

Гальваническая развязка и прямое управление ключами — оптические реле и изоляторы от International Rectifier

Существует множество способов гальванической развязки сигналов: оптроны, трансформаторы, реле. Каждое из этих устройств имеет достоинства и недостатки. Компания International Rectifier предлагает свое решение проблемы гальванической изоляции в виде твердотельных реле и оптических изоляторов. Твердотельные реле International Rectifier сочетают в себе как простоту и надежность оптронов, так и силовые характеристики электромеханических реле. Оптические изоляторы не обладают встроенным ключевым элементом, но позволяют напрямую управлять мощными транзисторами.

Кирилл АВТУШЕНКО
avtushenko@compel.ru

К сожалению, не всегда возможно найти идеальное решение при реализации гальванической развязки. Транзисторные оптроны просты в применении и надежны, но не позволяют коммутировать мощные сигналы без внешнего ключа. Электромеханические реле способны коммутировать очень большую мощность, но имеют относительно небольшой ресурс, дребезг при переключении, большую мощность управления и т. д. Твердотельные реле просты и надежны в управлении, как транзисторные оптроны, и в то же время имеют встроенные силовые ключи, позволяющие коммутировать мощную нагрузку.

Общая характеристика твердотельных реле International Rectifier

Твердотельное реле представляет собой оптически изолированный полупроводниковый ключ на базе полевых транзисторов. Входной токовый сигнал определяет интенсивность оптического излучения GaAlAs-

светодиода. Это излучение принимается фотогоальваническим генератором, который управляет выходными транзисторами.

В зависимости от реализации выходного каскада твердотельное реле способно работать либо с сигналами постоянного и переменного тока (рис. 1а, б, г), либо только с сигналами постоянного тока (рис. 1в).

Анализ принципов работы и построения твердотельных реле позволяет определить их преимущества по сравнению с обычными электромеханическими реле (ЭМР):

- Низкая стоимость. Технологический процесс создания полупроводниковых компонентов дешевле, чем процессы создания ЭМР. Например, стоимость PVT412L дешевле ЭМР-аналогов примерно на 15%.
- Повышенная надежность и срок службы. Контакты ЭМР разрушаются в процессе эксплуатации под воздействием механических, электрических, химических и других воздействий. У твердотельных реле механические части отсутствуют.
- Экономия места на плате. Отсутствие внешних цепей и миниатюрные корпуса

позволяют минимизировать занимаемую площадь.

- Отсутствует механический дребезг при переключении и, соответственно, нет необходимости в цепях защиты от дребезга, что дополнительно экономит место на плате и снижает итоговую стоимость изделий.
- Меньшие потери мощности управления. Токи управления составляют единицы-десятки мА.
- Повышенное быстродействие. Компания IR выпускает нормально разомкнутые одиночные (1 FORM A) и сдвоенные (2 FORM A) твердотельные реле. Важное значение имеет тип применяемых транзисторов. В твердотельных реле от IR в основном используется запатентованная технология полевых транзисторов HEXFET, а в более высоковольтных мощных применяются БТИЗ (IGBT).

Твердотельные реле от IR можно разделить на несколько групп (рис. 1):

- Низковольтные реле: семейства PVN и PVG. Обладают повышенной величиной коммутируемых токов (от 1 А).

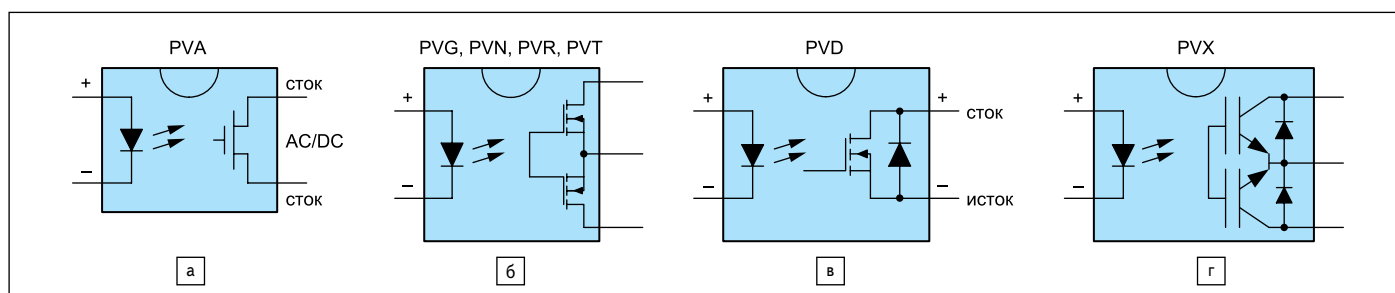


Рис. 1. Типы твердотельных реле от IR

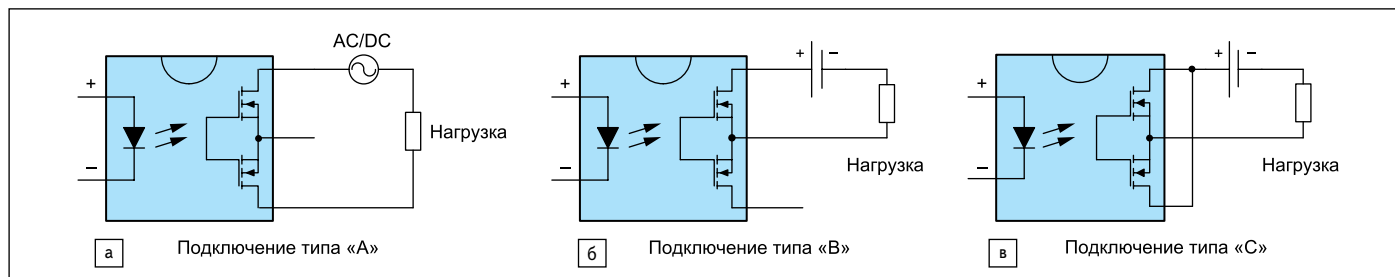


Рис. 2. Варианты подключения твердотельных реле с общим выводом

- Быстродействующие реле: семейства PVA, PVD и PVR. Отличаются малым временем включения/выключения и малым сопротивлением во включенном состоянии.
- Твердотельные реле общего назначения: PVT. Имеют среднее быстродействие, но способны коммутировать нагрузку на напряжении до 400 В.
- Высоковольтное мощное реле PVX6012. Способно работать при напряжении до 400 В и коммутировать ток до 1 А. Выходной каскад может иметь дополнительный общий вывод (рис. 16, г), позволяющий реализовать различные схемы подключения (рис. 2):
 - «А». Стандартный тип подключения для коммутации постоянных и переменных сигналов произвольной полярности.
 - «В». Этот тип подключения имеет повышенную нагрузочную способность, но используется только для коммутации сигналов жестко заданной полярности.
 - «С». Имеет наибольшую нагрузочную способность. Как и в случае с подключением типа «В», применяется только для однополярных сигналов.

Обзор твердотельных реле от International Rectifier

Низковольтные реле PVN

Реле этого семейства (рис. 16) предназначены для работы с сигналами постоянного/переменного тока и напряжением до 20 В (табл. 1). Время включения составляет всего 0,5 мс, а выключения — единицы миллисекунд. Реле обладают высокой нагрузочной способностью, которая достигает единиц ампер.

Наиболее совершенным представителем семейства является реле PVN012A. По сравнению с предшественником (PVN012) сопротивление открытого канала у PVN012A снижено более чем на 50%, в то время как величина постоянно протекающего тока возросла на 37,5%.

Основные области применения этого семейства — портативная электроника, компьютеры, аудиооборудование, измерительная и инструментальная электроника.

Низковольтные реле PVG

Эти реле (рис. 16) имеют более высокое, по сравнению с PVN, значение сопротивле-

ния открытого канала (десятки мОм), что приводит к снижению величины максимального тока (табл. 1). Однако у них выше значения рабочего напряжения (60 В) и быстродействие. Для PVG612 максимальное время выключения составляет всего 2 мс.

Широкий диапазон рабочих напряжений и быстродействие делают PVG идеальным выбором в промышленной низковольтной электронике: эти реле используют в программируемых логических контроллерах, контроллерах исполнительных механизмов и электроавтоматике станков ЧПУ.

Быстродействующие реле PVA

Реле этого семейства (рис. 1а) предназначены для коммутации сигналов переменного и постоянного тока с рабочим напряжением до 300 В (табл. 2). Главной особенностью семейства является уникальное быстродействие: время переключения реле PVA305х — порядка десятков микросекунд. Области применения — бытовая и промышленная электроника, тестовое оборудование, АТС, системы сбора данных, мультиметры.

Быстродействующие реле PVR

Представители этого семейства имеют пару твердотельных реле в одном корпусе. Электрические характеристики соответствуют характеристикам реле PVA1352/PVA1354 (табл. 2). Применение семейства PVR наиболее оправдано при реализации мостовых и многофазных схем, а также в системах мультиплексирования и сбора данных.

Быстродействующие реле PVD

Эти реле (рис. 1в) предназначены для коммутации сигналов постоянного тока напряжением до 100 В (табл. 2). Время переключения составляет десятые доли миллисекунд, что позволяет применять их в быстродействующих цепях портативной и измерительной электроники, промышленной автоматике и компьютерной техники.

Твердотельные реле общего назначения PVT

Реле предназначены для коммутации сигналов переменного и постоянного тока. Представители этого семейства способны коммутировать сигналы с напряжением

Таблица 1. Низковольтные твердотельные реле от IR

Наименование	Корпус	Тип	Ураб, В	Роткр, Ом		Iвх max, мА		Твкл, мкс	Твыкл, мкс	Iупр, мА
				Rac	Rdc	Iac	Idc			
PVG612(S)PBF	DIP-6 (SMT-6)	1 Form A	60	0,5	0,15	1000	2000	2000	500	5
PVG612A(S)PBF			60	0,1	0,035	2000	4000	3500	500	5
PVG613(S)PBF			60	0,5	0,15	1000	2000	2000	500	5
PVN012A(S)PBF			20	0,05	0,015	4000	6000	3000	500	5
PVN012(S)PBF			20	0,1	0,04	2500	4500	5000	500	3
PVN013(S)PBF			20	0,1	0,065	2500	4500	5000	500	3

Таблица 2. Быстродействующие твердотельные реле от IR

Наименование	Корпус	Тип	Ураб, В	Роткр, Ом		Iвх max, мА		Твкл, мкс	Твыкл, мкс	Iупр, мА	Rвыкл, ГОм
				Rac	Rdc	Iac	Idc				
PVA1352N(S)PBF	DIP-8 SMT-8	1 Form A	100	5	—	375	375	150	125	5	0,1
PVA1354N(S)PBF			100	5	—	375	375	150	125	5	10
PVA2352N(S)PBF			200	24	—	150	150	100	110	5	0,1
PVA3054N(S)PBF			300	160	—	50	50	60	100	5	10
PVA3055N(S)PBF			300	160	—	50	50	60	100	5	100
PVA3324N(S)PBF			300	24	—	150	150	100	110	2	10
PVA3354N(S)PBF			300	24	—	150	150	100	110	5	10
PVAZ172N(S)PBF			60	0,5	—	1000	1000	2000	500	10	0,1
PVD1352N(S)PBF			100	—	1,5	—	550	150	125	5	0,1
PVD1354N(S)PBF			100	—	1,5	—	550	150	125	5	10
PVR1300NPBF	DIP-16		100	5	3	360	420	150	125	2	0,1
PVR1301NPBF			100	5	3	360	420	150	125	2	10

Таблица 3. Твердотельные реле общего назначения

Наименование	Корпус	Тип	Ураб, В	Роткр, Ом		Iвых max, mA		Твкл, мкс	Твыкл, мкс	Iупр, mA
				Rac	Rdc	Iac	I dc			
PVT212(S)PBF	DIP-6 (SMT-6)	1 Form A	150	0,75	0,25	550	825	3000	500	5
PVT312L(S)PBF			250	15	4,25	170	300	3000	500	2
PVT312(S)PBF			250	10	3	190	320	3000	500	2
PVT412A(S)PBF			400	6	2	240	360	3000	500	3
PVT412L(S)PBF			400	35	9	120	200	2000	500	3
PVT412(S)PBF			400	27	7	140	210	2000	500	3
PVT322A(S)PBF	DIP-8 (SMT-8)	2 Form A	250	8	8	170	170	3000	500	2
PVT322(S)PBF			250	10	10	170	170	3000	500	2
PVT422(S)PBF			400	35	35	120	120	2000	2000	2

Таблица 4. Характеристики мощного твердотельного реле PVX6012PBF

Наименование	Корпус	Тип	Ураб, В	Iвых max, mA		Твкл, мкс	Твыкл, мкс	Iупр, mA	Rвыкл, ГОм
				Iac	I dc				
PVX6012PBF	DIP-14	1 Form A	400	1000	1000	7000	1000	5	0,04

до 400 В. В твердотельных реле с индексом L реализована активная схема ограничения тока при переключениях. Модели отличаются средним быстродействием. Основная область применения — телекоммуникационное оборудование.

В одном корпусе PVT322/PVT422 (табл. 3) заключено сразу два реле. Это удобно при их применении в многофазных схемах, генераторах сдвоенных импульсов и других устройствах.

Мощное высоковольтное твердотельное реле PVX6012PBF

Для повышения максимальной мощности выходной каскад PVX6012PBF выполнен на IGBT-транзисторах (рис. 1г). Это позволяет увеличить коммутируемый ток до 1 А при рабочем напряжении 400 В (табл. 4). Благодаря высокой выходной мощности PVX6012PBF можно использовать вместо электромеханических реле в инверторах, мостовых схемах и схемах управления исполнительных механизмов. В ряде приложений PVX6012PBF могут заменить ртутные переключатели.

Судя по данным, приведенным в таблицах, рабочее напряжение твердотельных реле от IR ограничено 400 В. Для расширения пределов используемых напряжений можно воспользоваться оптическими изоляторами.

Оптические изоляторы от International Rectifier

В отличие от описанных выше твердотельных реле выходным сигналом оптических изоляторов (ОИ) является не ток, а напряжение.

Основным элементом изоляторов PVI является группа фотоячеек, расположенных на расстоянии 1 мм от входного GaAlAs-светодиода. Для повышения эффективности передачи инфракрасного

излучения пространство между диодом и фотоячейками заполнено специальным прозрачным полимером, играющим роль световода. Полученную структуру дополнительно заливают непрозрачным пластиком, для исключения влияния внешнего излучения, и помещают в стандартный 8-выводный корпус.

Фотоячейки могут генерировать напряжение до 5 В, однако нагрузочная способность их невелика: ток короткого замыкания составляет всего несколько мкА. Для оценки параметров оптического изолятора необходимо обратиться к его эквивалентной схеме (рис. 3).

Входной ток I1 преобразуется в инфракрасное излучение светодиода VD. Излучение достигает поверхности фотоячеек, которые осуществляют обратное преобразование принятого излучения в ток Ig. Величина

тока Ig прямо пропорциональна мощности принятого излучения. Физические, электрические и механические ограничения определяют коэффициент передачи I1/Ig на уровне 1000:1. Передаточная характеристика практически линейна, однако имеет место отрицательный температурный коэффициент.

К сожалению, фотоячейки не являются идеальным источником тока. Источник тока Ig оказывается шунтированным паразитной цепочкой, которая может быть представлена в виде десяти последовательных диодов VD1–VD10. Резистор r представляет собой общее сопротивление идеальных диодов VD1–VD10 и сопротивление поверхности фотоячеек, определяющее токи утечки. Такая схема помогает объяснить ограничение выходного напряжения на уровне 6 В и появление отрицательного температурного коэффициента.

Сопротивление R характеризует поверхностное сопротивление корпуса и токи утечки через поверхность. Емкость между входным светодиодом VD и фотоячейками составляет около 1 пФ, а электрическая прочность превышает 2500 В AC. Выходная емкость фотоячеек представлена в виде конденсатора Cg. Наличие выходной емкости ограничивает время переключения, которое зависит от характера и величины нагрузки. Типовые значения времени включения/выключения составляют порядка 220 мс.

В итоге можно сделать вывод, что оптический изолятор можно представить как управляемый источник напряжения (рис. 3б) с очень большим сопротивлением (порядка 500 кОм). Характеристики оптических изоляторов от IR перечислены в таблице 5.

Область применения оптических изоляторов обширна. Приведем некоторые примеры.

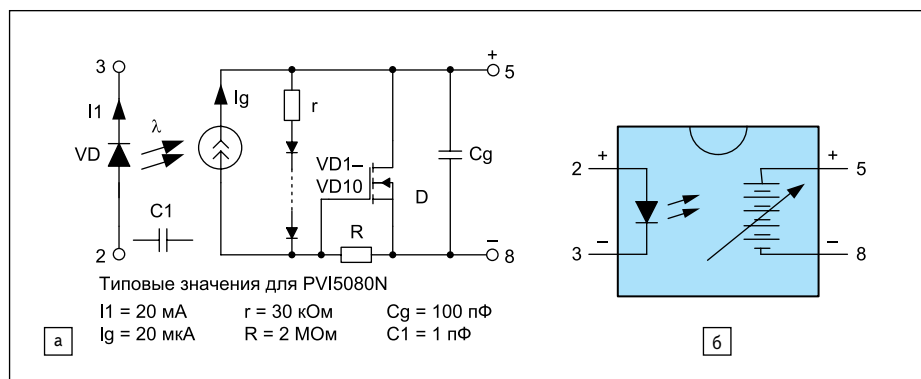


Рис. 3. Эквивалентные схемы оптического изолятора: а) подробная; б) упрощенная

Таблица 5. Характеристики оптических изоляторов IR

Наименование	Корпус	Тип	Число изоляторов в корпусе	Uвых, В	Iкз, мкА	Iупр, mA
PVI1050N(S)PBF	DIP-8 (SMT-8)	2 Form A	2	5	5	10
PVI5013R(S)PBF	DIP-8 (SMT-8)	2 Form A	2	5	1	10
PVI5033R(S)PBF	DIP-8 (SMT-8)	2 Form A	2	5	5	5
PVI5050N(S)PBF	DIP-8 (SMT-8)	1 Form A	1	5	5	10
PVI5080N(S)PBF	DIP-8 (SMT-8)	1 Form A	1	5	8	10

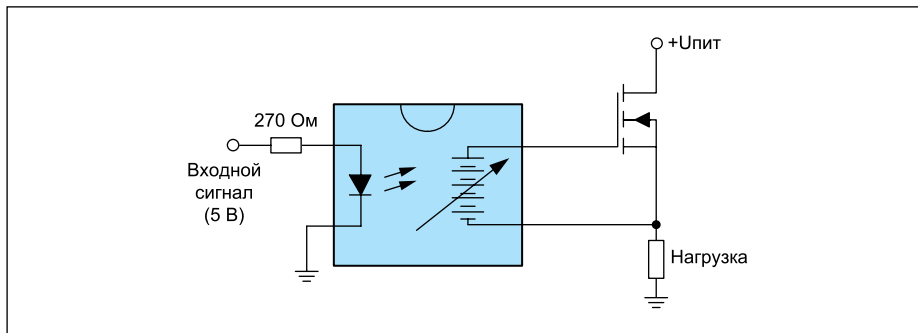


Рис. 4. Управление высоковольтным ключом с помощью оптического изолятора

Управление ключом верхнего плеча

N-канальные полевые транзисторы имеют лучшие характеристики, чем P-канальные. Однако при использовании N-MOSFET в качестве верхнего плеча возникает проблема: потенциал затвора должен быть выше потенциала истока и, следовательно, выше напряжения питания. ОИ позволяет не только эффективно открывать верхний N-MOSFET, но и изолировать источник входного сигнала от повышенного напряжения (рис. 4). ОИ генерирует напряжение, не зависящее от напряжения на ключе и величины протекающего тока. В результате получается аналог твердотельного реле с мощностью, определяемой мощностью применяемого транзистора.

Управление ключами мостового преобразователя

ОИ дают преимущество при использовании мостового преобразователя для управления двигателями постоянного тока. Основной особенностью является необходимость в реверсе направления вращения двигателя. При использовании моста, построенного на комплементарных парах N-

и P-канальных MOSFET, нужно получить четыре управляющих сигнала двух типов: сигналы управления P-канальными транзисторами, формируемые относительно напряжения питания, и сигналы управления N-канальными транзисторами, формируемые относительно общей точки. Такое решение снижает помехоустойчивость схемы и усложняет ее реализацию. Кроме того, использование P-канальных транзисторов ограничивает величину максимального напряжения (порядка 200 В).

Выходом из ситуации является использование четырех N-канальных транзисторов. При этом если для управления ключами применяются специализированные драйверы (например, IRS2110), то величина максимального напряжения возрастает до 500 В. Однако такие драйверы относительно сложны, так как основаны на использовании бутстрепной схемы. К тому же такая схема требует постоянного обновления (включения/выключения транзистора — для перезарядки бутстрепной емкости).

С помощью ОИ от IR можно получить простое и изящное решение для низко-

частотных мостовых драйверов с питающим напряжением до 2500 В. В простейшем случае (рис. 5) можно сократить число управляющих сигналов до двух. При этом входы ОИ противоположащих верхнего и нижнего плеч включаются последовательно.

Следует отметить, что эти же устройства подходят и для трех-, четырехфазных схем, используемых для инверторов и шаговых двигателей.

Заключение

Твердотельные реле от International Rectifier способны коммутировать напряжения до 400 В и токи в несколько ампер. Это делает их оптимальной альтернативой электромеханическому реле во многих областях электроники, начиная от промышленной автоматизации и телекоммуникационного оборудования и заканчивая компьютерной и измерительной техникой.

Оптические изоляторы PVI подходят для реализации гальванически развязанного управления мощными полевыми транзисторами без дополнительных драйверов, например в системах управления двигателями постоянного тока.

Литература

1. Application Note AN-1017. The PVI — a New Versatile Circuit Element. International Rectifier, 2005.
2. Serkuczewski A. Replacing Mechanical Relays with IR's PVT412L Microelectronic Relay in Fax/Modem Designs. International Rectifier, 2002.
3. Криночкин Р., Барабан С. Быстрое переключение и гальваническая развязка: оптоэлектронные реле от IR // Новости электроники. 2012. № 2.
4. www.irf.com

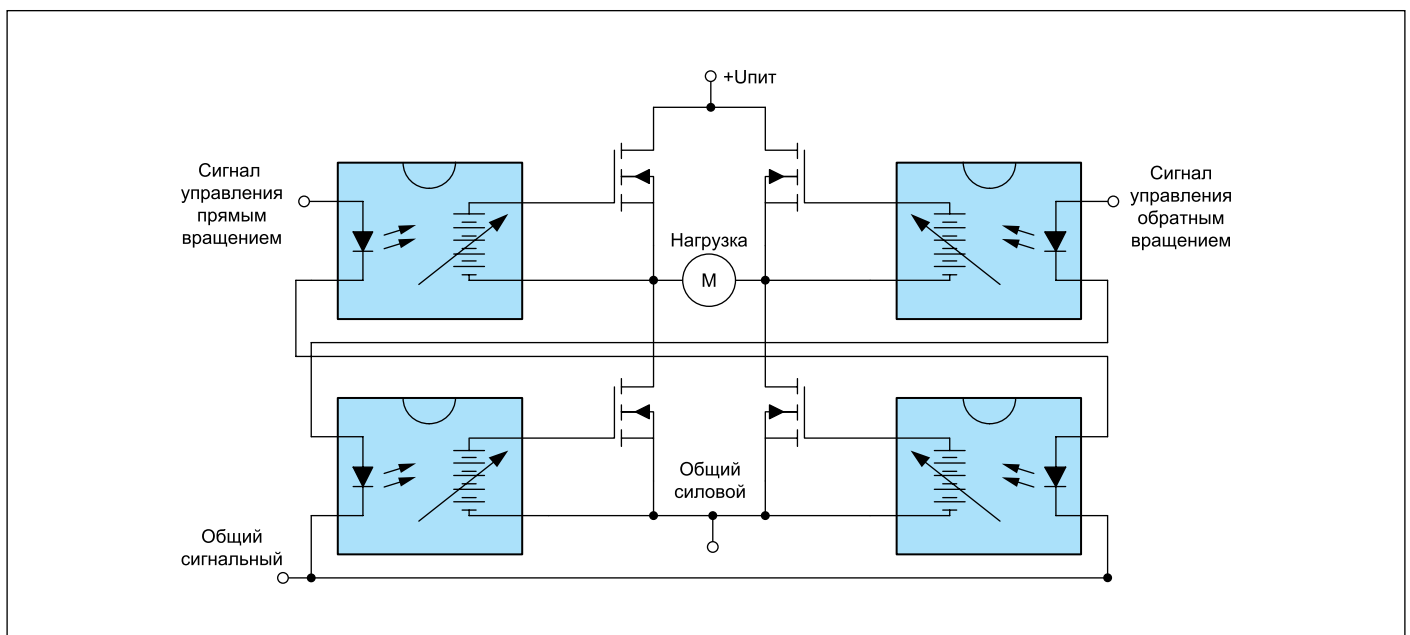


Рис. 5. Использование оптических изоляторов в мостовой схеме