между излучающим диодом и линейкой фотоячеек примерно 1 пФ, напряжение изоляции 2500 В. Время включения/выключения определяется собственной емкостью (примерно 100 пФ), а также емкостью и размером нагрузки. Для

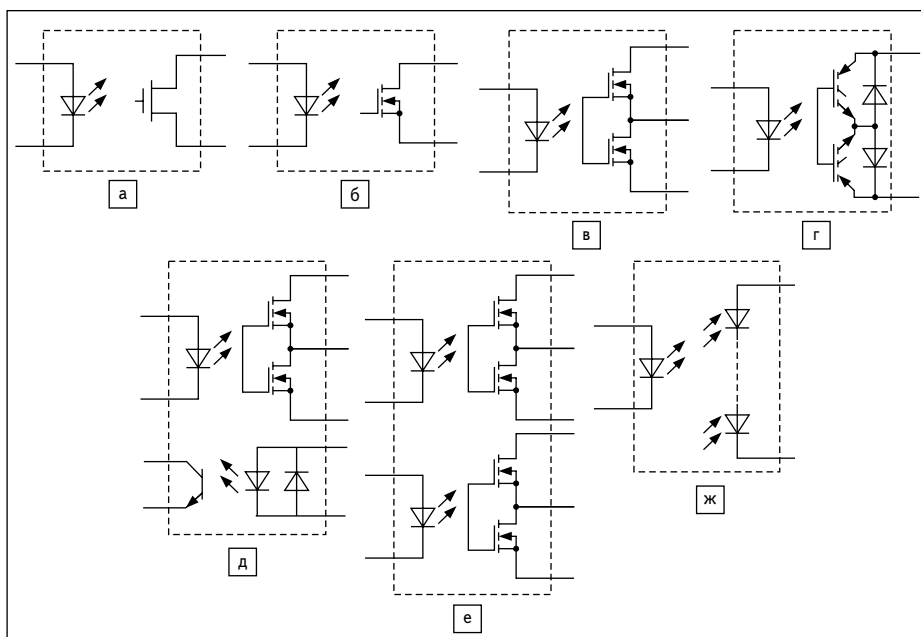


Рис. 1. Варианты схем оптоэлектронных приборов, предлагаемых IR

холостого режима оно составляет примерно 220 мкс (частота переключений, соответственно, до 4,5 кГц).

Типичный вид выходных характеристик фотоэлектрических изоляторов представлен на рис. 3. В среднем, выходная мощность PVI около 50 мкВт. Выходное сопротивление их, как источников напряжения, достаточно велико и составляет величину порядка 500 кОм, номинальный выходной ток порядка 8 мкА, что следует учесть при разработке конечного устройства. Так, при управлении силовым MOSFET-ключом активное сопротивление его как нагрузки велико и не будет играть существенной роли. На первый план выступит входная емкость транзистора: например, для IRF620 (ток канала до 5 А, рабочее напряжение до 200 В) она составит 600 пФ, что при максимальном выходном токе 20 мкА даст время ее заряда до 5 В порядка 150 мкс. Конечно, для ШИМ-управления такая скорость переключения будет во многих случаях недостаточной, но для относительно редких переключений состояний силового ключа, например включение или отключение нагрузки, будет вполне достаточной.

В случае необходимости выходное напряжение можно увеличить при помощи последовательного соединения нескольких корпусов PVI, то же и с выходным током: он может быть увеличен путем параллельного соединения нескольких приборов.

### Основные способы применения фотоэлектрических изоляторов

Фотоэлектрические изоляторы PVI позволяют по-новому взглянуть на схемотехнические решения ряда обычных задач управления силовой нагрузкой, а также позволяют достаточно простым способом добавить в схему управляемый «плавающий» источник тока или напряжения с изолированными цепями управления.

Рассмотрим ряд схем с применением фотоэлектрических изоляторов. Привычными для оптоизолированных приборов являются ключевые схемы — или прямое управление током нагрузки, или управление силовым ключом. Для фотоизоляторов подходит второй вариант (рис. 4).

Во многих случаях необходимо отключать нагрузку таким образом, чтобы ее потенциал после выключения был равен потенциалу общего провода. Удобнее всего это сделать при помощи, например, верхнего ключа — силового MOSFET (рис. 4а), замыкающего или размыкающего цепь питания на стороне источника питания.

Заметим, что в схеме на рис. 4а в качестве верхнего ключа используется *n*-канальный MOSFET, а не *p*-канальный, как обычно. Это позволяет манипулировать большими по величине напряжениями питания нагрузки.

Для открытия транзистора необходимо, чтобы напряжение на затворе превысило на-

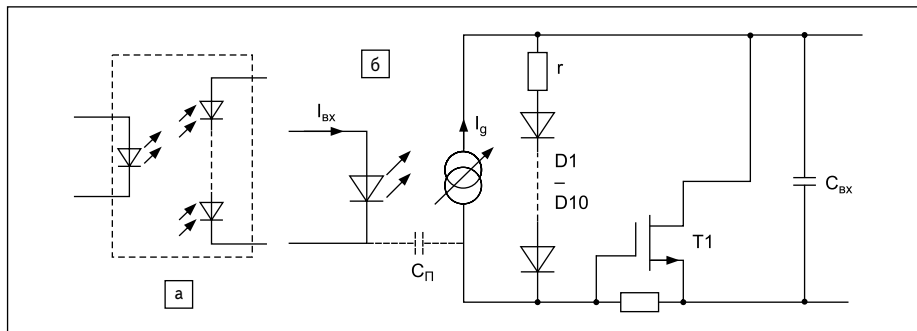


Рис. 2. Фотоэлектрический изолятор серии PVI: а) схема подключения; б) эквивалентная схема

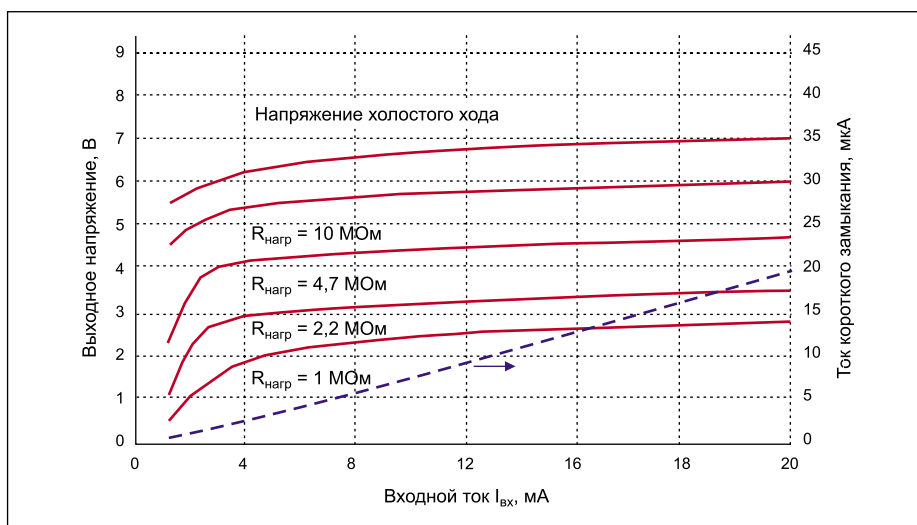


Рис. 3. Зависимости тока короткого замыкания и выходного напряжения при различной нагрузке от входного тока

пряжение на истоке и величину напряжения открывания транзистора. При отсутствии сигнала напряжение на выходе PVI равно 0, и транзистор закрыт. При поступлении сигнала на вход на выходе PVI генерируется напряжение порядка 5 В, которое и открывает силовой транзистор (транзисторы с напряжениями управления, совместимыми с логическими уровнями, будут открыты полностью, для остальных канал откроется частично, но это даст лишь чуть большее его сопротивление). Как уже было упомянуто выше, для больших значений напряжения открывания PVI можно

соединить последовательно; для повышения скорости открывания (фактически для уменьшения времени заряда емкости затвор-исток) фотоизоляторы соединяются параллельно. Гальваническая развязка цепей управления от транзистора и способ подключения PVI позволяют низковольтными сигналами (например от управляющей 3-В и 5-В логики) управлять поступлением тока в нагрузку, питаемую большими по величине напряжениями, например для автомобильных систем 12 или 24 В. В этом случае связка PVI+MOSFET выступает как твердотельное реле.

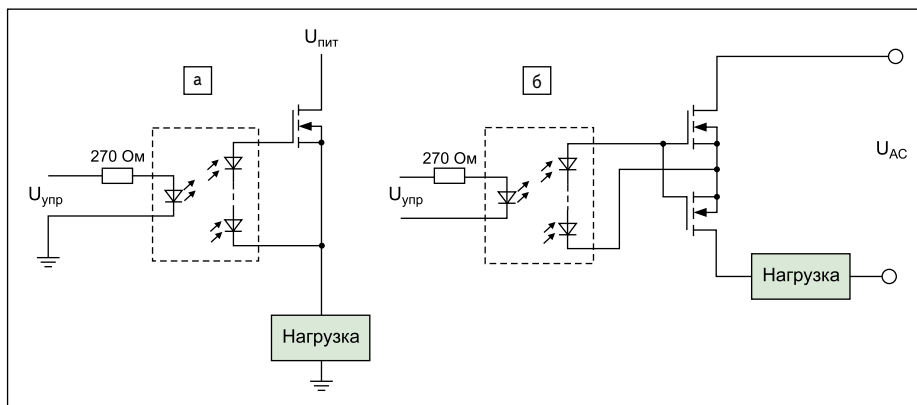


Рис. 4. Схема управления: а) верхним ключом; б) ключом переменного тока

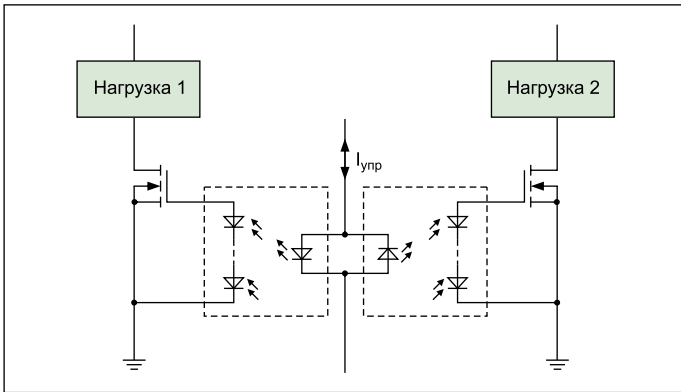


Рис. 5. Управление нагрузками в зависимости от направления тока

Для управления нагрузкой, питаемой переменным напряжением, схема рис. 4а несколько модифицируется: используются два встречно включенных MOSFET-ключа. PVI, так же, как и в предыдущем случае, управляет напряжением затвор–исток транзисторов. В зависимости от текущей полярности напряжения открыт один из транзисторов. Для транзистора, который в этот момент оказался в обратном включении, ток течет через встроенный защитный (реверсивный) диод.

Применяя два фотоэлектрических изолятора или один двухканальный и пару силовых ключей, можно получить схему управления токами нагрузок в зависимости от направления тока (рис. 5).

Постоянная проблема управления направлением вращения двигателя постоянного тока без переключения полярности источника питания также может быть решена при помощи силовых ключей и фотоэлектрических изоляторов.

Обычно данная проблема решается при помощи схемы, называемой H-мостом и реализуемой на дискретных биполярных или полевых транзисторах, или схемой в интегральном исполнении в виде отдельной микросхемы — H-моста. В том случае, если реализация схемы идет с использованием *n*- и *p*-канальных транзисторов (MOSFET), необходимы разнополярные сигналы управления, что усложняет схему управления и снижает ее помехоустойчивость. Схема H-моста исключительно на *p*-канальных транзисторах лишена этого недостатка, но диапазон рабочих напряжений ограничен 200 В (из-за особенностей технологии производства *p*-канальных транзисторов).

Специализированные микросхемы снимают эти ограничения, но для микросхем, позволяющих работать с высокими напряжениями (до 500 В), встают определенные проблемы, связанные с необходимостью постоянной подзарядки встроенного «плавающего» источника напряжения, осуществляемой от выходных ключей специальной стартовой процедурой. В случае длительной работы двигателя в одном направлении (нет смены направлений) регенерация будет невозможна или появляется риск нестабильной работы схемы.

Аналогичное решение на *n*-канальных транзисторах требует двух «плавающих» источников напряжения с изолированными сигналами управления для формирования напряжений на затворах ключей, поскольку в этом случае получается, что напряжения на затворах должны быть выше относительно напряжений на истоках. А напряжение на истоках зависит, в том числе, и от тока нагрузки. Несомненным достоинством схемы на *n*-канальных транзисторах является возможность работы с высокими напряжениями.

PVI позволяют элегантно решить проблему нескольких плавающих источников, так как они, по сути, ими и являются. Каждому *n*-канальному транзистору моста между истоком и затвором подключается выход фотоизолятора, а сигналы управления подключаются крест-накрест (рис. 6). Один сигнал отвечает за прямое направление вращения, второй — за обратное. Частота переключений, конечно, ограничена скоростью заряда входной емкости транзисторов, но, с другой стороны, найдется мало случаев, когда направление двигателя, питаемого напряжениями 200–400 В, требуется переключать чаще,

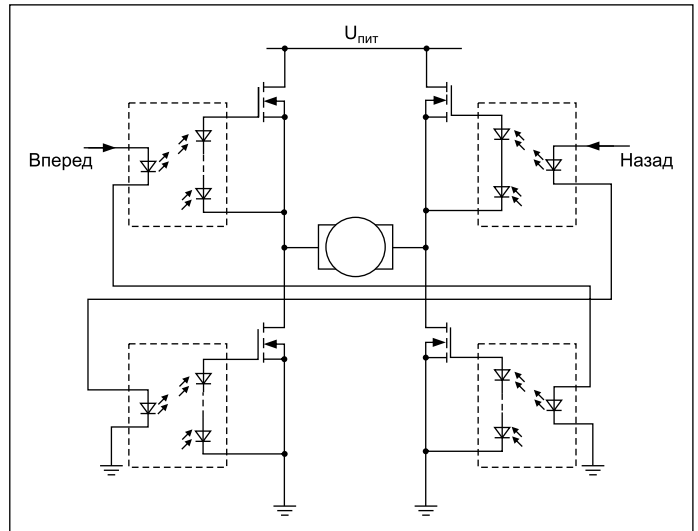


Рис. 6. Схема управления H-мостом

чем 500 раз в секунду. При этом сигналы управления гальванически развязаны от нагрузки, и, более того, возможно прямое управление ими от низковольтной логики.

Для ряда случаев будет полезна схема, ведущая себя аналогично триггеру, то есть изменяющая свое состояние по приходу положительных или отрицательных импульсов (рис. 7).

В выключенном состоянии ключа положительный импульс открывает транзистор. Ток через светодиод начинает течь, на выходе фотоизолятора появляется напряжение, которое будет поддерживать транзистор в открытом состоянии даже после прекращения импульса. Выключается транзистор отрицательным импульсом, подаваемым на вход.

Фотоэлектрические изоляторы могут быть также использованы для подзарядки маломощных аккумуляторов. Конечно, эффективность данного решения будет маленькой, но есть и свои преимущества: компактность, гальваническая развязка (до 2000–3000 В), высокая стабильность выходного напряжения при изменении входного напряжения. Так, для схемы, представленной на рис. 8, выходное напряжение ме-

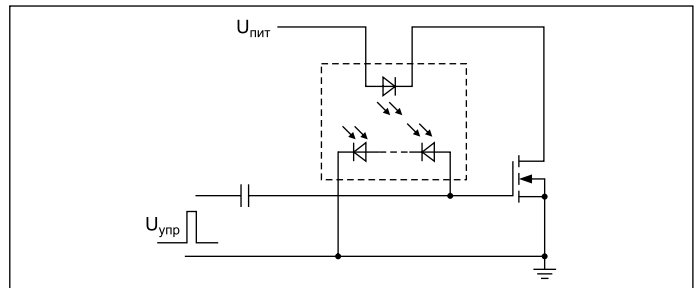


Рис. 7. Схема триггера

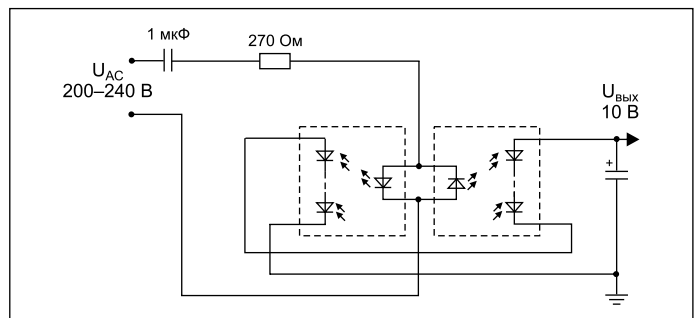


Рис. 8. Миниатюрный преобразователь переменного напряжения в постоянное

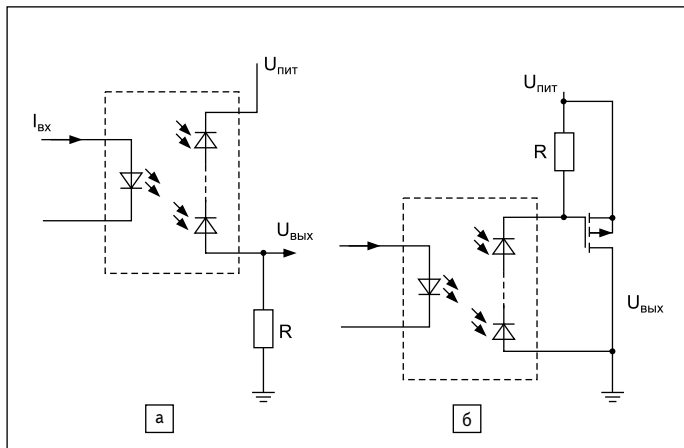


Рис. 9. PVI в фотодиодном режиме:

а) передача аналогового сигнала; б) драйвер верхнего ключа

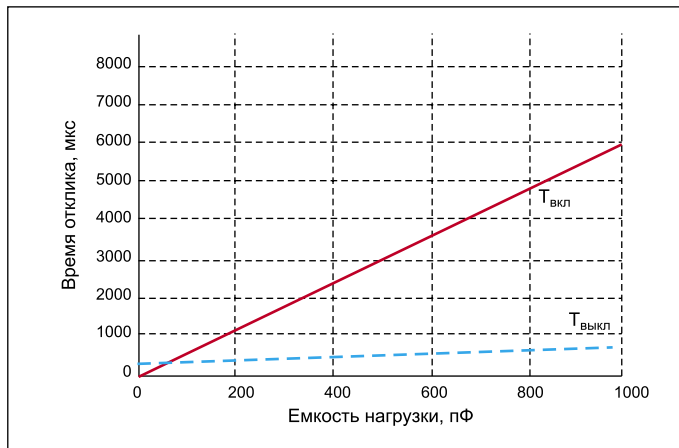


Рис. 10. Зависимость времени включения/выключения PVI5033 в зависимости от емкости нагрузки

няется всего на 10% при изменении входного напряжения с 240 до 24 В.

Совместно с аккумулятором данный преобразователь может быть использован для питания микромощного микроконтроллера (для ряда серий микроконтроллеров токи потребления лежат в пределах единиц или даже долей микроампер на мегагерц тактовой частоты).

Рассмотренные выше схемы предполагали работу фотоячеек в вентильном режиме (или в режиме фото-ЭДС). Фотодиодный режим включения даст ряд дополнительных возможностей. Поскольку в этом режиме основную роль будет играть фототок, зависимость выходного сигнала от входного тока будет практически линейной. Некоторым недостатком может быть то, что работа фотоячеек PVI в случае приложения к ним обратного напряжения не документирована, и, следовательно, основные характеристики (в частности, фототок в зависимости от входного тока) придется предварительно исследовать.

Включение фотоячеек в фотодиодном режиме может быть использовано для гальванически развязанной передачи аналогового сигнала между отдельными устройствами или каскадами схемы (рис. 9а). Не исключает данный режим и применение PVI в качестве драйвера силового ключа (рис. 9б).

### Основные параметры фотоэлектрических изоляторов IR

International Rectifier предлагает несколько серий фотоэлектрических изоляторов в DIP-корпусах и в корпусах поверхностного монтажа (SMT) с одним или двумя независимыми каналами [4, 5].

Каналы в двуканальных оптоизоляторах могут быть использованы независимо друг от друга, при этом обеспечивается взаимная их изоляция вплоть до напряжений 1200 В. Как уже упоминалось выше, возможно параллельное или последовательное включение отдельных каналов для получения больших номиналов выходных напряжений или токов.

Таблица. Основные характеристики фотоэлектрических преобразователей серий PVI

Микросхема	Корпус	Количество выходов	Напряжение изоляции, В (вход-выход/ между каналами)	Выходное напряжение, В	Минимальный ток короткого замыкания, мкА	Номинальный управляющий ток, мА
PVI5013R	8-pin DIP	2	3750/1200	5	1	10
PVI5013RS	8-pin SMT	2	3750/1200	3	1	5
PVI5033RS	8-pin SMT	2	3750/1200	5	5	5
PVI5033R	8-pin DIP	2	3750/1200	5	5	5
PVI1050NS	8-pin SMT	2	2500/1200	5	5	10
PVI1050N	8-pin DIP	2	2500/1200	5	5	10
PVI5080N	mod. 8-pin DIP	1	4000	5	8	10
PVI5080NS	mod. 8-pin SMT	1	4000	5	8	10
PVI5050NS	mod. 8-pin SMT	1	4000	5	5	10
PVI5050N	mod. 8-pin DIP	1	4000	5	5	10

Так, параллельное включение каналов оптоизоляторов серий PVI5033, PVI1050 даст на выходе минимальный ток короткого замыкания 10 мкА при номинальном входном токе (таблица). Они вполне способны напрямую управлять мощными MOSFET или IGBT, обеспечивая времена включения не более 7 мс.

На рис. 10 представлена зависимость времени включения/выключения PVI5033 в зависимости от емкости нагрузки (в случае силового транзистора — его входная емкость).

При выключении разряд емкости идет через последовательно соединенные фотодиоды, которые в этом случае будут работать как обычные диоды в прямом включении. Общее сопротивление, через которое происходит разряд собственной выходной емкости и входной емкости нагрузки составляет 350–1500 Ом.

### Заключение

Как видно из представленного обзора и характеристик, приведенных в таблице, фотоэлектрические изоляторы могут успешно применяться в низкочастотных схемах управления силовой нагрузкой, во многих случаях существенно упрощая схемотехнику цепей управления.

Сочетание фотоэлектрического изолятора и  $n$ -канального MOSFET позволяет оперировать большими уровнями токов и напряжений, подаваемых на нагрузку независимо от спосо-

ба включения: доступны варианты включения в качестве и верхнего, и нижнего ключа при сохранении уровня управляющих сигналов.

Напряжение изоляции до нескольких киловольт предупреждает повреждение управляющей логики.

Интересны также и специфические применения PVI в качестве «плавающих» источников постоянного напряжения, что позволяет добавить функциональность силовой схеме за счет появления собственного, пусть и маломощного, управляющего контроллера или логической схемы. Это решение не претендует на эффективность, но подкупает простотой и компактностью реализации.

### Литература

1. Никитин А. Оптоэлектронные реле компании International Rectifier // Новости электроники. 2009. № 12.
2. The PVI — a New Versatile Circuit Element. <http://www.irf.com/technical-info/appnotes/an-1017.pdf>
3. Series PVI5013RPbF Photovoltaic Isolator. <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/pvi5013r.pdf>
4. Series PVI5033RPbF Photovoltaic Isolator. <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/pvi5033r.pdf>
5. Series PVI-NPbF. <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/pvin.pdf>