

Применение герметичных оптронов в военной и космической электронике

Особо важные отрасли, предъявляющие строгие требования к надежности (космос, авиация, вооруженные силы, флот), всегда полагаются на высоконадежные герметичные компоненты. В этом случае слишком велики риски, связанные с применением пластмассовых электронных компонентов в жестких условиях эксплуатации, когда компоненты могут подвергаться воздействию экстремальных температур, влажности, радиации, ударных нагрузок и ускорений. Устройства с оптической развязкой (оптопары, оптроны), обеспечивающие передачу данных с гальванической развязкой, существуют уже 30 лет.

Джамшед Н. ХАН (Jamshed N. KHAN)

Последние достижения в сфере технологий конструирования и изготовления передатчиков и приемников позволили расширить функциональность, повысить степень интеграции и улучшить технические характеристики герметичных оптронов для применения в электронной аппаратуре различного назначения. Теперь существуют герметичные цифровые оптроны для высокоскоростной цифровой передачи данных и аналоговые оптроны для измерения напряжения и тока, управления интеллектуальными модулями питания (Intelligent Power Module, IPM) в приводах электродвигателей и порогового детектирования высоких переменных и постоянных напряжений. Кроме того, имеются герметичные оптроны на мощных полевых МОП-транзисторах (HSSR-7111) для использования в коммутационных схемах. В зависимости от области применения эти высоконадежные герметичные оптроны предлагаются в обычном исполнении, а также в исполнениях класса Н (высокая надежность) и К (высочайшая надежность). Большинство семейств оптронов выпускаются в корпусах различного типа (8- и 16-контактный корпус DIP, 16-контактный плоский корпус и 20-контактный корпус LCC) и с конфигурациями выводов для традиционного и поверхностного монтажа.

Для чего нужны герметичные оптроны?

Безопасная оптическая развязка с использованием оптопар, или оптронов, — устоявшаяся, проверенная временем и чрезвычайно надежная технология. В настоящее время на рынке представлены современные оптроны для высокоскоростной цифровой передачи данных (до 20 Мбит/с), аналогового измерения тока и напряжения, обратной связи

и управления. Имеются также специализированные оптроны для применения в схемах управления инверторами (на IGBT или полевых МОП-транзисторах) и интеллектуальными модулями питания, а также в мощных пороговых детекторах переменных и постоянных напряжений.

Традиционно оптроны широко используются для защитной гальванической развязки маломощных, чувствительных и дорогостоящих электронных компонентов от мощных цепей. Вдобавок оптроны великолепно подходят для сопряжения цепей с высокой разностью потенциалов общего провода, защиты цепей от высоких синфазных напряжений и подавления шумов и помех, вызванных протеканием нежелательных токов через паразитные контуры с замыканием на «землю». Оптроны также применяются для усиления сигналов, включения/выключения различных цепей и изоляции людей от потенциально опасных источников питания и токоведущих частей высокого напряжения, например пациентов от высоковольтных медицинских приборов. Прогресс в области технологий конструирования и изготовления оптронов открыл возможности для разработки новых специализированных типов этих устройств, расширения их функциональности и совершенствования их технических характеристик.

Первой областью применения оптронов для подавления синфазных помех и защиты от бросков напряжения была аппаратура цифровой передачи данных. Сегодня одной из сфер, в которых оптроны получают все более широкое распространение, являются электронные приводы электродвигателей с переменной частотой вращения. Существуют также специализированные оптроны для управления инверторами (на базе IGBT или полевых МОП-транзисторов) и интеллекту-

альными модулями питания, рассчитанные на отдачу или потребление больших токов. Сложные аналоговые устройства оптической развязки все чаще используются вместо датчиков Холла для измерения и контроля переменных фазных токов и постоянных токов шин, а также измерения напряжений на шинах и температуры.

Другой привлекательной особенностью герметичных оптронов является возможность эксплуатации в широком диапазоне температур (от -55 до $+125$ °C), в условиях высокой влажности (на военном и гражданском флоте), сильных механических ударных нагрузок (авиационная и спутниковая техника) и интенсивной радиации (космос). Основные преимущества герметичных оптронов таковы:

- высокая надежность, высокое качество и длительный срок службы;
- возможность работы на переменной скорости и частоте;
- простота конструкции;
- относительно небольшие размеры и площадь посадочного места;
- относительно малая рассеиваемая мощность;
- безопасная оптическая развязка (гальваническая);
- прочность, способность выдерживать тепловые и механические ударные нагрузки;
- устойчивость к помехам, вызванным протеканием токов по паразитным контурам с замыканием на «землю»;
- работа при высоких температурах;
- радиационная стойкость, обеспечивающая возможность применения в космической аппаратуре;
- развязка между устройствами с различными уровнями напряжений и сдвиг уровня;
- усиление и ослабление цифровых и аналоговых сигналов;

- изоляция операторов от потенциально опасных силовых цепей и токоведущих частей;
- блокирование распространения шумов и помех между управляющими и силовыми цепями;
- защита дорогостоящих цифровых цепей от переходных перенапряжений.

Применение герметичных оптронов в цифровых схемах

Современные коммуникации базируются на цифровой передаче данных. Технический прогресс в таких областях, как компьютеры, спутники, телеметрия, электроника и интегральные схемы, создал условия для генерации и передачи огромных объемов данных. На рис. 1 показаны основные элементы системы передачи данных с оптической развязкой, которая состоит из оптрона, передатчика или линейного формирователя, линии или среды передачи, приемника и цифровой управляющей логики на обеих сторонах.

Паразитные токи, протекающие между общими проводами двух сторон линии передачи, часто приводят к возникновению смещений и шума, нарушающих целостность данных. Использование оптрона, как показано на рис. 1, препятствует протеканию тока между линией передачи и управляющей логикой, роль которой зачастую играет процессор удаленного компьютера. Еще одной проблемой являются синфазные помехи, связанные со сдвигом потенциала общего провода. Оба эти эффекта — токи через паразитный контур с замыканием на «землю» и синфазные помехи — можно устранить с помощью оптрона.

Распространенное заблуждение касательно применения оптронов для цифровой передачи данных состоит в том, что их можно непосредственно использовать в качестве линейных формирователей или приемников. Вообще говоря, входные и выходные каскады оптронов совместимы с ТТЛ и/или КМОП-логикой. Эти каскады не оптимизированы для непосредственной работы в роли линейных формирователей или приемников (хотя при наличии детального представле-

Таблица 1. Некоторые распространенные стандарты цифровой передачи данных

	RS-232C/D	RS-423A	RS-422A	RS-485	Токовая петля 20 мА
Режим	Несимметричный	Несимметричный	Дифференциальный	Дифференциальный	Ток 20 мА
Максимальное число формирователей на передатчик	1	1	1	32	> 1
Число приемников	1	10	10	32	> 1
Максимальная длина кабеля, м	15	1200	1200	1200	10 000
Максимальная скорость передачи данных	20 кбит/с	100 кбит/с	10 Мбит/с	10 Мбит/с	20 кбит/с
Уровни передаваемого сигнала	min +5 В max +5 В	min +3,6 В max +6,0 В	min +2 В (дифференциальный)	min +1,5 В (дифференциальный)	> 12 мА (высокий) < 3 мА (низкий)
Чувствительность приемника	+3 В	+0,2 В (дифференциальный)	+0,2 В (дифференциальный)	+0,2 В (дифференциальный)	> 12 мА (высокий) < 3 мА (низкий)
Импеданс нагрузки	37 кОм	min 450 Ом	min 100 Ом	min 60 Ом	—
Предельный выходной ток	500 мА на источник или общий провод	150 мА на общий провод	150 мА на общий провод	150 мА на общий провод 250 мА на источник -8 В или +12 В	
Мин. импеданс формирователя (выкл. пит.)	300 Ом	60 кОм	60 кОм	120 кОм	

ния о стандарте цифровой передачи данных и тщательном проектировании цепи управления оптроном его в некоторых случаях можно заставить функционировать как линейный приемник). Так или иначе, оптроны не могут напрямую использоваться в качестве линейных формирователей, так как их выходные каскады не обладают для этого достаточной мощностью. Поэтому, чтобы результирующая конструкция получилась безопасной и эффективной, рекомендуется использовать подходящий приемопередатчик, совместимый с используемым стандартом передачи данных, и правильно подобранный оптрон.

В таблице 1 сведены технические требования некоторых распространенных стандартов цифровой передачи данных. Простейший из этих стандартов — RS-232. Он требует наличия на линии одного передатчика и приемника. Уровни передаваемых по RS-232 сигналов составляют от +5 до +15 В, а типичная скорость передачи данных — 20 кбит/с. RS-484 — это многообонентский стандарт, позволяющий подключать к линии передачи до 32 передатчиков и 32 приемников. Максимальная скорость передачи данных составляет 10 Мбит/с при максимальной длине кабеля 1200 м.

Например, если предполагается использовать оптрон в качестве линейного приемника на линии стандарта RS-232, он должен обладать достаточной чувствительностью, чтобы воспринимать сигнал напряжением

от +3 В, и представлять для линии передачи импеданс минимум 3 кОм и максимум 7 кОм. Формирователь линии передачи стандарта RS-232 должен обеспечивать ток 500 мА. Именно разнообразные и строгие требования к чувствительности приемника и току формирователя обуславливают необходимость использования приемника, адекватного используемому стандарту, и оптрона, отвечающего требованиям данного стандарта к скорости передачи данных.

Это не значит, что оптроны в принципе не могут использоваться в качестве линейных приемников. При тщательно сконструированной цепи формирователя входного тока оптрон (например, 6N140A) может функционировать как приемник на линии передачи стандарта RS-232. Кроме того, существуют специализированные оптроны, рассчитанные на непосредственную работу в качестве линейных приемников. В качестве примера такого специализированного приемника можно привести оптрон HCPL-1931.

Если оптрон применяется как линейный формирователь, в дополнение к нему необходим внешний буферный усилитель тока, который будет обеспечивать требуемый ток для линии передачи. Однако при надлежащем выборе линейного приемника можно избежать необходимости проектировать как цепи входного формирователя, совместимые с параметрами приемника, так и внешний усилитель тока. Именно из соображений простоты конструкции и непосредственной доступности линейных приемопередатчиков рекомендуется пользоваться последними при конструировании линий передачи.

В таблице 2 перечислены основные семейства герметичных оптронов. Большинство этих оптронов выпускается в модификациях с различными типами корпусов (LCCC, FP, керамический DIP) и числом каналов. Все эти устройства предлагаются в обычном исполнении, а также в исполнении класса H (высокая надежность) и K (высочайшая надежность).

Максимальную скорость передачи данных через оптрон можно рассчитать по ее задержке распространения. Задержка распространения определяет, насколько быстро логи-

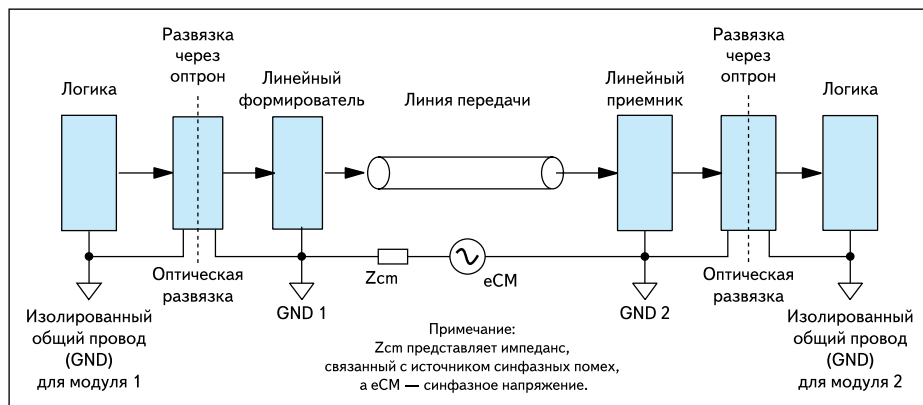


Рис. 1. Простейшая линия передачи с оптической развязкой

Таблица 2. Цифровые герметичные оптопары компании Avago Technologies

Семейство изделий	I_F (min), мА	V_{CC} (max), В	Максимальная задержка распространения t_{PHL} , мкс	Максимальная задержка распространения t_{PLH} , мкс	Минимальное подавление синфазной помехи (CMR), кВ/мкс
6N140A, HCPL-5701, HCPL-5731 (100 кбод)	1,5	18	100	60	0,5
4N55, HCPL-5501, HCPL-5531 (700 кбод)	12	18	2	6	1
HCPL-5201, HCPL-5231 (5 Мбод)	2	20	0,350	0,350	1
6N134 (10 Мбод)	10	20	0,120	0,140	1
HCPL-5401, HCPL-5431 (20 Мбод)	6	5,25	0,06	0,06	0,5

Примечание. В этой таблице не отражены все варианты корпусов и форм выводов. Технические описания всех компонентов можно загрузить на сайте компании — www.avagotech.com.

ческий сигнал распространяется по оптрону. Простейшая оценка скорости передачи данных для худшего случая — величина, обратная максимальной задержке распространения. В технической документации по оптронам указывается задержка распространения при переключении с низкого уровня на высокий (t_{PLH}) и при переключении с высокого уровня на низкий (t_{PHL}). Величина, обратная большей из этих из двух задержек, соответствует максимально возможной скорости передачи данных:

$$\text{Максимальная скорость передачи данных} = 1/(t_{PHL}) \text{ или } 1/(t_{PLH}) \text{ [бит/с]} \\ (\text{меньшая из двух величин}).$$

Уровень искажений длительности импульса (PWD) определяется как разность между t_{PHL} и t_{PLH} . На этом параметре основан еще один способ определения быстродействия оптрона. Как правило, уровень искажений длительности импульса в диапазоне от 20 до 30 процентов считается приемлемым в отрасли. Максимальную скорость передачи данных при данном конкретном уровне искажений длительности импульса можно рассчитать следующим образом:

$$\text{Максимальная скорость передачи данных} = (1/PWD) \times 30\% \text{ (максимальная скорость при уровне искажений 30\%).}$$

Значения, полученные двумя этими способами, могут несколько различаться. Таким образом, зная скорость передачи данных, которую требует используемый стандарт, легко подобрать оптрон с адекватным этому стандарту быстродействием. Напомним, что оптрон будет использоваться в сочетании с подходящим для выбранного стандарта приемопередатчиком.

На рис. 2 показан пример применения оптронов HCPL-5631 и HCPL-5601 для передачи данных по стандарту RS-485. Один канал двойного оптрона HCPL-5631 может служить для передачи разрешающего сигнала, который необходим в этом многоабонентском (32 приемника и 32 передатчика) стандарте. Как уже отмечалось выше, в каче-

стве линейного формирователя и приемника должен использоваться надлежащий линейный приемопередатчик. В данном случае на линии RS-485 используется приемопере-

датчик DS75176A. Максимальная скорость передачи данных для стандарта RS-485 составляет 10 Мбит/с. Выбранные оптроны должны обеспечивать скорость передачи данных 10 Мбит/с, соответствующую требованиям к пропускной способности линии передачи данных. Следует иметь в виду, что на рис. 2 изображена упрощенная концептуальная схема: в ней отсутствует выходной нагрузочный резистор, который должен устанавливаться на выходе оптрона, имеющего выходной каскад с открытым коллектором, а также не приведены цепи формирователей входного тока на входах оптронов.

Еще один пример применения оптронов для цифровой передачи данных — использование их в локальных сетях контроллеров (Controller Area Network, CAN). CAN — это протокол по-

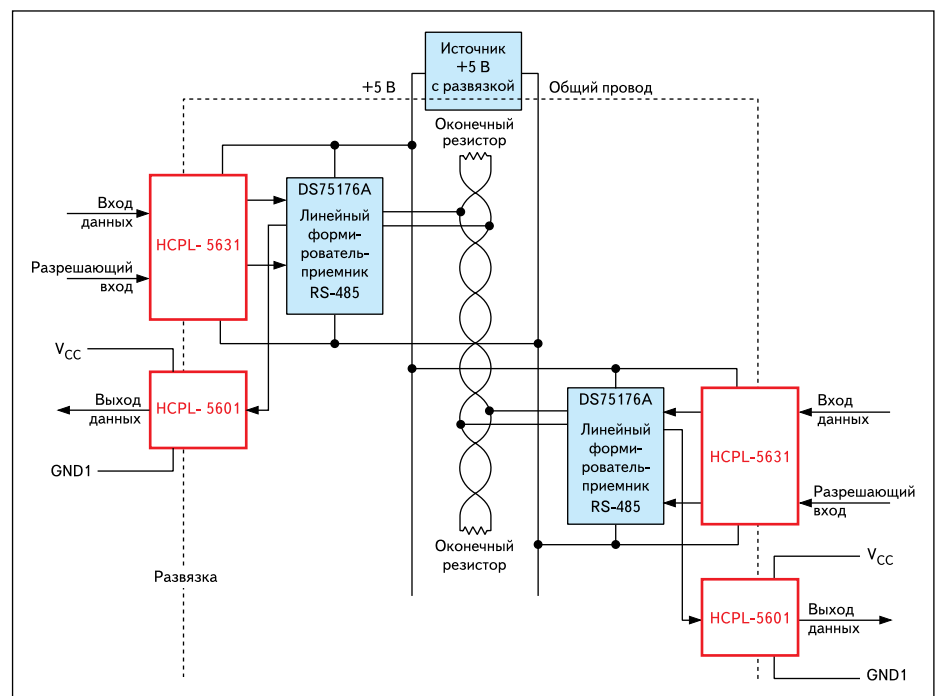


Рис. 2. Линия передачи данных стандарта RS-485 с развязкой на базе оптронов

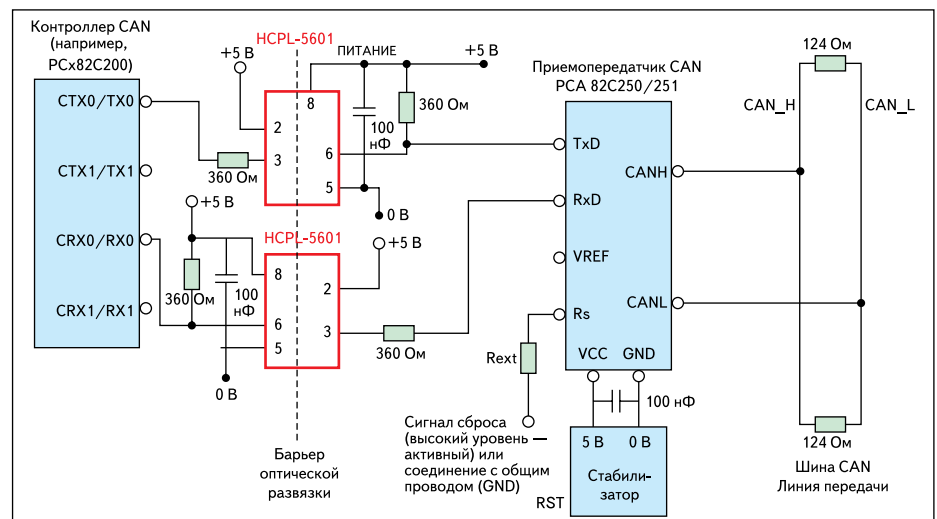


Рис. 3. Линия передачи данных стандарта CAN с развязкой на базе оптопар

следовательной шины, аналогичный DeviceNet и предназначенный главным образом для передачи управляющих данных между множеством узлов шины при высокоскоростном цифровом обмене данными в бортовой аппаратуре транспортного средства. Типовая схема применения показана на рис. 3.

Гальваническую развязку обеспечивает оптрон HCPL-5601, размещенный между контроллером и приемопередатчиком CAN. HCPL-5601 — это быстродействующий оптрон со скоростью передачи данных 10 Мбод и максимальной задержкой распространения 140 нс. При передаче или приеме данных на типичной для протокола CAN скорости 500 кбит/с задержка, вносимая этими оптронами, в минимальной степени влияет на максимально достижимую длину шины.

В схеме используются приемопередатчики PCA 82C250/251 компании Philips Semiconductor. Контроллер протокола (например, PCx82C200) подключается к приемопередатчику через оптрон HCPL-5601. Идущая от контроллера последовательная линия вывода данных (TX) обеспечивает передачу данных, а последовательная линия ввода данных (RX) — прием. Приемопередатчик подключается к линии передачи шины CAN с помощью двух контактов — CANH и CANL. Передача и прием данных осуществляется по дифференциальной схеме.

Помимо передачи данных, цифровые оптроны имеют множество других применений в промышленном, коммерческом и высоконадежном оборудовании — импульсные источники питания, управление электродвигателями, источники бесперебойного питания, спортивное оборудование, тренажеры и медицинская аппаратура. На рис. 4 показан пример использования оптрона в источнике бесперебойного питания.

Для работы практически любого электронного устройства, промышленного, коммерческого или высоконадежного, требуется тот или иной источник питания. Он может представлять собой AC/DC- или DC/DC-преобразователь. Быстродействующие цифровые оптроны часто используются в контуре обратной связи с развязкой, например в импульсных источниках питания с широтно-импульсной модуляцией.

На рис. 4 показан пример двухтактного импульсного источника питания, в котором оптрон HCPL-5201 обеспечивает обратную связь с оптической развязкой для мощных переключаемых полевых МОП-транзисторов. Пороговый триодный тиристор (SUS) запускает источник питания при первой подаче напряжения сети. После запуска схемы ШИМ триодный тиристор отключается пиковым детектором.

Разрешающему каналу оптрона HCPL-5201 найдено эффективное применение в этой схеме. Разрешающее напряжение обеспечивает блокировку синфазной проводимости, то есть предотвращает одновременное включение

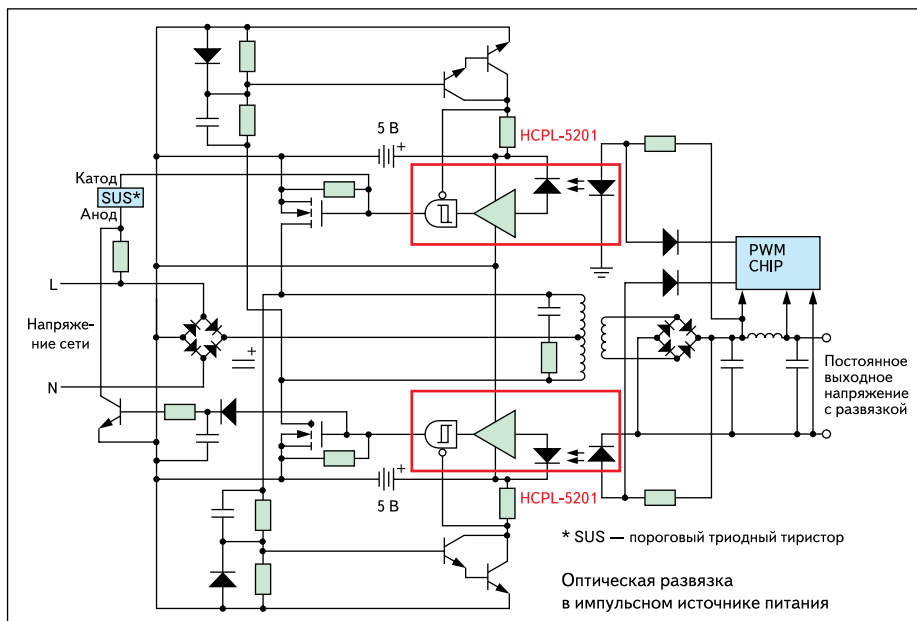


Рис. 4. Развязка на базе герметичного оптрона в цепи обратной связи импульсного источника питания

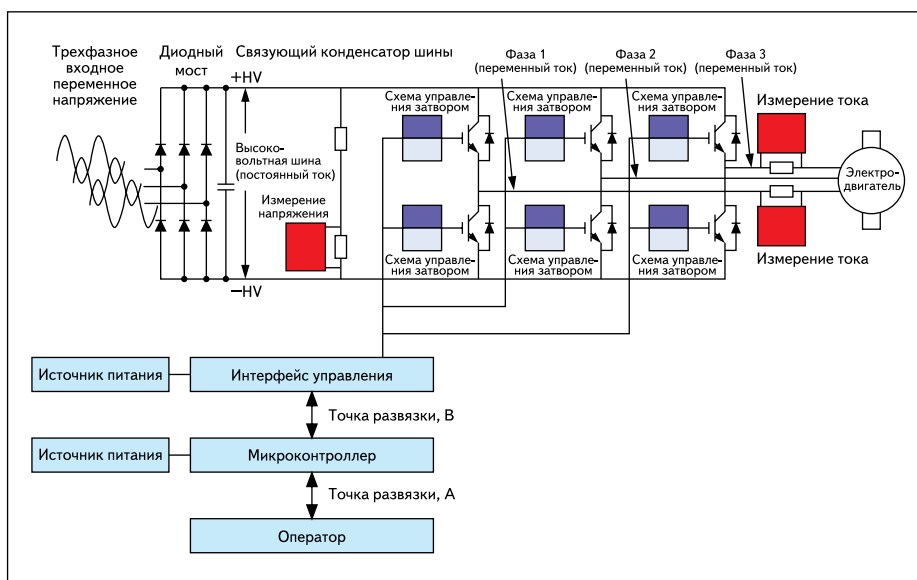


Рис. 5. Типовая топология привода электродвигателя с переменной частотой вращения

мощных переключаемых полевых МОП-транзисторов, но позволяет достичь высокого КПД при высокой частоте переключения.

В импульсном источнике питания переключаемые транзисторы работают на некоторой частоте ШИМ, которая вырабатывается цепью управления ШИМ. Эта управляющая цепь отслеживает выходное напряжение источника питания через развязывающий каскад и генерирует частоту ШИМ как функцию измеренного напряжения. Оптоны работают на частоте ШИМ и управляют мощными МОП-транзисторами. Напряжение частоты ШИМ с выхода этих транзисторов подается на первичную обмотку трансформатора, тем самым обеспечивается весьма высокий КПД, которым заслуженно славятся импульсные источники питания.

Применение оптопар для управления интеллектуальным модулем питания в приводе электродвигателя

Еще одна важная область применения оптронов — приводы электродвигателей. В них оптроны используются для управления инверторами (на IGBT и полевых МОП-транзисторах) и интеллектуальными модулями питания. На рис. 5 показана типовая топология привода электродвигателя с переменной частотой вращения на базе шестизвенного моста. В этой топологии входное трехфазное переменное напряжение преобразуется в постоянное напряжение шины расположенным на входе мостовым выпрямителем. Включение и выключение инверто-

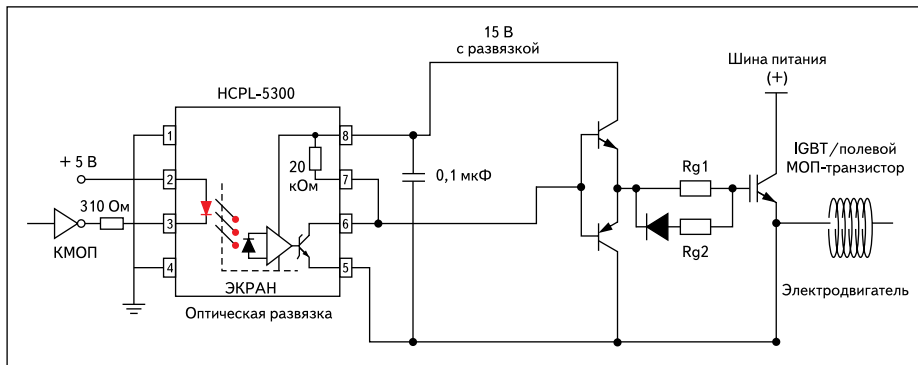


Рис. 6. Применение оптрона HCPL-5300 с буферным усилителем тока для управления электродвигателем (с разделением сопротивления затвора для быстрого отключения, метод 1)

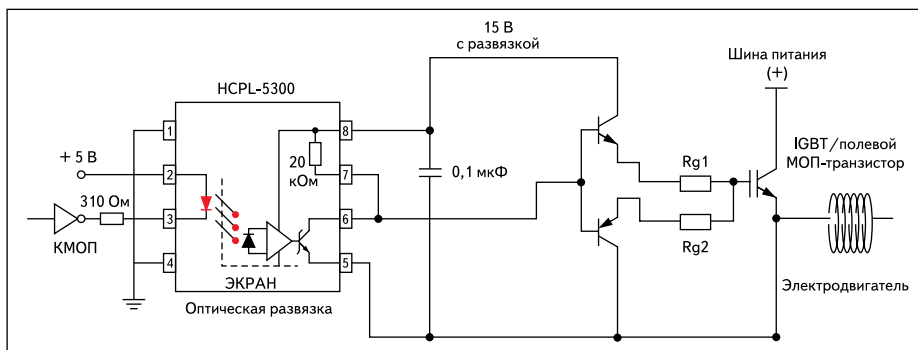


Рис. 7. Применение оптрона HCPL-5300 с буферным усилителем тока для управления электродвигателем (с разделением сопротивления затвора для быстрого отключения, метод 2)

ров на мощных полевых МОП-транзисторах или IGBT производится с помощью надлежащей трехфазной ШИМ-последовательности. Эти мощные инверторы вырабатывают большие переменные токи, необходимые для включения или работы электродвигателя.

Обычно для трехфазного электродвигателя требуется 7 формирователей: шесть для управления затворами IGBT-инверторов в шестизвенном мосте и один для управления затвором IGBT-инвертора торможения. Управление частотой вращения, положением вала и фазой требует измерения или контро-

ля многочисленных аналоговых параметров электродвигателя. Эти измеренные аналоговые параметры всегда передаются на микроконтроллер, управляющий системой. Поскольку общим проводом для микроконтроллера обычно является «земля», любые мощные сигналы, передаваемые с электродвигателя на контроллер, должны поступать через развязывающий каскад в целях защиты и безопасности. В зависимости от типа и стоимости привода электродвигателя число измеряемых и передаваемых на микроконтроллер аналоговых параметров различается.

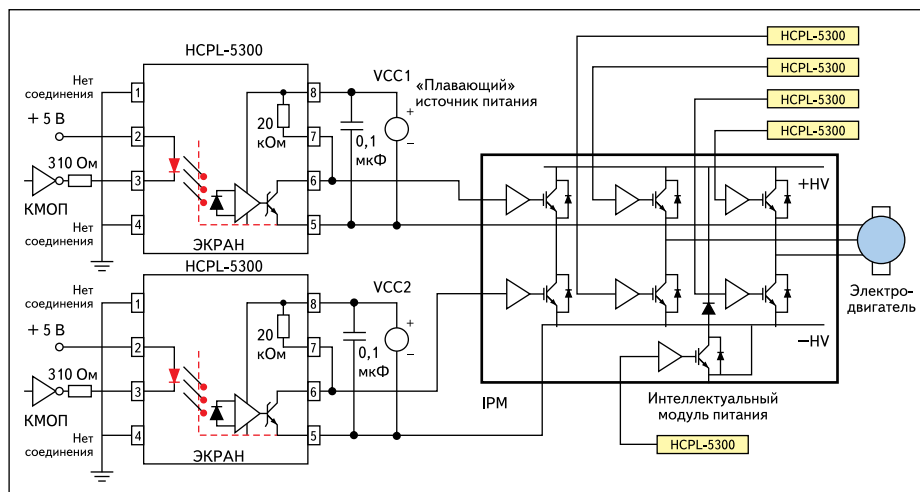


Рис. 8. Типовая схема управления интеллектуальным модулем питания на базе оптрона HCPL-5300

На рис. 6 и 7 показан пример использования оптрона HCPL-5300 для управления затвором инвертора. Оptron HCPL-5300 специально предназначен для управления IPM и инверторами. Оptron способен работать на нагрузку емкостью 100 пФ с типичной задержкой 300 нс. На контакт 7 выведен внутренний нагрузочный резистор сопротивлением 20 кОм. Тем самым проектировщику обеспечивается свобода выбора: можно использовать этот встроенный резистор или, если необходимо, внешний нагрузочный резистор с другим номиналом.

Когда опtron HCPL-5300 используется для управления инвертором, к нему необходим внешний буферный усилитель тока, обеспечивающий большие пиковые токи, которые требуются для управления затворами полевых МОП-транзисторов и IGBT. Показанные на схеме резисторы R_{G1} и R_{G2} позволяют оптимизировать время заряда и разряда емкости затвора инвертора. Буферный усилитель на *npr/npr*-транзисторах необходимо выбрать таким образом, чтобы он вырабатывал минимальные пиковые токи, достаточные для переключения инверторов.

Для управления интеллектуальным модулем питания (IPM), как показано на рис. 8, внешние мощные буферные усилители тока не нужны. Поскольку IPM уже содержит в себе усилитель тока и IGBT в едином корпусе, для управления таким модулем можно использовать опtron с транзисторным выходом, например HCPL-5501 или HCPL-5300. К такому оптрону потребуется только нагрузочный резистор для сопряжения с входом интеллектуального модуля питания.

На рис. 8 изображен интерфейс IPM на базе оптрона HCPL-5300. Этот опtron имеет встроенный нагрузочный резистор, выведенный на контакт 7, и идеально подходит для управления интеллектуальными модулями питания. Оptron HCPL-5300 способен работать на нагрузку емкостью 100 пФ с максимальной задержкой распространения 500 нс. В условиях сильных синфазных помех неподключенные контакты 1 и 4 оптрона HCPL-5300 рекомендуются заземлять.

Окончание следует

Литература

1. Gray P. R., Meyer R. G. Analysis and Design of Analog Integrated Circuits. John Wiley and Sons, Inc., 1984.
2. Horowitz P., Hill W. The Art of Electronics. Cambridge University Press, 1989.
3. Khan J. N. Optocouplers For Variable Speed Motor Control Electronics in Consumer Home Appliances // Conference Proceeding. Appliance Manufacturer Conference and Expo (AMCE). 2000.
4. Plant D., Walters M. Isolation Amplifiers: Isolation for Sense Resistor Applications. Principles of Current Sensors, Powersystems World, 1997.
5. Khan J. N. Regulatory Guide to Isolation Circuits // Hewlett-Packard Publication Number 5965-5853E. 1997. No 1.