

Обзор современных изолированных драйверов затворов MOSFET/IGBT

Мощные полевые МОП-транзисторы MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor) и биполярные транзисторы с изолированным затвором IGBT (Insulated-Gate Bipolar Transistor) являются одними из основных элементов современной силовой электроники и используются для коммутации больших токов и напряжений.

Для согласования низковольтных логических управляющих сигналов контроллера с уровнями управления затвором MOSFET и IGBT силовых каскадов требуются промежуточные устройства согласования — так называемые изолированные драйверы затворов, обзор которых приведен в статье.

Александр Пескин

В мире существует большое количество компаний, предлагающих готовые изолированные драйверы затворов MOSFET и IGBT, наиболее известными из которых на российском рынке являются ON Semiconductor, Infineon, Broadcom Limited (ранее имела название Avago Technologies), International Rectifier, Analog Devices, Toshiba Semiconductor, Vishay.

Главная задача, решаемая драйвером, — преобразование слаботокового логического сигнала контроллера в сигнал управления, чьей мощности должно хватать для быстрой перезарядки емкостей изолированного затвора. Кроме того, поскольку силовые ключи работают при напряжениях, существенно превышающих уровни сигналов контроллера, драйвер должен осуществлять гальваническую развязку (передачу энергии или сигнала между электрическими цепями, не имеющими непосредственного электрического контакта) входных импульсов управления и затворных напряжений. Гальваническая развязка необходима, например, в схемах, где мощный силовой каскад питается от сетевого напряжения, а сигналы управления формируются контроллером, связанным с различными периферийными устройствами. При этом изоляция силовой части и схемы управления устраняет коммутационные помехи и позволяет в экстремальных случаях защитить управляющий контроллер и другие логические устройства.

Основные параметры и требования, на основании которых производится выбор типа драйвера, следующие:

- пиковое значение выходного тока силовых ключей и допустимая рассеиваемая мощность преобразователя;
- конфигурация используемой схемы: одиночный ключ, драйверы верхнего и нижнего ключей (плеч)

мостовой схемы, драйверы верхнего и нижнего ключей с независимым управлением каждого из них, полумостовые драйверы, которые часто используются для симметричного закона управления, драйверы управления всеми транзисторами мостовой схемы и т. п.;

- требуемые функции защиты ключей;
- напряжение изоляции и т. д.

Драйверы выпускают в виде интегральных микросхем, которые, помимо мощных каскадов, содержат вспомогательную логику, узлы преобразования уровня и задержки (для пропуска «мертвого» времени, Dead Time), а также схемы защиты от перегрузки по току, короткого замыкания, снижения напряжения питания и ряд других.

При проектировании выходного узла драйвера, управляющего изолированным затвором MOSFET и IGBT, нужно учитывать следующее:

- для увеличения входного напряжения до оптимального уровня необходимо обеспечить в цепи затвора соответствующий заряд;
- динамические характеристики переключения определяются скоростью перезарядки паразитных конденсаторов транзистора. Минимальные значения времени обеспечиваются в режиме перезарядки постоянным динамическим током;
- для ограничения скорости нарастания тока и уменьшения динамических помех следует использовать включенные последовательно резисторы в цепи затвора.

Для надежной изоляции сигналов при управлении затворами MOSFET и IGBT широкое применение нашли оптоэлектронные драйверы различных производителей. С их рассмотрением и начнем наш обзор.

Оптоэлектронные пары (оптроны) зарекомендовали себя как незаменимые элементы не только для гальванической развязки, но и для подавления помех, поступающих через паразитные контуры.

Безопасная оптическая развязка с использованием оптронов присутствует в самых разнообразных устройствах:

- высокоскоростной цифровой передачи данных;
- аналогового измерения тока и напряжения;
- обратной связи и управления;
- управления инверторами на MOSFET и IGBT;
- управления интеллектуальными модулями питания, рассчитанными на отдачу или потребление больших токов;
- порогового детектирования переменных и постоянных напряжений и др.

Если одной из первых областей применения развязки на оптронах была аппаратура цифровой передачи данных, где они использовались для подавления синфазных помех и защиты от бросков напряжения, то затем широкое распространение они получили в том числе в электронных приводах электродвигателей.

Важнейшая задача таких оптронов — обеспечивать необходимый ток затвора MOSFET и IGBT для их переключения в низкоимпеданное состояние. Так, драйвер затвора с пиковым током 2,5 А может управлять транзистором с напряжением до 1200 В и током до 100 А.

Оптроны могут управлять затвором как напрямую, так и через буферный канал, то есть через *n*- и *p*-канальные полевые транзисторы, которые сами затем управляют затвором MOSFET и IGBT. Схемотехника буферного канала позволяет масштабировать мощность системы и заменять транзисторы силовых ключей компонентами повышенной мощности без замены схемы развязки и защиты. Таким образом, оптроны с буферным каналом обеспечивают единое решение для развязки цифровой и силовой частей в электроприводах разной мощности.

Обзор начнем с рассмотрения микросхемы **FOD3184** [1] фирмы Fairchild Semiconductor (ныне поглощена фирмой ON Semiconductor) — обновленной версии весьма популярного оптоэлектронного драйвера затвора FOD3120.

Микросхема имеет пиковый выходной рабочий ток 3 А, быстродействующую коммутацию и высокую стойкость к электромагнитным шумам: ослабление синфазной помехи составляет не менее 35 кВ/мкс как при больших, так и при малых напряжениях.

Микросхема FOD3184 содержит светодиод на основе арсенида алюминия-галлия (AlGaAs), оптически связанный с ним фотоприемник, КМОП-детектор и выходной каскад, выполненный на двух MOSFET разной проводимости, что позволило добиться размаха выходного напряжения, близкого к уровню напряжения питания (выход типа Rail-to-Rail), благодаря чему была повышена эффективность системы. Этому также способствует малое выходное сопротивление драйвера.

Микросхема обладает улучшенными характеристиками быстродействия коммутации: задержка распространения составляет 210 нс, а разброс длительности импульса — 65 нс при максимальной частоте коммутации 250 кГц. Высокая скорость нарастания/спада импульса обеспечивает малое динамическое рассеяние мощности. Рабочие характеристики гарантируются в диапазоне температур –40...+100 °С. В микросхему встроена схема защиты от недопустимого понижения напряжения управления и питания UVLO (Under Voltage Lock Out) с гистерезисом.

Этот драйвер идеально подходит для высокочастотного управления мощными MOSFET и IGBT в плазменных панелях, инверторах управления двигателями и высокопроизводительных DC/DC-преобразователях.

Микросхема соответствует международным стандартам безопасности:

- UL 1577 — тест на прочность изоляции при напряжении 3750 В (среднеквадратичное значение RMS) переменного тока в течение 1 мин;
- IEC/DIN EN 60747-5-2 — максимальное рабочее напряжение изоляции 1440 В.

Структурная схема микросхемы FOD3184 приведена на рис. 1, а назначение ее выводов — в таблице 1. Она выпускается в корпусах DIP-8 и SMT-8.

Ряд оптоэлектронных драйверов затворов мощных MOSFET и IGBT, обладающих высокой скоростью переключения, большим пиковым током и помехоустойчивостью, выпускает компания Broadcom Limited (Avago Technologies). Она производит две линейки оптоэлектронных драйверов: стандартные и интегрированные. Вторые, помимо функции опторазвязки, имеют схемы защиты, представляя, таким образом, готовое решение изолиро-

ванного управления затворами, не требующее дополнительных внешних элементов.

В таблице 2 приведены основные параметры и возможности некоторых интегрированных драйверов фирмы Broadcom Limited (Avago Technologies).

Интегрированные драйверы обеспечивают защиту от помех, высокий выходной ток, защиту от паразитных эффектов, мягкое выключение силовых ключей и другие функции.

Уровень подавления синфазного сигнала драйверов достигает 30–50 кВ/мкс, что гарантирует высокую стойкость к наведенным переходным перенапряжениям. Драйверы способны эффективно передавать дифференциальный сигнал, блокируя влияние паразитных синфазных токов и напряжений смещения, возникающих при протекании петлевых заземляющих токов.

Помимо своего основного элемента — оптрона, осуществляющего гальваническую развязку управляющего сигнала, интегрированные драйверы имеют встроенные

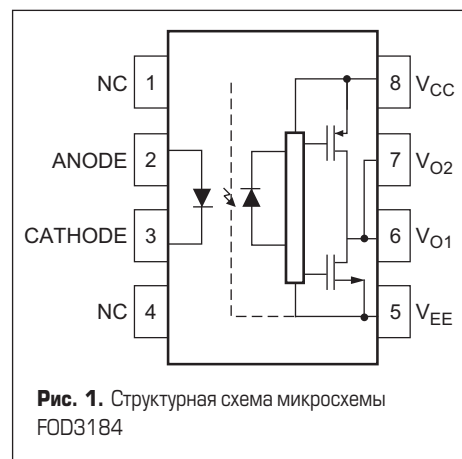


Рис. 1. Структурная схема микросхемы FOD3184

Таблица 1. Назначение выводов микросхемы FOD3184

Номер вывода	Обозначение вывода	Описание назначения вывода
1	NC	Не используется
2	ANODE	Анод внутреннего светодиода
3	CATHODE	Катод внутреннего светодиода
4	NC	Не используется
5	VEE	Отрицательный вывод напряжения питания (общий провод)
6	VO1	Выходное напряжение 1
7	VO2	Выходное напряжение 2 (соединен с выводом VO1)
8	VCC	Положительный вывод напряжения питания +15...+30 В

Таблица 2. Основные параметры и возможности некоторых интегрированных драйверов фирмы Broadcom Limited (Avago Technologies)

Параметры и возможности	Тип микросхемы драйвера						
	ACPL-330J, ACPL-331J	ACPL-339J	HCPL-316J	ACPL-332J, ACPL-333J	ACPL-336J	ACPL-302J	ACPL-337J
Пиковый выходной ток, А	1			2,5–3			4
Тип управления	Прямое или через буферный каскад	Через буферный каскад	Прямое или через буферный каскад				
Защита от короткого замыкания	+	+	+	+	+	+	+
Наличие схемы ограничения эффекта Миллера	+	–	–	+	+	+	+
Сообщение о низком напряжении	–	+	–	–	+	+	+
Наличие DC/DC-контроллера	–	–	–	–	–	+	–

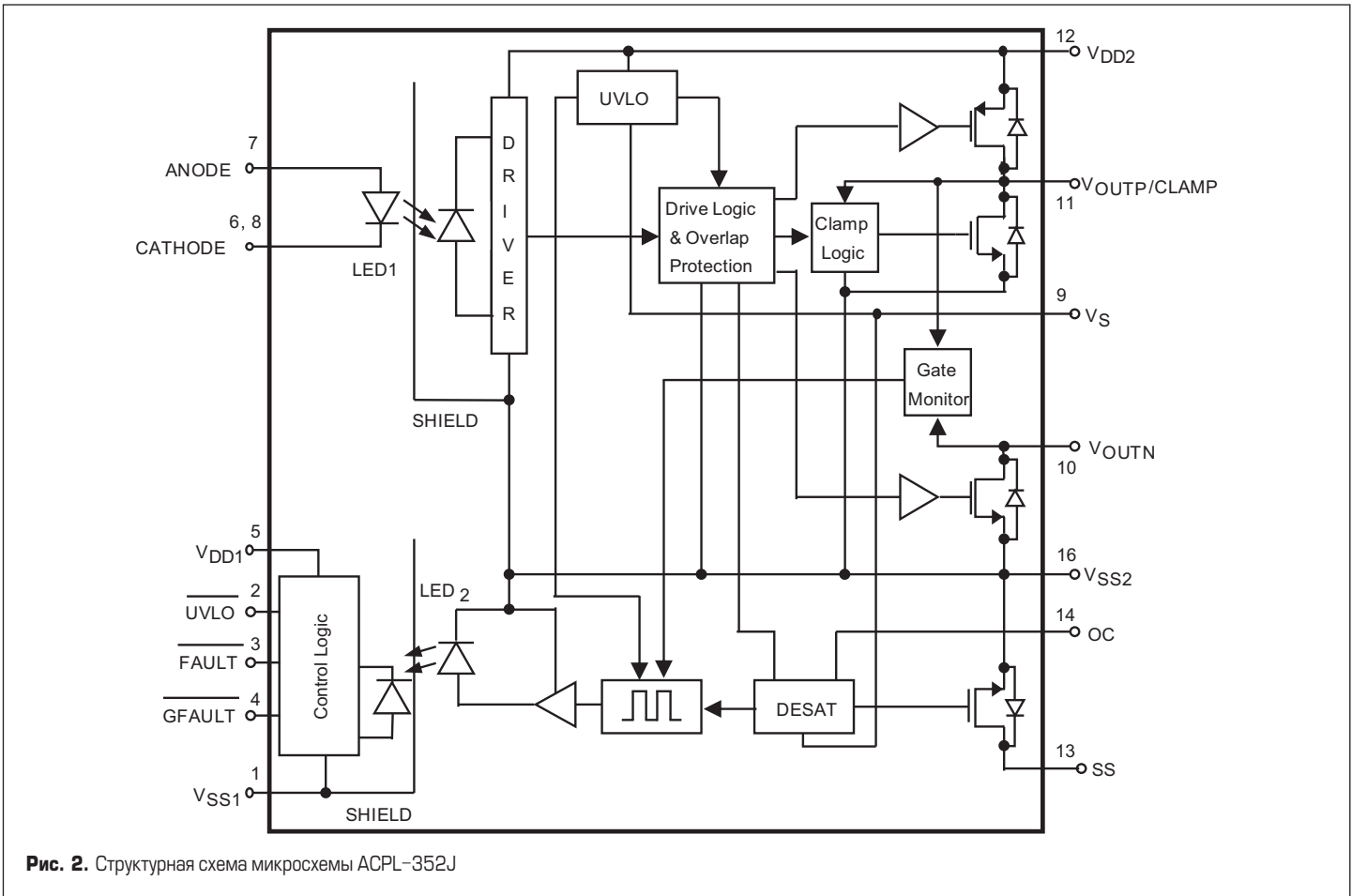


Рис. 2. Структурная схема микросхемы ACPL-352J

дополнительные схемы защиты и диагностики, выполняющие следующие функции:

- защиты от перенапряжений на затворе при переключениях из-за эффекта Миллера AMC (Active Miller Clamping) — возникновения сквозного тока в полумостовых каскадах, вызванного ложным открыванием MOSFET или IGBT из-за наличия емкости Миллера в его структуре. Наличие схемы AMC упрощает драйвер, так как позволяет не использовать отрицательное запирающее напряжение при выключении MOSFET или IGBT и упростить источник питания драйвера верхнего ключа, применив простую

схему подкачки заряда, состоящую из диода и конденсатора (бутстрепную схему);

- защиты UVLO, которая выключает выход драйвера в случае понижения питающих напряжений ниже определенного уровня, что очень важно для MOSFET и IGBT, так как такое снижение приводит к их переключению из рабочего состояния в режим линейной проводимости;
- защиты по напряжению насыщения (защиты силового ключа от короткого замыкания) DESAT, то есть когда ток истока (коллектора) превышает номинальный ток в пять раз и более. В этом случае выход

драйвера выключается независимо от входного управляющего сигнала и активируется сигнал на выходе FAULT («Ошибка»);

- обратной связи для индикации ошибки состояния затвора и невключения драйвера;
- обратной связи для сигнализации пониженного напряжения.

Рассмотрим подробнее не показанные в таблице 2 оптоэлектронные драйверы затворов, выполненные на микросхемах ACPL-352J, ACFJ-3520 [2] и ACNW3430. Это простые в использовании, содержащие AlGaAs-светодиод интеллектуальные драйверы с максимальным пиковым выходным током 5 А, идеально подходящие для управления IGBT и карбидокремниевыми (SiC) и нитрид-галлиевыми (GaN) MOSFET в промышленных преобразователях, инверторах, системах управления двигателями и других силовых устройствах.

Микросхемы обладают такими функциями, как обнаружение перегрузки по току, защита от пониженного напряжения UVLO, «мягкое» отключение и изолированная обратная связь при неисправности.

Драйверы отличаются высоким рабочим напряжением изоляции V_{IORM} (1414 В), широким температурным диапазоном T_A (-40... +105 °C), высоким быстродействием, то есть временем нарастания/спада сигнала t_{PLH}/t_{PHL} (менее 150 нс в микросхемах ACPL-352J и ACFJ-3520, менее 100 нс — в микросхеме ACNW3430) и высокой устойчивостью к синфазным помехам CMR (более 50 кВ/мкс в микросхемах ACPL-352J и ACFJ-3520 при напряжении 1500 В, свыше 100 кВ/мкс — в микросхеме ACNW3430).

Таблица 3. Назначение выводов микросхемы ACPL-352J

Номер вывода	Обозначение вывода	Описание назначения вывода
1	VSS1	Общий провод входных цепей
2	UVLO	Выход сигнала блокировки при пониженном напряжении питания VDD2
3	FAULT	Выход сигнала обратной связи по току при неисправности
4	GFAULT	Выход сигнала обратной связи в зависимости от статуса MOSFET/IGBT
5	VDD1	Напряжение питания входных цепей
6	CATHODE	Катод светодиода
7	ANODE	Анод светодиода
8	CATHODE	Катод светодиода
9	VS	Общий провод
10	VOUTN	Выход драйвера нижнего ключа
11	VOUTP/CLAMP	Выход драйвера верхнего ключа/Вход схемы ограничения эффекта Миллера
12	VDD2	Положительное напряжение питания
13	SS	«Мягкое» отключение
14	OC	Вход обратной связи
15	NC	Не используется
16	VSS2	Отрицательное напряжение питания

Все три драйвера соответствуют требованиям ряда стандартов и сертификатов по безопасности и электромагнитной совместимости, в том числе UL1577 и IEC/DIN EN 60747-5-5.

Микросхема ACPL-352J выполнена в корпусе SO-16, ACFJ-3520 — в корпусе SO-20, а ACNW3430 — в корпусах DIP-8 или SOP-8. Длина пути утечки/электрического зазора (Creepage/Clearance) по корпусу и между выводами составляет 8,3 мм.

Структурная схема микросхемы ACPL-352J приведена на рис. 2, а назначение ее выводов — в таблице 3.

Производство оптоизолированных драйверов затворов MOSFET и IGBT с диапазоном пикового выходного тока 0,6–6 А является одним из ключевых направлений компании Toshiba Semiconductor. Их большой выходной ток способен напрямую управлять мощными MOSFET и IGBT с напряжением 1200 В и током 200 А.

В таблице 4 представлены основные типы микросхем драйверов затворов производства этой фирмы, их параметры и возможности.

Все микросхемы этой линейки гарантируют высокий уровень помехозащищенности (подавление синфазных помех CMR достигает 40 кВ/мкс), что идеально для промышленных применений в среде с сильными электромагнитными шумами. Напряжение изоляции составляет 5 кВ (RMS в течение 1 мин), диапазон рабочих температур –40...+125 °С.

Почти во все из них встроена схема ULVO, которая удерживает выход драйвера на низком уровне до тех пор, пока напряжение питания не превысит необходимый порог, что предотвращает выход из строя управляемого транзистора.

В линейке рассматриваемых драйверов есть модели с выходом типа Rail-to-Rail, у которых выходное напряжение высокого уровня почти эквивалентно входному. Это позволяет уменьшить как коммутационные потери в MOSFET и IGBT, так и потери энергии в самом оптроне.

Ниже подробнее рассмотрена микросхема TLP5214 [3], которая предназначена для работы в цепях с высокой индуктивной нагрузкой и требует минимального количества внешних элементов. Помимо схемы ULVO, она содержит и другие узлы, обеспечивающие дополнительные защитные функции.

Структурная схема микросхемы TLP5214 приведена на рис. 3, а назначение ее выводов — в таблице 5.

Несмотря на ряд достоинств, высоковольтные драйверы затворов, выполненные на основе оптронов, имеют ряд ограничений. Это, прежде всего, не самые лучшие временные характеристики:

- невысокая скорость переключения, приводящая к увеличению времени непроизводительной паузы («мертвого» времени), что уменьшает общую эффективность;
- задержки распространения сигнала превышают 350 нс;
- разброс временных характеристик разных компонентов одной серии может превышать 200 нс;

Таблица 4. Основные типы микросхем драйверов затворов производства фирмы Toshiba Semiconductor, их параметры и возможности

Длина пути утечки/электрический зазор, мм		5	4	7 или 8	7 или 8	8	8
Тип корпуса		SO-6	SO-8	SDIP-6	DIP-8	SO-6L	SO-16L
Пиковый выходной ток, А	Время задержки распространения сигнала, нс	Тип микросхемы					
		6				TLP358H	
4	500					TLP5754	TLP5214
2,5	150			TLP700H	TLP350H		
	500				TLP250H		
1	200	TLP152		TLP700A	TLP352	TLP5702	
	150					TLP5752	
0,6	700					TLP5751	
	500			TLP701H	TLP351H		
	200	TLP151A	TLP2451A	TLP701A	TLP351A	TLP5701	
		TLP155E		TLP705A			

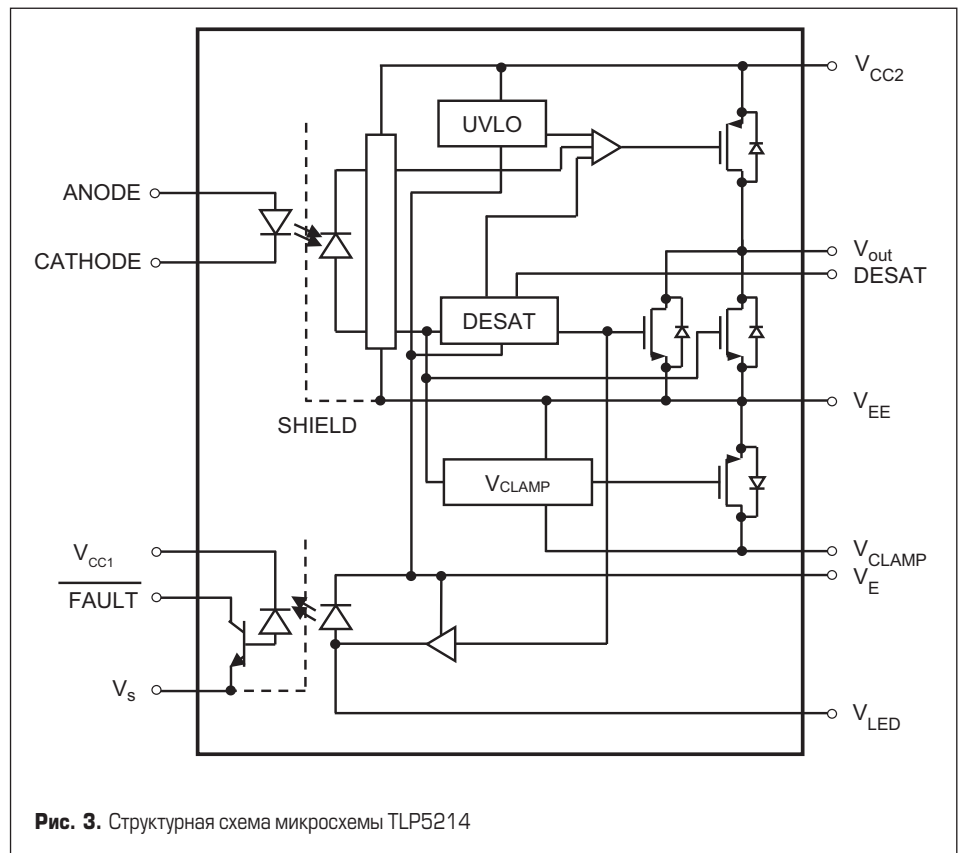


Рис. 3. Структурная схема микросхемы TLP5214

Таблица 5. Назначение выводов микросхемы TLP5214

Номер вывода	Обозначение вывода	Описание назначения вывода
1	V _S	Общий провод входных цепей
2	V _{CC1}	Напряжение питания входных цепей
3	FAULT	Выход обратной связи при неисправности
4	V _S	Общий провод входных цепей
5	CATHODE	Катод светодиода
6	ANODE	Анод светодиода
7		
8	CATHODE	Катод светодиода
9	V _{EE}	Общий провод
10	V _{CLAMP}	Вход схемы ограничения эффекта Миллера
11	V _{OUT}	Выход драйвера
12	V _{EE}	Общий провод
13	V _{CC2}	Положительное напряжение питания
14	DESAT	Токовый вход обратной связи для защиты силового ключа от короткого замыкания
15	V _{LED}	Анод светодиода обратной связи
16	V _E	Отрицательное напряжение питания

Таблица 6. Типы микросхем драйверов затворов компании Analog Devices, выполненных по технологии iCoupler, и их некоторые параметры

Тип микросхемы	Напряжение изоляции, кВ (RMS)	Максимальный ток утечки, мА	Диапазон напряжения питания выходных цепей, В	Входная логика	Максимальная рабочая температура, °С
ADuM4224	5	–	4,5–18	CMOS	+125
ADuM3224	3	3,2			
ADuM7223	2,5	–			
ADuM4223	5				
ADuM3223	3				
ADuM3221	2,5				
ADuM3220					
ADuM7234	1	12–18	+105		
ADuM6132	3,7	22	12,5–17	+85	
ADuM5230	2,5	10	12–18	TTL	+105
ADuM1420	1,6	–		CMOS	
ADuM1234	2,5			TTL	
ADuM1233					

- существенная разница между временем нарастания и спада, иногда превышающая 100 нс.
- Другой недостаток таких драйверов, ограничивающий срок их службы при высоких температурах, — износ потребляющего значительную мощность и подверженного эффекту старения светодиода оптрона.

Наконец, третий недостаток связан с образованием эффекта защелкивания, когда кратковременные импульсные помехи выходят за диапазон напряжения питания и могут привести к разрушению изоляции *p-n*-перехода.

Этих недостатков лишены обеспечивающие в настоящее время наилучшие быстродействие, надежность и производительность

изолированные драйверы затворов MOSFET и IGBT, выполненные на основе проверенной временем и удостоенной наград современной технологии цифровой гальванической изоляции iCoupler компании Analog Devices, — сегодня они используются в сотнях приложений, число которых постоянно растет.

Компанией, являющейся мировым лидером в производстве цифровых изоляторов, в качестве альтернативы установленным в оптронах светодиодам и фотодиодам применяются миниатюрные трансформаторы, которые по сравнению с оптронами обеспечивают большую пропускную способность, потребляют меньшую мощность и более стабильны во времени. Трансформаторы iCoupler реализованы непосредственно на кристалле и представляют собой планарные структуры, выполненные из CMOS-слоев и металлизации золотом. Полиамидный слой с высоким напряжением пробоя под слоем металлизации изолирует верхнюю обмотку трансформатора от нижней, за счет чего обеспечивается максимальная надежность и наибольший уровень изоляции цифровых сигналов.

Изолированные драйверы затворов компании Analog Devices обеспечивают гальваническую развязку при пиковом выходном токе до 4 А, высокое быстродействие с максимальной задержкой распространения сигналов 55 нс и погрешностью временного согласования каналов менее 5 нс, устойчивость к синфазным помехам 100 кВ/мкс, а также срок службы не менее 50 лет при работе в сети переменного тока напряжением 400 В (RMS) и в сети постоянного тока напряжением до 1130 В.

Они удовлетворяют стандартам качества, обеспечивая гарантированную гальваническую изоляцию напряжений до 5 кВ (RMS) в каждом отдельном канале и пиковых напряжений до 700 В между выходами каналов драйвера, что минимизирует вероятность возникновения перекрестной проводимости, повышает надежность и безопасность оборудования.

Такие драйверы предназначены для улучшения характеристик и повышения КПД источников питания на основе преобразователей напряжений переменного (AC/DC) и постоянного тока (DC/DC), инверторов для солнечных панелей и схем управления двигателями, в которых необходимо обеспечить выполнение требований к безопасности.

При использовании этих драйверов, например в построении источников питания, удается получить значительное повышение их надежности в широком рабочем температурном диапазоне, используя корпус меньших габаритов. За счет этого достигается увеличение компактности и общего КПД системы питания.

Все выпускаемые по технологии iCoupler драйверы соответствуют стандартам безопасности и электромагнитной совместимости, в том числе UL1577 и IEC 61000-4-4.

В таблице 6 представлены типы микросхем драйверов затворов компании Analog Devices, выполненных по технологии iCoupler, и их некоторые параметры.

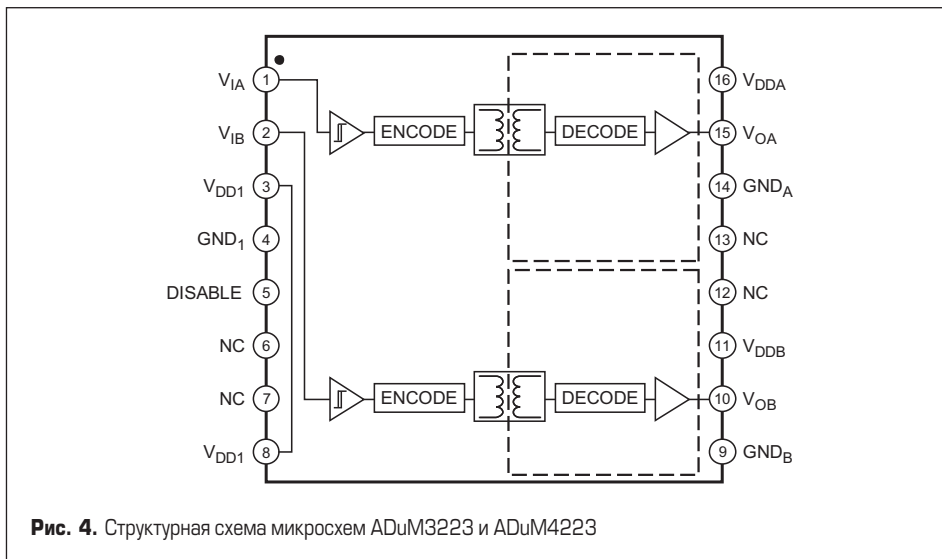


Рис. 4. Структурная схема микросхем ADuM3223 и ADuM4223

Таблица 7. Назначение выводов микросхем ADuM3223 и ADuM4223

Номер вывода	Обозначение вывода	Описание назначения вывода
1	V _{IA}	Логический вход канала А
2	V _{IB}	Логический вход канала В
3	V _{DD1}	Напряжение питания входных цепей +3,3...+5,5 В
4	GND1	Общий провод входных цепей
5	DISABLE	Вход запрета прохождения сигналов
6	NC	Не используется
7		
8	V _{DD1}	Напряжение питания входных цепей +3,3...+5,5 В
9	GND _B	Общий провод выходных цепей канала В
10	V _{OB}	Выход канала В
11	V _{DB_B}	Напряжение питания выходных цепей канала В
12	NC	Не используется
13		
14	GND _A	Общий провод выходных цепей канала А
15	V _{OA}	Выход канала А
16	V _{DDA}	Напряжение питания выходных цепей канала А

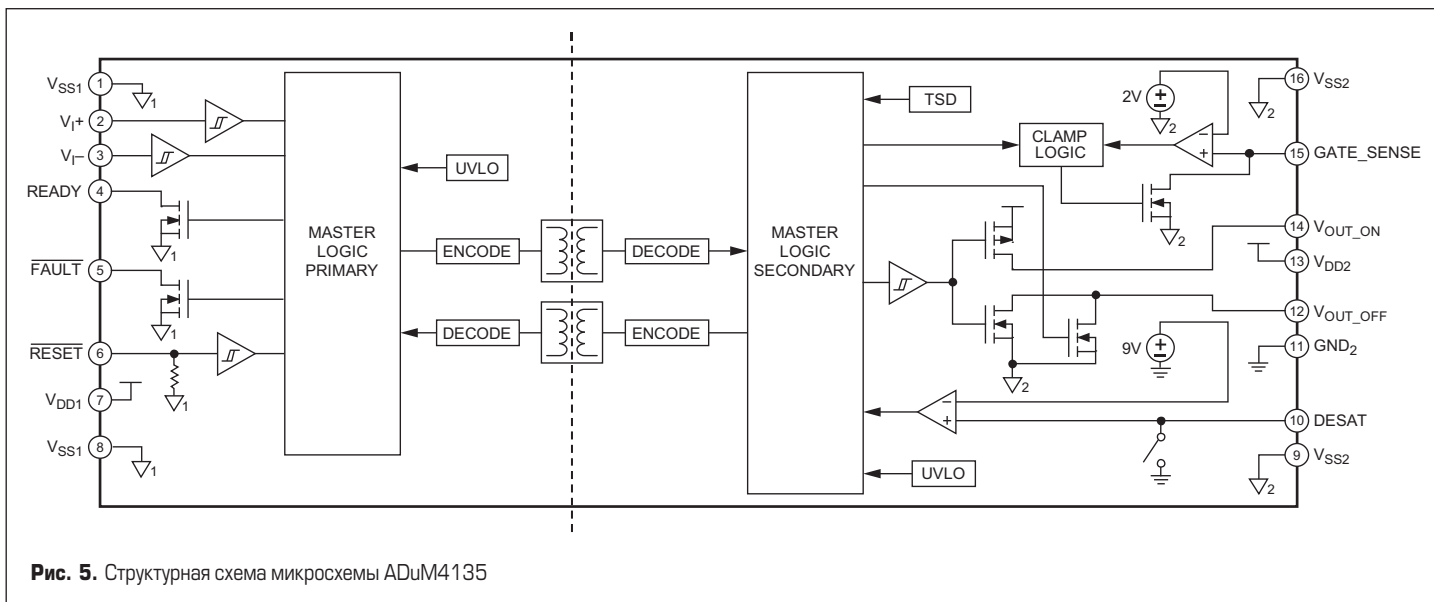


Рис. 5. Структурная схема микросхемы ADuM4135

Рассмотрим подробнее некоторые из этих типов микросхем.

Каждая из микросхем **ADuM3223** и **ADuM4223** [4] имеет два независимых канала, изолированные входы и выходы низкого и высокого уровня и дифференциальное напряжение на входе между верхним и нижним каналами, достигающее 700 В (пиковое значение).

Микросхема **ADuM3223** имеет напряжение изоляции 3 кВ (RMS) и выпускается в узком 16-выводном корпусе SOIC-N, а **ADuM4223** — 5 кВ (RMS) и изготавливается в широком 16-выводном корпусе SOIC-W.

Структурная схема микросхем **ADuM3223** и **ADuM4223** приведена на рис. 4, а назначение их выводов — в таблице 7.

Рассмотрим микросхему **ADuM4135**, применяемую для повышения надежности и качества процесса управления электродвигателями в промышленных приложениях. Ее применение позволяет пользователям выполнить требования уровня IEC3 и даже IEC4 стандарта энергоэффективности электродвигателей IEC 60034-30, что соответствует общей тенденции отрасли к повышению частоты переключения как в системах управления двигателями, так и в электросетевых инверторах.

Малые величины задержки распространения сигналов и ее неравномерности позволяют разработчикам минимизировать «мертвое» время между переключениями верхнего и нижнего ключей, сократив тем самым потери и улучшив общие характеристики системы с использованием драйвера **ADuM4135**. Исключительная устойчивость к синфазным помехам отвечает последним тенденциям в технологиях построения силовых ключей, в том числе на SiC- и GaN-MOSFET, работающих на более высоких частотах переключения и с повышенными уровнями импульсных помех.

Драйвер **ADuM4135** имеет следующие особенности:

- пиковая нагрузочная способность выхода: 4 А;
- выходное сопротивление канала управления силовым устройством: менее 1 Ом;

Таблица 8. Назначение выводов микросхемы ADuM4135

Номер вывода	Обозначение вывода	Описание назначения вывода
1	V _{SS1}	Общий провод первичной стороны
2	V _{I+}	Входной положительный сигнал
3	V _{I-}	Входной отрицательный сигнал
4	READY	Логический выход с открытым стоком сигнала готовности
5	FAULT	Логический выход с открытым стоком сигнала ошибки
6	RESET	Вход сигнала сброса
7	V _{DD1}	Напряжение питания цепей первичной стороны +2,3...+5,5 В
8	V _{SS1}	Общий провод первичной стороны
9	V _{SS2}	Отрицательное напряжение питания вторичной стороны -15...0 В
10	DESAT	Вход обнаружения состояния неисправности
11	GND2	Общий провод вторичной стороны
12	V _{OUT_OFF}	Выход сигнала выключения
13	V _{DD2}	Напряжение питания цепей вторичной стороны +12...+30 В
14	V _{OUT_ON}	Выход сигнала включения
15	GATE_SENSE	Вход контроля напряжения затвора и схемы ограничения эффекта Миллера
16	V _{SS2}	Отрицательное напряжение питания вторичной стороны -15...0 В

- наличие схем защиты от выхода из насыщения и подавления эффекта Миллера с входом датчика напряжения затвора;
- аварийное оповещение о выходе из насыщения;
- плавное отключение в случае возникновения отказа;
- малые величины задержки распространения сигналов (типичное значение 50 нс) и неравномерности задержки (типичное значение 15 нс).

Микросхема **ADuM4135** [5] выпускается в 16-выводном широком корпусе SOIC-W с длинной пути утечки по корпусу и между выводами, равной 7,8 мм.

Структурная схема микросхемы **ADuM4135** приведена на рис. 5, а назначение ее выводов — в таблице 8.

Рассмотрим выполненный на микросхеме **ISO5500** [6] фирмы Texas Instruments драйвер со встроенной емкостной изоляцией, который позволяет управлять как IGBT, так и MOSFET с рабочим током до 150 А и максимальным напряжением до 1200 В. Изолирующим барьером между входными цепями и выходным

силовым каскадом здесь служит емкость конденсатора, в котором в качестве диэлектрического изолятора применен диоксид кремния. При использовании совместно со схемой изолированного электропитания, к примеру на базе трансформаторного драйвера **SN6501** той же фирмы, микросхема **ISO5500** позволяет обеспечить надежную развязку от высоких напряжений, изолировать «земли», предотвратить наводку шумов по общим шинам и уменьшить влияние на чувствительные элементы схемы управления.

Микросхема обеспечивает защиту от превышения тока в силовой цепи (контроль напряжения насыщения) и от пониженного напряжения на собственной шине питания (UVLO), что обеспечивает надежную работу управляемого транзистора.

Основные характеристики микросхемы **ISO5500**:

- напряжение изоляции: 6 кВ (пиковое значение);
- максимальный пиковый выходной ток: 2,5 А;
- КМОП/TTL-совместимые входы;

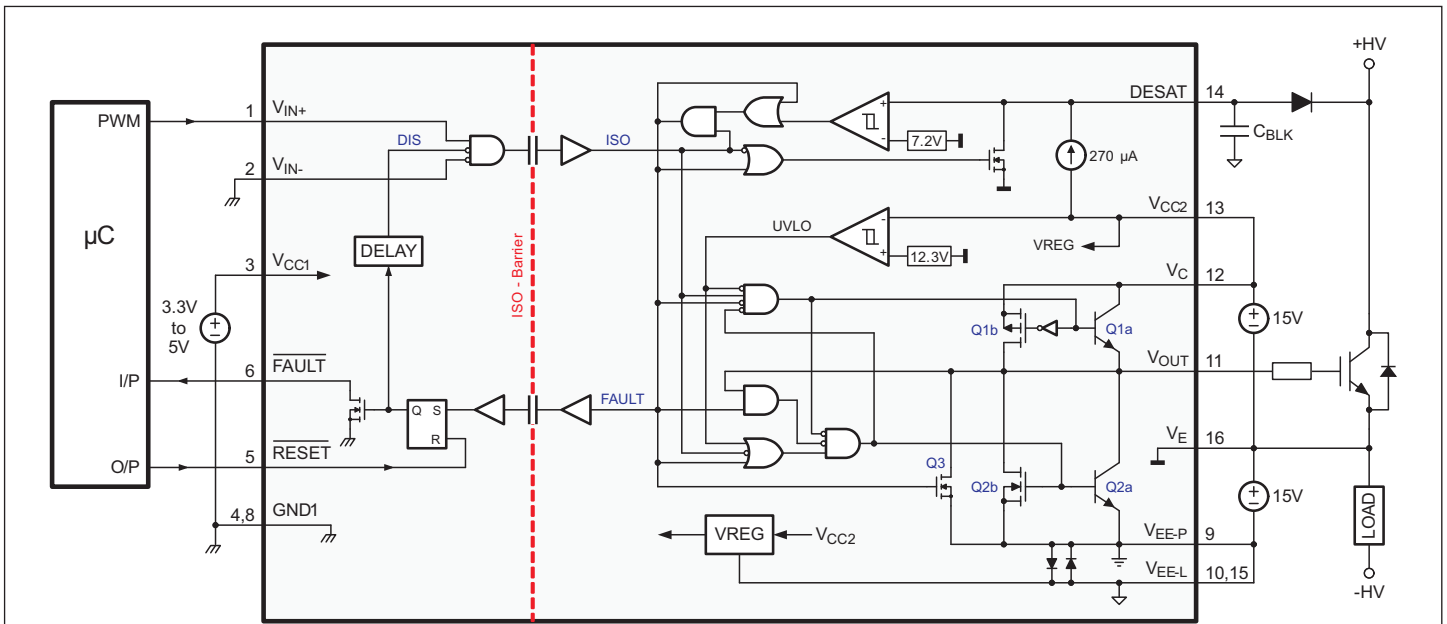


Рис. 6. Структурная схема микросхемы ISO5500 и способ ее включения для неинвертирующей конфигурации входа и с применением IGBT

Таблица 9. Назначение выводов микросхемы ISO5500

Номер вывода	Обозначение вывода	Описание назначения вывода
1	V _{IN+}	Неинвертирующий вход управления
2	V _{IN-}	Инвертирующий вход управления
3	V _{CC1}	Положительное напряжение питания входных цепей +3...+5,5 В
4	GND1	Общий провод входных цепей
5	RESET	Вход сигнала сброса
6	FAULT	Логический выход с открытым стоком сигнала ошибки
7	NC	Не используется
8	GND1	Общий провод входных цепей
9	V _{EE-P}	Отрицательное напряжение питания выходных цепей
10	V _{EE-L}	Отрицательное напряжение питания логических цепей
11	V _{OUT}	Выход драйвера
12	V _C	Напряжение питания выходных цепей +15...+30 В
13	V _{CC2}	Положительное напряжение питания логических цепей
14	DESAT	Вход обнаружения состояния неисправности
15	V _{EE-L}	Отрицательное напряжение питания логических цепей
16	V _E	Общий провод выходных цепей

- максимальное время задержки сигнала: 300 нс;
- плавный режим выключения управляемого транзистора;
- возможность конфигурации режимов: с инвертированием/без инвертирования, автосброс, автоматическое выключение;
- рабочий диапазон температур: -40...+125 °C;
- невосприимчивость к переходным процессам: ±50 кВ/мкс.

Микросхема ISO5500 производится в корпусе SOIC-16.

Структурная схема микросхемы ISO5500 и способ ее включения для управления по неинвертирующему входу и с применением IGBT приведены на рис. 6, а назначение выводов — в таблице 9.

Микросхема ISO5500 находит применение в различных мощных преобразователях питания и силовых электроприводах. Трехфазные преобразователи используются в частотно-регулируемых приводах для управления рабочей скоростью двигателя переменного тока и в устройствах высокой мощности, например передачи высокого напряжения постоянного тока (HVDC).

На рис. 7 в качестве примера показана типовая схема трехфазного инвертора управления двигателем с использованием шести драйверов ISO5500.

Трехфазный инвертор состоит из трех однофазных инверторных переключателей, каждый из которых содержит по два драйвера ISO5500, подключенных к одной из трех клемм нагрузки. В этой схеме применяется метод ШИМ-регулирования несущей для сохранения формы огибающей сигнала и подавления гармоник.

Еще один драйвер фирмы Texas Instruments выполнен на микросхеме ISO5851 [7], которая используется совместно с изолированным источником питания, к примеру на базе трансформаторного драйвера SN6505B той же фирмы. В конструкции имеется один многообмоточный трансформатор, позволяющий

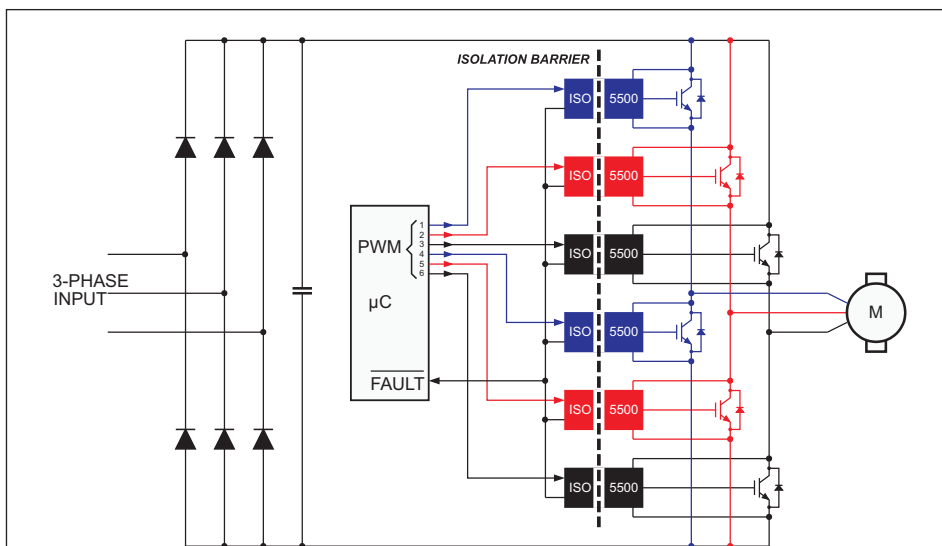


Рис. 7. Типовая схема трехфазного инвертора с использованием драйверов ISO5500

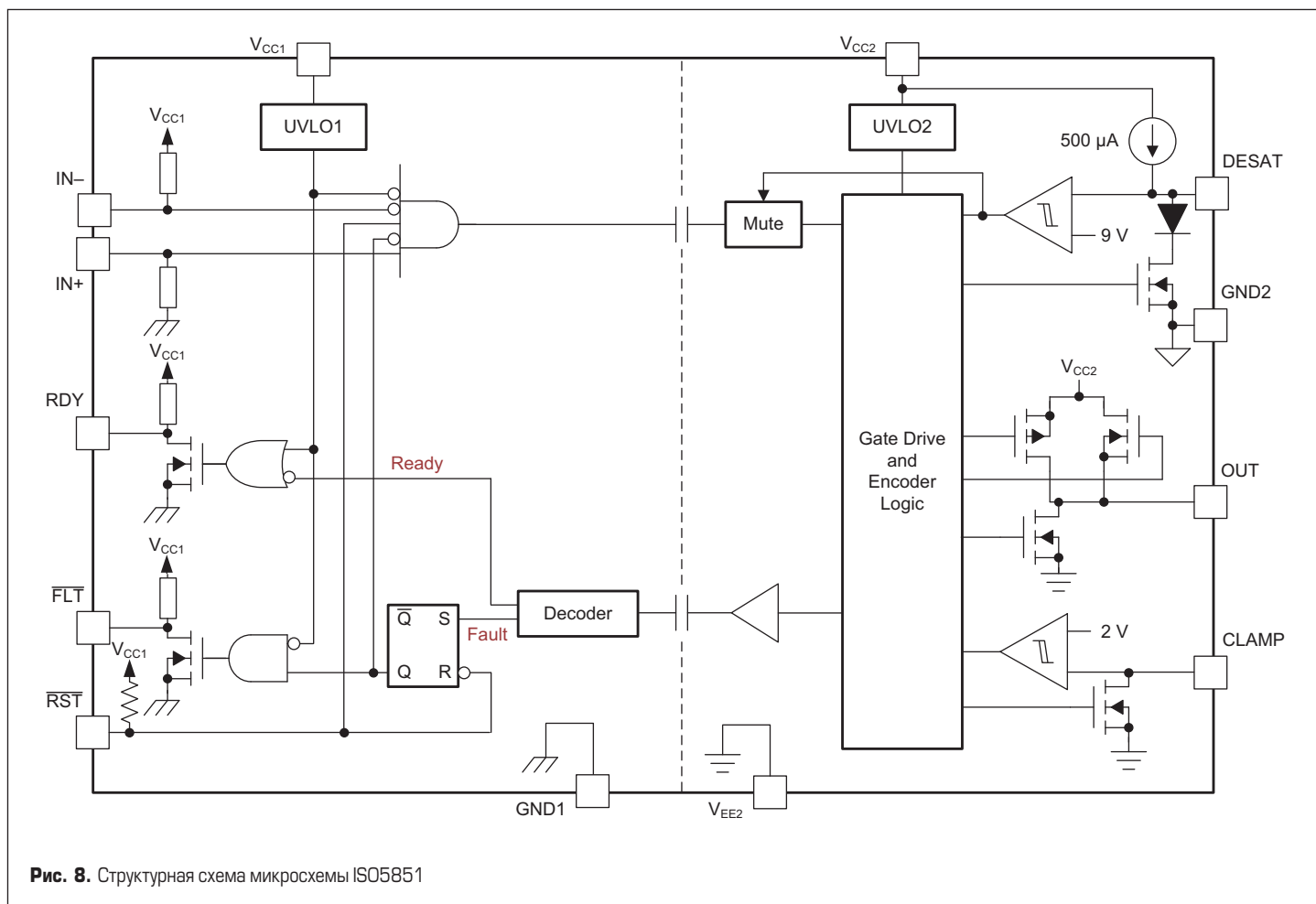


Рис. 8. Структурная схема микросхемы ISO5851

запитать сразу все драйверы трехфазного инвертора.

Микросхема ISO5851 — это драйвер IGBT и MOSFET, имеющий усиленную изоляцию с напряжением 5,7 кВ RMS (пиковое напряжение изоляции 8 кВ), выходной ток 2,5 А (пиковый ток 5 А), малую задержку распространения сигнала (76 нс), высокую синфазную помехоустойчивость CMTI (Common-Mode Transient Immunity) 100 кВ/мкс и работающий в диапазоне рабочих температур $-40...+125\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Микросхема обеспечивает защиту от: короткого замыкания (Over Current Protection), перенапряжения (Under Voltage Lockout), эффекта Миллера AMC, перехода в режим насыщения, электромагнитных помех. Она соответствует сертификатам безопасности на усиленную изоляцию и стандартам DIN V VDE V 0884-10: 2006-12, UL 1577 и др.

Структурная схема микросхемы ISO5851 приведена на рис. 8, а назначение ее выводов — в таблице 10. Микросхема выполнена в 16-выводном широком корпусе SOIC-W, обеспечивающем минимальные пути и токи поверхностной утечки (Creepage).

Не так давно в ассортименте драйверов затвора фирмы Texas Instruments появилась новая микросхема UCC21520 [8] — быстродействующий двухканальный изолированный драйвер, предназначенный для управления MOSFET, IGBT и SiC-MOSFET в устройствах телекоммуникации, автомобильной промышленности и других приложениях и позволяющий достичь высоких показателей удельной мощности и КПД.

Таблица 10. Назначение выводов микросхемы ISO5851

Номер вывода	Обозначение вывода	Описание назначения вывода
1	V_{EE}	Отрицательное напряжение питания логических цепей
2	DESAT	Вход обнаружения состояния неисправности
3	GND2	Общий провод
4	NC	Не используется
5	V_{CC2}	Положительное напряжение питания вторичных цепей +15...+30 В
6	OUT	Выход драйвера
7	CLAMP	Вход схемы ограничения эффекта Миллера
8	V_{EE}	Отрицательное напряжение питания логических цепей
9	GND1	Общий провод входных цепей
10	IN+	Неинвертирующий вход управления
11	IN-	Инвертирующий вход управления
12	\overline{RDY}	Логический выход с открытым стоком сигнала готовности
13	\overline{FLT}	Логический выход с открытым стоком сигнала ошибки
14	RST	Вход сигнала сброса
15	V_{CC1}	Положительное напряжение питания первичных цепей +3...+5,5 В
16	GND1	Общий провод первичных цепей

Микросхема может применяться в качестве изолированного драйвера верхнего и нижнего ключей, а также в полумостовых схемах управления питанием. Наличие двух каналов и возможность их параллельного объединения предусматривает эксплуатацию микросхемы как в аналоговых, так и в цифровых устройствах.

Микросхема обладает усиленной прочностью изоляции (до 5,7 кВ RMS), что позволяет использовать ее при работе с вольтажом до 1500 В постоянного тока, устойчивостью

к броскам напряжения вплоть до 12,8 кВ и к воздействию синфазных помех при скорости нарастания более 100 В/нс. Задержка сигнала в микросхеме составляет 19 нс, рассогласование времени задержки канал-канал — менее 5 нс. Входной ток может достигать 6 А, а выходной — 4 А. Потери при использовании микросхемы в высокочастотных импульсных схемах сокращены до минимума благодаря малому времени нарастания (6 нс) и спада (7 нс) при емкости нагрузки

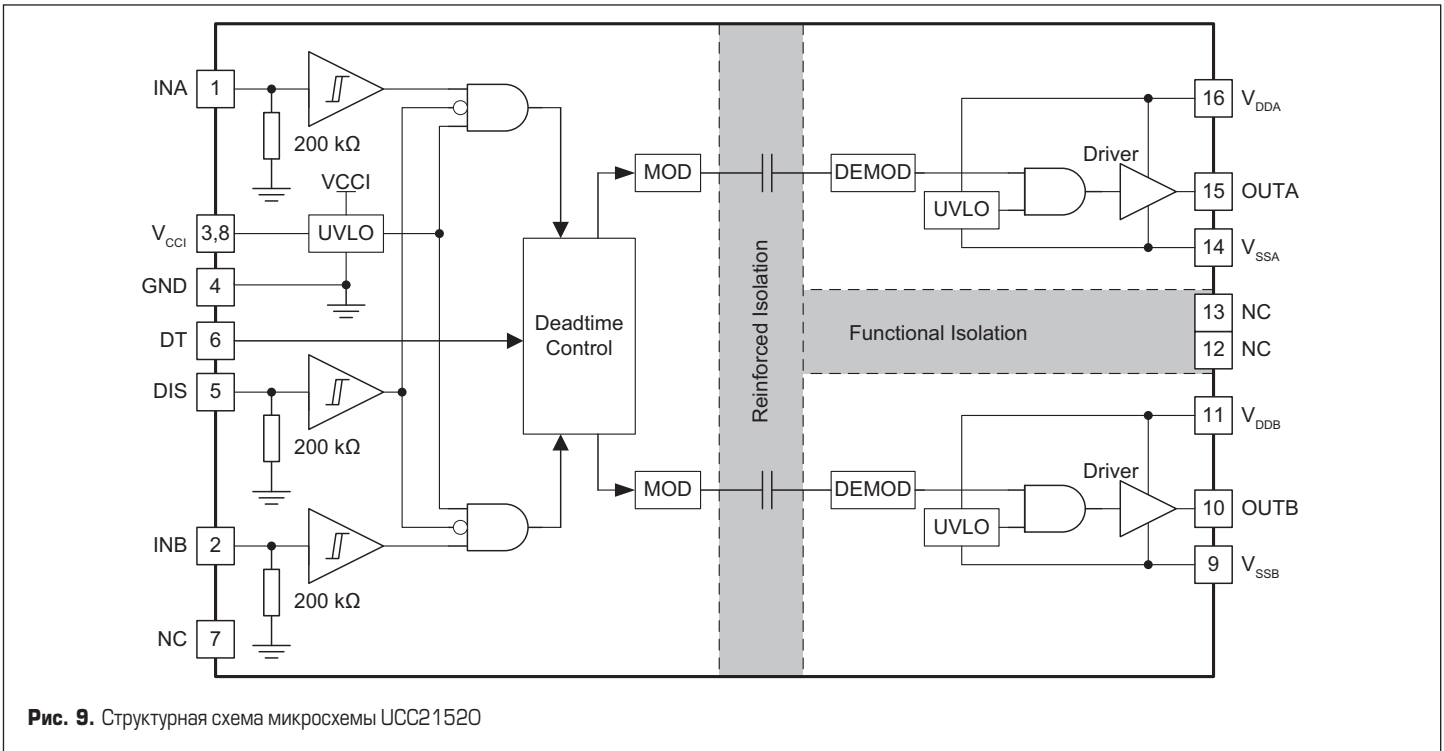


Рис. 9. Структурная схема микросхемы UCC21520

Таблица 11. Назначение выводов микросхемы UCC21520

Номер вывода	Обозначение вывода	Описание назначения вывода
1	INA	Вход сигнала канала А
2	INB	Вход сигнала канала В
3	V _{CCI}	Напряжение питания первичной стороны
4	GND	Общий провод первичной стороны
5	DIS	Вход сигнала выключения драйверов обоих каналов
6	DT	Вход программирования функции «мертвого» времени
7	NC	Не используется
8	V _{CCI}	Напряжение питания первичной стороны
9	V _{SSB}	Общий провод канала В вторичной стороны
10	OUTB	Выход драйвера канала В
11	V _{DDB}	Напряжение питания канала В вторичной стороны
12	NC	Не используется
13		
14	V _{SSA}	Общий провод канала А вторичной стороны
15	OUTA	Выход драйвера канала А
16	V _{DDA}	Напряжение питания канала А вторичной стороны

1,8 нФ. Ток потребления в режиме ожидания 1 мА на канал.

Микросхема соответствует сертификатам безопасности на усиленную изоляцию согласно DIN V VDE V 0884-11: 2017-01, UL 1577 и др.

Структурная схема микросхемы UCC21520 приведена на рис. 9, а назначение ее выводов — в таблице 11. Микросхема выполнена в 16-выводном корпусе SOIC-DW, обеспечивающем минимальные пути и токи поверхностной утечки (Steepage).

Примерно год назад компанией X-REL Semiconductor была представлена микросхема XTR26020 [9], являющаяся высоконадежным изолированным драйвером затвора высоковольтных SiC- и GaN-MOSFET, MOSFET стандартной кремниевой технологии, в том числе с управляющим переходом (JFET) и на основе

перехода металл-полупроводник (MESFET), работающих в условиях экстремальных температур.

Драйвер находит применение в автомобильной, аэрокосмической, нефтедобывающей, энергетической и других отраслях, где требуется надежное преобразование энергии, а именно в интеллектуальных силовых модулях, электроприводах, инверторах, импульсных источниках питания и т. п.

По сравнению с большинством доступных в настоящее время высокотемпературных драйверов XTR26020 обладает повышенной функциональностью и обеспечивает безопасную работу благодаря изолированным цепям управления силовыми ключами, предотвращая любую перекрестную проводимость между переключателями верхней и нижней сторон.

К другим важным особенностям XTR26020 можно отнести встроенный стабилизатор напряжения и четырехканальный приемопередатчик (два передатчика — Tx и два приемника — Rx) для изолированного обмена данными с микроконтроллером и между переключателями верхней и нижней сторон.

Микросхема содержит один канал драйвера с подтяжкой вверх (PU_DR) с максимальным пиковым выходным током 4 А и постоянным током 1 А при $T_c = +230^\circ\text{C}$ и два канала с подтяжкой вниз (PD_DR и PD_MC) с максимальным пиковым выходным током 2,4 А при той же температуре. Канал PD_DR используется для эффективного выключения силового транзистора, в то время как канал PD_MC предназначен для выполнения функции активного ограничения эффекта Миллера АМС благодаря встроенному детектору уровня напряжения затвора.

Микросхема имеет схему плавного отключения силового транзистора, которая предназначена для замедления его выключения в случае неисправности. Она реагирует на отказы, связанные с перегрузкой по току в силовой выходной цепи или с понижением напряжения источника питания с помощью схемы UVLO. Кроме того, для защиты на системном уровне предусмотрены схемы безопасного включения и защиты от перекрестной проводимости и сквозных токов.

Основные параметры и возможности микросхемы XTR26020:

- диапазон рабочих температур: $-60...+230^\circ\text{C}$;
- встроенные многоканальный приемопередатчик для изолированной передачи данных и стабилизатор напряжения: +5 В (LDO);
- интегрированный ключ активного ограничения эффекта Миллера (АМС) с максимальным током 3 А;
- программно устанавливаемые уровни защиты от пониженного напряжения (ULVO) и от перегрузки по току.

Структурная схема микросхемы XTR26020 приведена на рис. 10, а назначение ее выводов — в таблице 12. Микросхема может выпускаться в одном из двух типов корпусов: LJCС-28 или DIP-28.

И в заключение рассмотрим новое семейство одноканальных изолированных драйверов затвора IGBT и MOSFET **1EDIxx** [10, 11] фирмы Infineon, сочетающие высокую надежность и конкурентную цену. Микросхемы находят применение в преобразователях (до 1200 В) источников питания общепромышленного применения, системах индукционного нагрева, электроприводах переменного и постоянного тока, зарядных устройствах и сварочных аппаратах, системах альтернативной энергии и др.

В семейство входят следующие микросхемы: 1EDI05I12AH (выходной ток ±0,5 А), 1EDI20I12AH (±2 А), 1EDI20H12AH (±2 А для высокоскоростных IGBT), 1EDI40I12AH (±4 А), 1EDI60I12AH (±6 А), 1EDI60H12AH (±6 А для высокоскоростных IGBT), 1EDI10I12MH (±1 А и ±1 А в схеме ограничения эффекта Миллера), 1EDI20I12MH (±2 А и ±2 А в схеме ограничения эффекта Миллера), 1EDI30I12MH (±3 А и ±3 А в схеме ограничения эффекта Миллера).

Микросхемы 1EDIxx имеют типовой пиковый выходной ток до 10 А, выдерживают напряжение 3 кВ в течение 1 с и обеспечивают передачу данных через изолирующий ба-

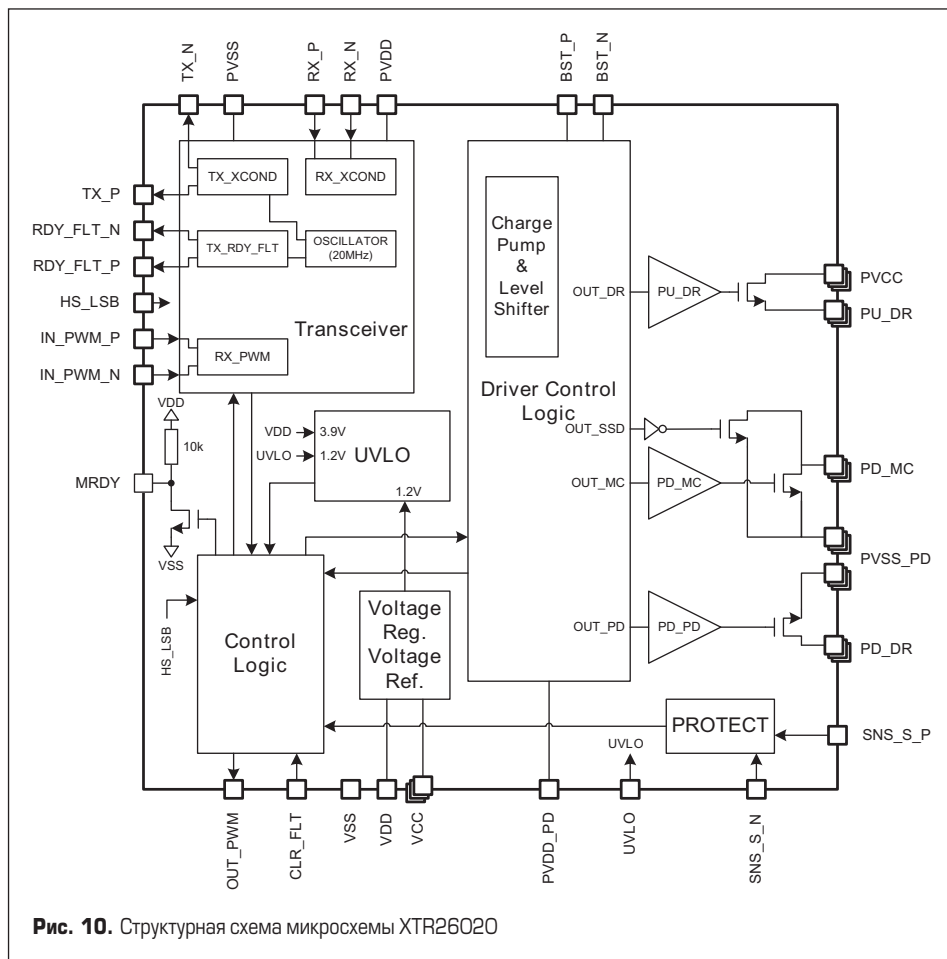


Рис. 10. Структурная схема микросхемы XTR26020

Таблица 12. Назначение выводов микросхемы XTR26020

Номер вывода	Обозначение вывода	Описание назначения вывода
1	RX_P	Положительный вход внутреннего приемника информации о перекрестной проводимости между переключателями верхней и нижней стороны
2	RX_N	Отрицательный вход внутреннего приемника информации о перекрестной проводимости между переключателями верхней и нижней стороны
3	PVSS	Отрицательное напряжение питания
4	TX_N	Отрицательный выход внутреннего передатчика информации о перекрестной проводимости между переключателями верхней и нижней стороны
5	TX_P	Положительный выход внутреннего передатчика информации о перекрестной проводимости между переключателями верхней и нижней стороны
6	RDY_FLT_N	Выход отрицательного сигнала READY/FAULT на микроконтроллер через изолированный приемопередатчик
7	RDY_FLT_P	Выход положительного сигнала READY/FAULT на микроконтроллер через изолированный приемопередатчик
8	HS_LSB	Цифровой вход триггера Шмитта (0/5 В) для выбора режима работы драйвера на стороне высокого или низкого уровня
9	IN_PWM_P	Положительный вход сигнала ШИМ от микроконтроллера через изолированный приемопередатчик
10	IN_PWM_N	Отрицательный вход сигнала ШИМ от микроконтроллера через изолированный приемопередатчик
11	MRDY	Выход с открытым стоком, дающий информацию о готовности или неисправности схемы
12	OUT_PWM	Выход цифрового сигнала управления драйверов PU_DR и PD_DR
13	CLR_FLT	Вывод подключения конденсатора, определяющего время ожидания неисправности
14	VSS	Наибольшее отрицательное напряжение питания
15	VDD	Напряжение питания логических схем управления драйверами +5 В
16	VCC	Положительное напряжение питания +4,5...+40 В
17	PVDD_PD	Развязывающий конденсатор логических схем управления драйверами
18	UVLO	Вход напряжения UVLO с внешнего резистивного делителя
19	SNS_S_N	Вход отрицательного сигнала обнаружения перегрузки по току
20	SNS_S_P	Вход положительного сигнала обнаружения перегрузки по току
21	PD_DR	Выход драйвера с подтяжкой вниз PD_DR с пиковым током 2,4 А
22	PVSS_PD	Напряжение питания драйвера PD_MC
23	PD_MC	Выход драйвера с подтяжкой вниз PD_MC с пиковым током 2,4 А
24	PU_DR	Выход драйвера с подтяжкой вверх PU_DR с пиковым током 4 А
25	PVCC	Положительное напряжение питания драйвера PU_DR
26	BST_N	Отрицательная обкладка бутстрепного конденсатора
27	BST_P	Положительная обкладка бутстрепного конденсатора
28	PVDD	Напряжение питания приемопередатчика +5 В

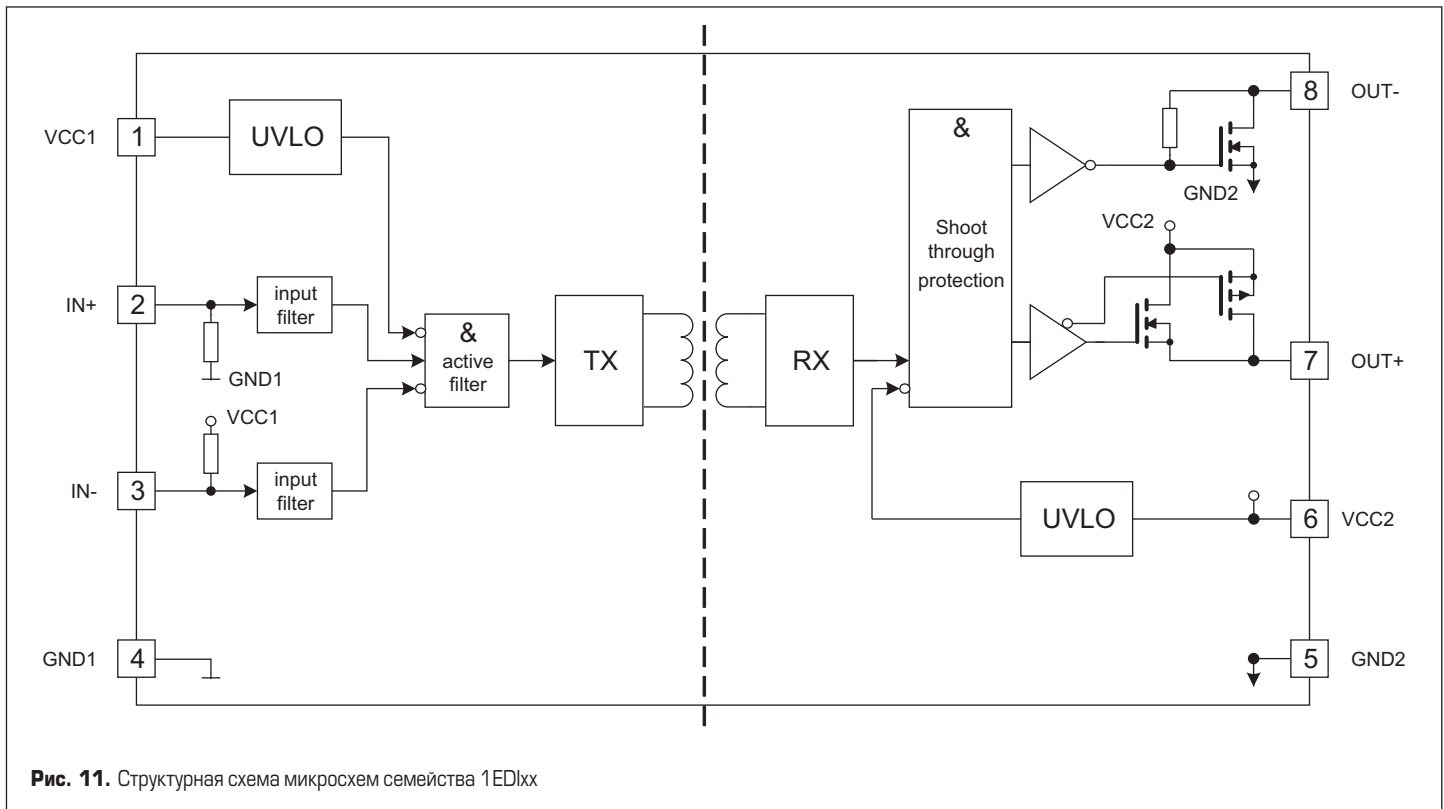


Рис. 11. Структурная схема микросхем семейства 1EDIxx

Таблица 13. Назначение выводов микросхем семейства 1EDIxx

Номер вывода	Обозначение вывода	Описание назначения вывода
1	VCC1	Положительное напряжение питания входных цепей
2	IN+	Неинвертирующий вход драйвера
3	IN-	Инвертирующий вход драйвера
4	GND1	Общий провод входных цепей
5	GND2	Общий провод выходных цепей
6	VCC2	Положительное напряжение питания выходных цепей
7	OUT+	Выход драйвера источника с подтяжкой вверх
8	OUT-	Выход драйвера приемника с подтяжкой вниз

рьер на базе технологии трансформатора без сердечника (Coreless Transformer). Благодаря этой технологии достигается повышенная устойчивость к переходным напряжениям и ЭМП, а также полностью исчезает риск возникновения ложных срабатываний в процессе работы. Микросхемы имеют высокий иммунитет к перепадам напряжения до 100 кВ/мкс и встроенную схему защиты от пониженного напряжения (ULVO).

Типовое время распространения входного сигнала на выход — задержка (Propagation Delay) — составляет 300 нс.

Структурная схема микросхем семейства 1EDIxx приведена на рис. 11, а назначение ее выводов — в таблице 13. Микросхемы выпускаются в широком корпусе PG-DSO-8-59.

На рис. 12 в качестве примера приведена типовая схема включения микросхем семейства 1EDIxx.

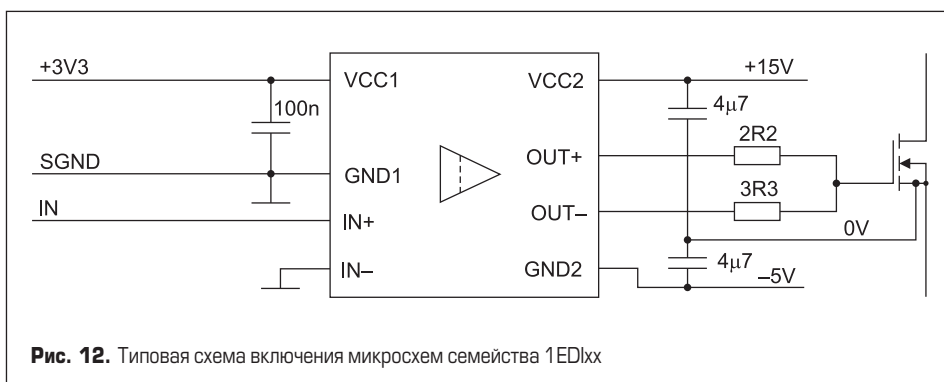


Рис. 12. Типовая схема включения микросхем семейства 1EDIxx

Литература

1. FOD3184. 3A Output Current, High Speed MOSFET/IGBT Gate Driver Optocoupler. Fairchild Semiconductor, 2005.
2. ACPL-352J and ACFJ-3520. 5.0 Amp Output Current IGBT and SiC MOSFET Gate Drive Optocoupler with Integrated Over Current Sensing, Fault, Gate and UVLO Status Feedback. Avago Technologies, 2016.
3. TLP5214. Isolated IGBT/Power MOSFET gate drive AC and brushless DC motor drives Industrial Inverters and Uninterruptible Power Supply (UPS). Toshiba Semiconductor, 2015.
4. ADuM3223/ADuM4223. Isolated Precision Half-Bridge Driver, 4 A Output. Analog Devices, 2012.
5. ADuM4135. Single-/Dual-Supply High Voltage Isolated IGBT Gate Driver with Miller Clamp. Analog Devices, 2018.
6. ISO5500. 2.5-A Isolated IGBT, MOSFET Gate Driver. Texas Instruments, 2015.
7. ISO5851. High-CMTI 2.5-A and 5-A Isolated IGBT, MOSFET Gate Driver With Active Protection Features. Texas Instruments, 2017.
8. UCC21520, UCC21520A. 4-A, 6-A, 5.7-kVRMS Isolated Dual-Channel Gate Driver. Texas Instruments, 2017.
9. XTR26020. High Temperature Isolated Intelligent Gate Driver. X-REL Semiconductor, 2017.
10. EiceDRIVER 1EDI Compact. Single channel IGBT gate driver IC in wide body package. Infineon, 2016.
11. EiceDRIVER 1EDI Compact. Single channel IGBT gate driver IC with clamp in wide body package. Infineon, 2017.