

Драйверы MOSFET и IGBT

Дмитрий Козенков (Самарская обл.)

Несмотря на заявления производителей MOSFET и IGBT о простоте управления их изделиями, отчасти справедливые для маломощных приборов, попытки создания простой и недорогой схемы управления мощными транзисторами наталкиваются на определённые сложности. Облегчить эту задачу позволяет использование специализированных микросхем-драйверов.

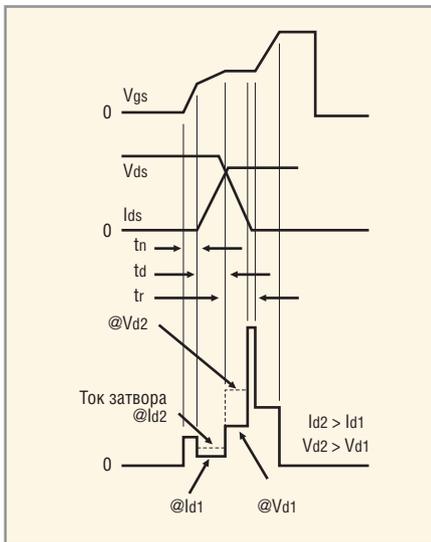


Рис. 1. Оптимальная форма кривой зарядного тока MOSFET при включении

Известно, что MOSFET и IGBT представляют собой переключающие устройства, управляемые напряжением и практически не потребляющие ток в цепи управления в статическом режиме. Однако в моменты переключения в мощных транзисторах возникают существенные броски тока в цепи затвора, обусловленные наличием паразитных элементов в структуре этих устройств [1]. Главенствующую роль в этом случае играет ёмкость затвора, от величины которой зависит скорость включения прибора и амплитуда импульса зарядного (разрядного) тока. Обычно при включении MOSFET ток стока нарастает быстрее, чем происходит спад напряжения в канале транзистора. В результате могут наблюдаться существенные потери мощности при переключении, вызывающие к тому же увеличение тока управления затвором. Оптимальная форма кривой зарядного тока при включении MOSFET показана на рис. 1. На рисун-

ке изображены диаграммы изменения напряжения на затворе V_{gs} , напряжения сток-исток V_{ds} , тока стока I_{ds} и тока затвора. Очевидно, что такой закон изменения тока затвора сложно реализовать на практике, однако этого и не требуется. Важно, чтобы ток затвора имел время нарастания, равное требуемой сумме времени нарастания тока стока и времени спада напряжения, и достаточную амплитуду для заряда эффективной ёмкости затвора. И если схема управления транзисторами нижнего плеча относительно несложна, то для управления транзисторами верхнего плеча нужно использовать различные схемотехнические ухищрения.

Традиционно для создания драйверов MOSFET используются импульсные трансформаторы. Помимо обеспечения гальванической развязки к их преимуществам также относится возможность управления транзисторами «верхнего плеча» в полумостовых и мостовых схемах. Однако по совокупности характеристик, в том числе и по соображениям стоимости и габаритов гораздо выгоднее использовать специализированные

микросхемы-драйверы. В настоящее время многие фирмы (TI, IR, National) предлагают огромный ассортимент интегральных драйверов MOSFET/IGBT, некоторые из которых способны управлять транзисторами верхнего плеча при напряжениях до 1200 В.

Обширную гамму получивших широкое распространение драйверов нижнего плеча выпускает корпорация Texas Instruments [2]. Основные характеристики её микросхем показаны на рис. 2 и в таблице 1. Компания предлагает приборы общего назначения с максимальным пиковым током затворов до 9 А (у драйверов UCC3732x), а также драйверы синхронных выпрямителей. Для этих микросхем характерны следующие параметры и особенности:

- диапазон напряжения питания. Некоторые семейства драйверов TI работоспособны при напряжениях 4...40 В;
- число выходов. Доступны как одноканальные, так и двухканальные приборы;
- выходная конфигурация. Возможны инвертирующая, неинвертирующая, AND- и NAND-конфигурации;
- выходной каскад TrueDrive. В большинстве драйверов TI используется комбинированная архитектура выходных каскадов, состоящая из соединённых параллельно биполярных и КПОМ-транзисторов. Такое решение позволяет обеспечить

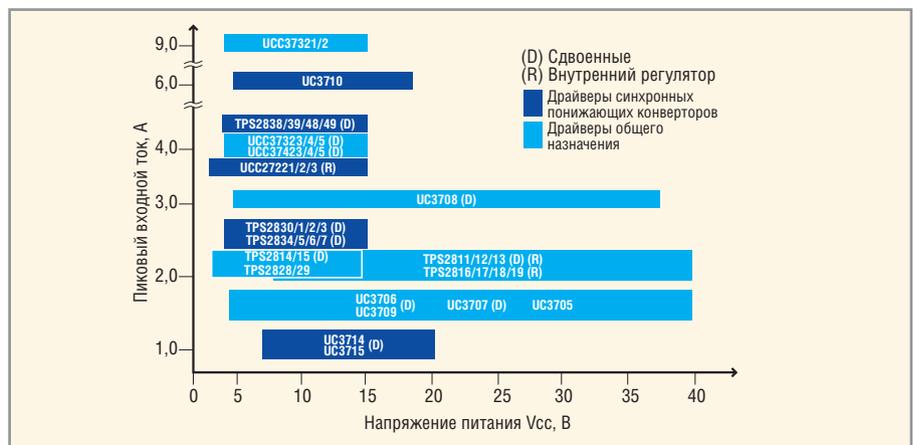


Рис. 2. Распределение семейств микросхем-драйверов Texas Instruments в зависимости от напряжения питания и выходного тока

Таблица 1. Драйверы MOSFET/IGBT фирмы Texas Instruments

Прибор	Количество выходов	Выходная конфигурация	Тип выхода ¹	Пиковый выходной ток, А (вытекающий/втекающий)	Время нарастания/спада, нс	Диапазон напряжения питания, В	Задержка распространения сигнала, нс	Входной уровень	Вход включения/выключения	Управление «мёртвым временем»	Защитные функции	Внутренний регулятор
TPS2811	2	Инверт.	TrueDrive	2,0/2,0	25/25	4...40	40	КМОП	–	–	–	+
TPS2812	2	Неинверт.	TrueDrive	2,0/2,0	25/25	4...40	40	КМОП	–	–	–	+
TPS2813	2	²	TrueDrive	2,0/2,0	25/25	4...14	40	КМОП	–	–	–	+
TPS2814	2	Сдвоен. 2-вх. AND; один инверт.	TrueDrive	2,0/2,0	25/25	4...14	40	КМОП	+	–	–	–
TPS2815	2	2-вх. NAND	TrueDrive	2,0/2,0	25/25	4...14	40	КМОП	+	–	–	–
TPS2816	1	Инверт.	TrueDrive	2,0/2,0	25/25	4...40	40	КМОП	–	–	–	+
TPS2817	1	Неинверт.	TrueDrive	2,0/2,0	25/25	4...40	40	КМОП	–	–	–	+
TPS2818	1	Инверт.	TrueDrive	2,0/2,0	25/25	4...40	40	КМОП	–	–	–	+
TPS2819	1	Неинверт.	TrueDrive	2,0/2,0	25/25	4...40	40	КМОП	–	–	–	+
TPS2828	1	Инверт.	TrueDrive	2,0/2,0	25/25	4...14	40	КМОП	–	–	–	–
TPS2829	1	Неинверт.	TrueDrive	2,0/2,0	25/25	4...14	40	КМОП	–	–	–	–
UC3714	2	Неинверт.	Биполярная	0,5/1,0	30/25	7...20	50	ТТЛ/ШИМ	+	Регулир.	–	–
UC3715	2	³	Биполярная	1,0/2,0	30/25	7...20	50	ТТЛ/ШИМ	+	Регулир.	–	–
UCC27323	2	Инверт.	TrueDrive	4,0/4,0	25/25	4...15	35	ТТЛ/КМОП	–	–	–	–
UCC27324	2	Неинверт.	TrueDrive	4,0/4,0	25/25	4...15	35	ТТЛ/КМОП	–	–	–	–
UCC27325	2	³	TrueDrive	4,0/4,0	25/25	4...15	35	ТТЛ/КМОП	–	–	–	–
UCC27423	2	Инверт.	TrueDrive	4,0/4,0	25/25	4...15	35	ТТЛ/КМОП	+	–	–	–
UCC27424	2	Неинверт.	TrueDrive	4,0/4,0	25/25	4...15	35	ТТЛ/КМОП	+	–	–	–
UCC27425	2	³	TrueDrive	4,0/4,0	25/25	4...15	35	ТТЛ/КМОП	+	–	–	–
UCC28089	2	–	Биполярная	0,5/1,0	28/13	8...15	45	–	–	Регулир.	OSP ³	–
UCC37321	1	Инверт.	TrueDrive	9,0/9,0	20/20	4...15	30	ТТЛ/КМОП	+	–	–	–
UCC37322	1	Неинверт.	TrueDrive	9,0/9,0	20/20	4...15	30	ТТЛ/КМОП	+	–	–	–
UCC37323	2	Инверт.	TrueDrive	4,0/4,0	25/25	4...15	35	ТТЛ/КМОП	–	–	–	–
UCC37324	2	Неинверт.	TrueDrive	4,0/4,0	25/25	4...15	35	ТТЛ/КМОП	–	–	–	–
UCC37325	2	³	TrueDrive	4,0/4,0	25/25	4...15	35	ТТЛ/КМОП	–	–	–	–
TPS2830	2	Неинверт.	TrueDrive	2,4/2,4	50/50	4,5...15	75	КМОП	+	Адаптивно	OVPC	–
TPS2831	2	Инверт.	TrueDrive	2,4/2,4	50/50	4,5...15	75	КМОП	+	Адаптивно	OVPC	–
TPS2832	2	Неинверт.	TrueDrive	2,4/2,4	50/50	4,5...15	75	КМОП	–	Адаптивно	–	–
TPS2833	2	Инверт.	TrueDrive	2,4/2,4	50/50	4,5...15	75	КМОП	–	Адаптивно	–	–
TPS2834	2	Неинверт.	TrueDrive	2,4/2,4	30/30	4,5...15	70	ТТЛ	+	Адаптивно	OVPC	–
TPS2835	2	Инверт.	TrueDrive	2,4/2,4	30/30	4,5...15	70	ТТЛ	+	Адаптивно	OVPC	–
TPS2836	2	Неинверт.	TrueDrive	2,4/2,4	30/30	4,5...15	70	ТТЛ	–	Адаптивно	–	–
TPS2837	2	Инверт.	TrueDrive	2,4/2,4	30/30	4,5...15	70	ТТЛ	–	Адаптивно	–	–
TPS2838	2	Неинверт.	TrueDrive	4/4	120	10...15	40	ТТЛ	+	Адаптивно	–	+
TPS2839	2	Инверт.	TrueDrive	4/4	120	10...15	40	ТТЛ	+	Адаптивно	–	+
TPS2848	2	Неинверт.	TrueDrive	4/4	120	10...15	20	ТТЛ	+	Адаптивно	–	+
TPS2849	2	Инверт.	TrueDrive	4/4	120	10...15	20	ТТЛ	+	Адаптивно	–	+
UCC27221	2	Инверт.	TrueDrive	3,3/3,3	20/20	3,7...20	82/103	ТТЛ	–	PGD ⁴	–	+
UCC27222	2	Неинверт.	TrueDrive	3,3/3,3	20/20	3,7...20	82/103	ТТЛ	–	PGD	–	+
UCC27223	2	Неинверт.	TrueDrive	3,3/3,3	25/35	4,15...20	82/103	ТТЛ	+	PGD	–	+
UCD7100PWP	1	Свободный/неинверт.	TrueDrive	4/4	10/10	4,5...16	20	КМОП/ТТЛ	–	Адаптивно	Регулир.	–
UCD7201PWP	2	Свободный/неинверт.	TrueDrive	4/4	10/10	4,5...16	20	КМОП/ТТЛ	–	Адаптивно	Регулир.	–

¹Тип выхода: TrueDrive – гибридная биполярная/КМОП архитектура выхода для увеличения выходного тока при малых напряжениях.²Один инвертирующий, один неинвертирующий.³OSP (Over Current Protection) – защита от перегрузки по току, OVPC (Over-Voltage Protection Crowbar) – защита от перенапряжения.

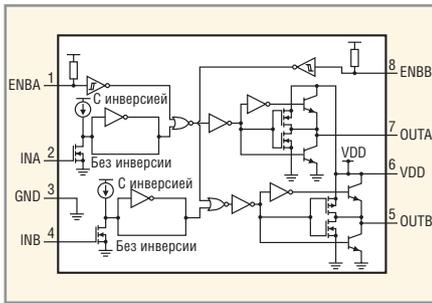


Рис. 3. Блок-схема драйверов семейства UCC27423/24/25

большой ток при малых напряжениях, что важно для быстрого заряда ёмкости затвора управляемого транзистора;

- технология PGD. В приборах семейства UCC2722x используется запатентованная цифровая техника управления временем задержки между моментом выключения «верхнего» MOSFET и моментом включения «нижнего» MOSFET в схеме синхронного выпрямителя. В результате общий КПД преобразователя повышается примерно на 4%. Подробные сведения о принципе действия и использовании технологии PGD можно получить из руководства [3].

Наглядной иллюстрацией стандартных решений, используемых в драйверах TI, является блок-схема семейства UCC2742x, показанная на рис. 3 (наличие или отсутствие показанных на рисунке каскадов инвертирования зависит от конкретного

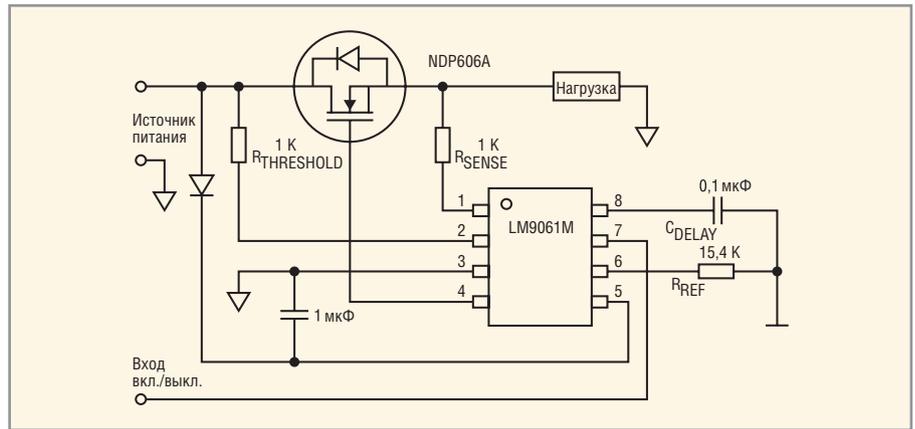


Рис. 4. Типовая схема включения драйвера LM9061

типа изделия). Эти двухканальные микросхемы имеют независимые входы включения, выходной каскад TrueDrive и обеспечивают пиковый выходной ток ± 4 А. Приборы поставляются в корпусе со стандартным для подобных микросхем расположением выводов.

Аналогичную продукцию, сравнимую с драйверами TI, предоставляет также компания Vishay. Некоторые характеристики её изделий приведены в таблице 2.

В случаях, когда необходимо управлять MOSFET, включённым в качестве коммутатора или драйвера верхнего плеча от микроконтроллера или подобного устройства, может оказаться удобным использование специализированного драйвера LM9061 от National Semiconductor. Он имеет КМОП-совместимый вход

и интегрированный повышающий преобразователь на переключаемых конденсаторах. При подаче на управляющий вход сигнала включения напряжение с повышающего преобразователя подаётся на затвор управляемого транзистора (рис. 4). Встроенный стабилитрон на 15 В ограничивает максимальную амплитуду напряжения на затворе. Ключевой особенностью LM9061 является наличие схемы защиты MOSFET, действующей без дополнительных потерь энергии. Величина падения напряжения на коммутируемом транзисторе непрерывно отслеживается и сравнивается с заданным внешними элементами пороговым напряжением. При достижении установленного порога, вызванном превышением допустимого тока через транзистор, драйвер закрывает его. Следует добавить, что LM9061 работает при напряжении источника питания до 26 В, выдерживая перегрузки по питанию до 60 В, и имеет диапазон рабочих температур $-40...+125^{\circ}\text{C}$.

Настоящим экспертом в создании микросхем драйверов MOSFET/IGBT является компания International Rectifier. Предлагаемые ею изделия существенно упрощают задачу создания схем управления транзисторами в приложениях при напряжениях до 1200 В и мощностях до 12 кВт. Использование драйверов IR позволяет сэкономить до 50% площади печатной платы в сравнении с дискретными решениями на оптопарах или трансформаторах. Интегральные драйверы IR генерируют токи и напряжения, достаточные для открытия и закрытия MOSFET/IGBT от сигналов с логических выходов микроконтроллеров, DSP и пр. Типовое напряжение ло-

Таблица 2. Драйверы MOSFET производства Vishay

Прибор	Описание	Максимальное напряжение стока управляемых транзисторов, В	Пиковый ток, А	Диапазон напряжений питания, В	Частота переключения, кГц	Корпус
Si9910	Адаптивный драйвер с КМОП-входной логикой	500	1	10,8...16,5	50	8-PDIP
Si9912	Сдвоенный MOSFET-драйвер	30	1	4,5...5,5	1000	8-SO
Si9913	Сдвоенный MOSFET-драйвер	30	1	4,5...5,5	1000	8-SO
SIP41101	Полумостовой N-канальный MOSFET-драйвер	30	4,1	4,5...5,5	1000	16-TSSOP
SIP41103	Полумостовой N-канальный MOSFET-драйвер	50	1,5	4,5...5,5	1000	10-MLP33
SIP41104	Полумостовой N-канальный MOSFET-драйвер	55	1,5	4,5...5,5	1000	8-SO
SIP41105	Полумостовой N-канальный MOSFET-драйвер	50	1,5	4,5...5,5	1000	16-TSSOP
SIP41108	Полумостовой N-канальный MOSFET-драйвер с регулируемой задержкой распространения сигнала верхнего плеча	48	1,8	10,8...13,2	1000	16-TSSOP
SIP41109	Полумостовой N-канальный MOSFET-драйвер	48	1,8	10,8...13,2	1000	16-TSSOP
SIP41110	Полумостовой N-канальный MOSFET-драйвер	48	1,8	10,8...13,2	1000	8-SO

Таблица 3. Высоковольтные драйверы MOSFET/IGBT производства IR

Прибор	Конфигурация	Пиковый выходной ток, А (вытекающий/втекающий)	Напряжение сдвига уровня, В	Диапазон напряжения питания ¹ , В	Максимальное выходное напряжение, В	Тип корпуса ²
Драйверы верхнего плеча						
IR2117	Одноканальный	0,2/0,4	600	10...25	20	8-DIP
IR2118	Одноканальный	0,2/0,4	600	10...25	20	8-DIP
IR2125	Одноканальный	1,0/2,0	500	10...25	18	8-DIP
IR2127/IR2128	Одноканальный	0,2/0,4	600	10...25	20	8-DIP
Драйверы нижнего плеча						
IR2121	Одноканальный	1,0/2,0	5	10...25	18	8-DIP
IR4426	Двухканальный	1,5/1,5	–	6...20	20	8-DIP
IR4427	Двухканальный	1,5/1,5	–	6...20	20	8-DIP
IR4428	Двухканальный	1,5/1,5	–	6...20	20	8-DIP
Независимые двоянные драйверы верхнего и нижнего плеча						
IR2010	Двухканальный	3,0/3,0	200	10...25	20	14-DIP
IR2011	Двухканальный	1,0/1,0	200	10...25	20	8-DIP
IR2086S	Двухканальный	1,2/–	100	10...25	20	16-SOIC
IR2101	Двухканальный	0,1/0,21	600	10...25	20	8-DIP
IR2102	Двухканальный	0,1/0,21	600	10...25	20	8-DIP
IR2106	Двухканальный	0,12/0,25	600	10...25	20	8-DIP
IR21064	Двухканальный	0,12/0,25	600	10...25	20	14-DIP
IR2110	Двухканальный	2,0/2,0	500	10...25	20	14-DIP
IR2112	Двухканальный	0,2/0,42	600	10...25	20	14-DIP
IR2113	Двухканальный	2,0/2,0	600	10...25	20	14-DIP
IR2181	Двухканальный	1,7/1,7	600	10...25	20	8-DIP
IR2213	Двухканальный	1,7/2,0	1200	10...20	20	14-DIP
IR2301	Двухканальный	0,12/0,25	600	10...25	20	8-DIP
IRS2011SPBF	Двухканальный	1,0/1,0	200	10...20	20	8-SOIC
IRS20124S	Двухканальный	1,0/1,2	200	10...20	20	14-SOIC
Сдвоенные полумостовые драйверы						
IR2085S	Полумостовой драйвер	1,0/1,0	100	10...25	–	8-SOIC
IR2103	Полумостовой драйвер	0,13/0,27	600	10...25	20	8-DIP
IR2104	Полумостовой драйвер	0,13/0,21	600	10...25	20	8-DIP
IR2105	Полумостовой драйвер	0,1/0,21	600	10...25	20	8-DIP
IR2108	Полумостовой драйвер	0,12/0,25	600	10...25	20	8-DIP
IR21084	Полумостовой драйвер	0,12/0,25	600	10...25	20	14-DIP
IR2109	Полумостовой драйвер	0,12/0,25	600	10...25	20	8-DIP
IR21094	Полумостовой драйвер	0,12/0,25	600	10...25	20	14-DIP
IR2111	Полумостовой драйвер	0,2/0,42	600	10...20	20	8-DIP
IR21141SS	Полумостовой драйвер	2,0/3,0	600	10...25	20	24-SSOP
IR2153	Полумостовой драйвер	0,2/0,4	600	10...20	20	8-DIP
IR2155	Полумостовой драйвер	0,21/0,42	600	10...20	20	8-DIP
IR21592	Полумостовой драйвер	–/–	600	10...25	20	16-DIP
IR2183	Полумостовой драйвер	1,7/1,7	600	10...25	20	8-DIP
IR2184	Полумостовой драйвер	1,7/1,7	600	10...25	20	8-DIP
IR22141SS	Полумостовой драйвер	2,0/3,0	1200	10...25	20	24-SSOP
IR2214SS	Полумостовой драйвер	2,0/3,0	1200	10...25	20	24-SSOP
IR2302	Полумостовой драйвер	0,12/0,25	600	10...25	20	8-DIP
IR2304	Полумостовой драйвер	0,12/0,25	600	10...25	20	8-DIP
IR2308	Полумостовой драйвер	0,12/0,25	600	10...20	20	8-DIP
3-фазные независимые драйверы верхнего и нижнего плеча						
IR2131	3-фазный драйвер	0,2/0,42	600	10...25	20	28-DIP
IR2131J	3-фазный драйвер	0,2/0,42	600	10...25	20	44-PLCC
3-фазные микросхемы управления электродвигателями переменного тока						
IR2130/32/33	3-фазный мостовой драйвер	0,2/0,42	600	10...25	20	28-DIP
IR2135/36/3362	3-фазный мостовой драйвер	0,12/0,25	600	12...25	20	28-DIP
IR21367	3-фазный мостовой драйвер	0,12/0,25	600	12...25	20	28-DIP
IR21368	3-фазный мостовой драйвер	0,12/0,25	600	12...25	20	28-DIP
IR21381Q	3-фазный мостовой драйвер IGBT	0,22/0,46	600	10...25	20	64-MQFP
IR2233/35	3-фазный мостовой драйвер	0,2/0,42	1200	10...25	20	28-DIP
IR22381Q	3-фазный мостовой драйвер IGBT	0,22/0,46	1200	10...25	20	64-MQFP
IR2238Q	3-фазный мостовой драйвер	0,22/0,46	1200	10...25	20	64-MQFP

¹PGD (Predictive Gate Drive™) – технология TI «прогнозирующего» драйвера затвора.²Все драйверы имеют встроенную схему UVLO.³Микросхемы с буквой «S» в конце обозначения изготовлены в корпусе SOIC.

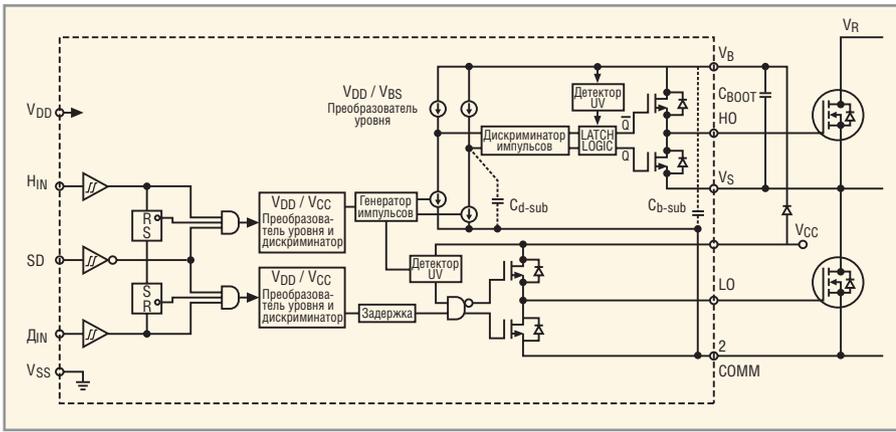


Рис. 5. Блок-схема драйвера IR2110

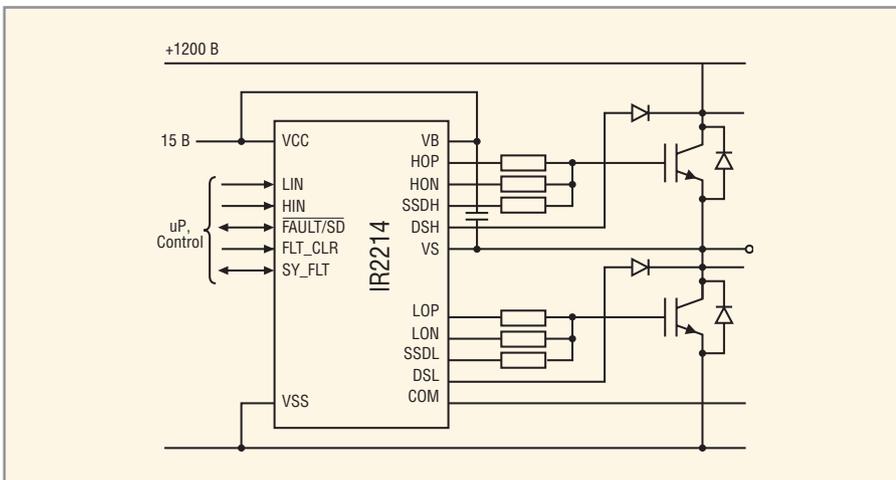


Рис. 6. Схема включения драйвера IR2214

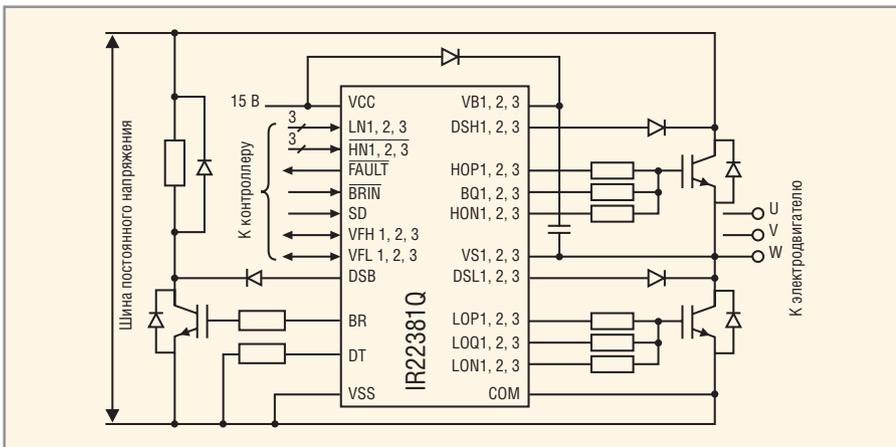


Рис. 7. Схема включения 3-фазного драйвера IR22381Q

гических входов драйверов составляет 3,3 В. Все драйверы IR являются КМОП-совместимыми, а многие и ТТЛ-совместимы. Выходные токи некоторых микросхем достигают 2 А.

Драйверы IR охватывают весь диапазон возможных ситуаций управления MOSFET/IGBT (таблица 3):

- одноканальные драйверы верхнего плеча на напряжения до 600 В;
- одно- и двухканальные драйверы нижнего плеча с выходными токами до 1,5 А;

- двухканальные отдельные драйверы верхнего и нижнего плеча на напряжения до 1200 В;
- полумостовые драйверы на напряжения до 1200 В и токи до 2 А;
- 3-фазные драйверы верхнего и нижнего плеча;
- специализированные драйверы для управления 3-фазными электродвигателями переменного тока.

Они могут использоваться в самом разнообразном оборудовании, прежде всего в инверторах и электронных

балластах, а также в автомобильной электронике.

В основе всех драйверов IR, содержащих каскад управления транзистором верхнего плеча, лежит специализированная высоковольтная схема сдвига уровня, подобная показанной на рис. 5. Для питания схемы сдвига уровня используются два внешних компонента: диод и конденсатор C_{boot} . Схема работает следующим образом. Когда вывод V_S подключен к общему проводу (например, через открытый транзистор нижнего плеча), конденсатор C_{boot} заряжается через диод от источника постоянного напряжения V_{CC} . Затем, когда вывод V_S отключается от общего провода, напряжение на конденсаторе используется для питания схемы управления транзистором верхнего плеча, формирующей импульс для открытия этого транзистора.

Такое решение характеризуется простотой и надёжностью, однако имеет некоторые ограничения, связанные с необходимостью регулярного поциклового подзаряда конденсатора C_{boot} . Прежде всего, они касаются продолжительности рабочего цикла и длительности включенного состояния транзисторов. В редких случаях может потребоваться использование вспомогательного повышающего преобразователя. Подробную информацию о расчёте внешних компонентов драйверов верхнего плеча IR можно получить из рекомендаций [4].

Дальнейшее развитие линейки драйверов IR идёт по пути интеграции в них модулей повышения надёжности и отказоустойчивости конечных систем, в составе которых используются эти микросхемы. Так, например, семейство полумостовых драйверов IR2214xSS имеет целый ряд функциональных новшеств (рис. 6). Приборы, входящие в него, обеспечивают полную защиту от короткого замыкания путём определения момента выхода из насыщения мощных транзисторов. Драйверы IR2214xSS «мягко» выключают управляемые транзисторы при любых неисправностях в полумостовой схеме, предотвращая появление скачков напряжения и уменьшая электромагнитные излучения и помехи. В многофазных системах эти приборы поддерживают возможность коммуни-

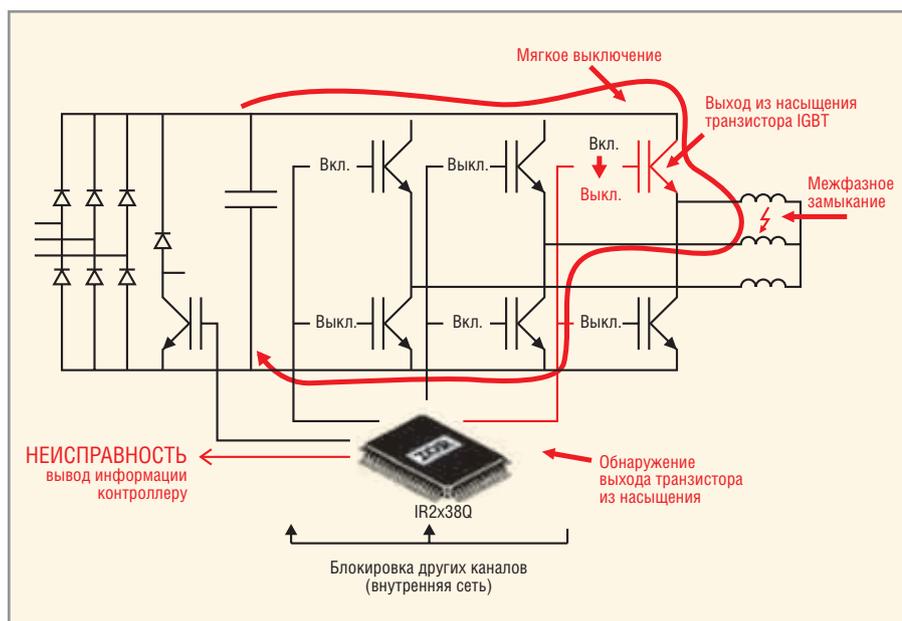


Рис. 8. Реакция драйвера IR22381Q на обнаружение межфазного короткого замыкания

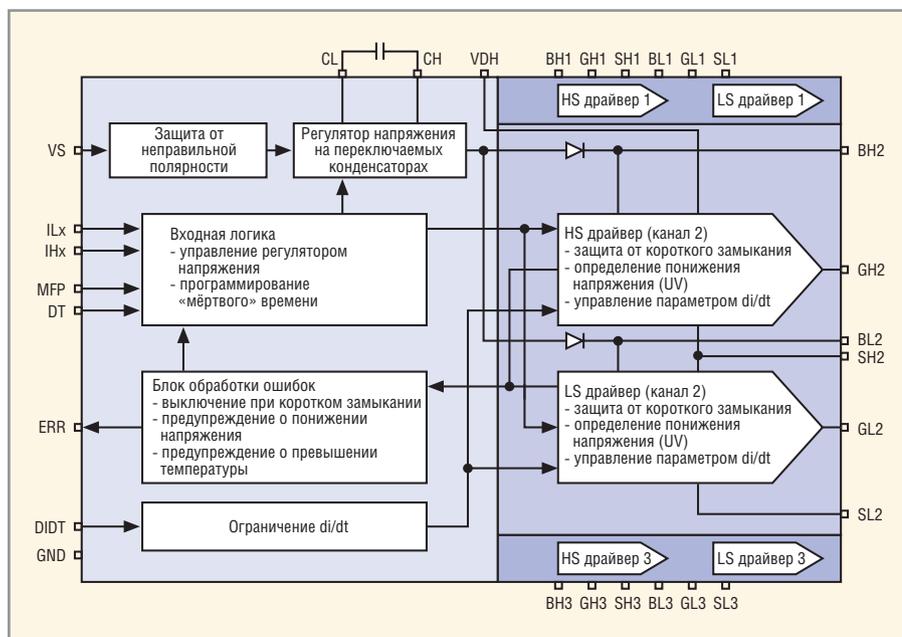


Рис. 9. Блок-схема 3-фазного мостового драйвера TLE6280GP

кации через специальную локальную сеть (выводы SY_FLT и FAULT/SD) для правильной обработки ситуаций возникновения фазных коротких замыканий. Системный контроллер может форсировать выключение драйвера или считать информацию о неисправности через двунаправленный вывод FAULT/SD. Для повышения помехоустойчивости общие выводы внутренней логики и выходных каскадов разделены и выведены на разные ножки.

Другим примером сложного интеллектуального устройства является 3-фазный драйвер IGBT IR2x381. Он был специально разработан для ис-

пользования в инверторах напряжения с полной защитой от нештатных ситуаций в нагрузке. Одна такая микросхема заменяет семь традиционных драйверов с оптотразвязкой. IR2x381 содержит семь каналов управления затворами мощных транзисторов и может управлять 3-фазным мостом и схемой торможения в системе управления электродвигателем переменного тока мощностью до 3,5 кВт (рис. 7).

Как и в описанном ранее семействе драйверов, в IR2x381 обеспечивается отслеживание выхода из насыщения транзисторов в каждом из семи каналов, которое может произойти вследствие токовых перегру-

зок (рис. 8). При этом проблемный канал «мягко» выключается, все остальные каналы блокируются и драйвер выдаёт управляющему контроллеру информацию о возникновении неисправности.

Специально для автомобильных применений (с напряжением бортовой сети 12 В) компания Infineon производит линейку трёхфазных драйверов TLE62xx. Блок-схема одного из них, TLE6280GP, представлена на рис. 9. Он характеризуется следующими возможностями:

- ток включения / выключения 0,9/0,85 А;
- напряжение питания 8...20 В;
- напряжение на затворах управляемых транзисторов 10 В;
- отдельные входы для каждого MOSFET и работоспособность при частоте ШИМ до 30 кГц;
- регулируемое «мёртвое» время и регулируемое ограничение скорости нарастания тока di/dt ;
- защита от короткого замыкания с регулируемым ограничением тока;
- TTL-совместимые входы, защита от обратной полярности при подключении;
- температурный диапазон $-40...+150^{\circ}\text{C}$.

Явно прослеживаемая тенденция к интеллектуализации и усложнению изначально довольно простых микросхем драйверов мощных MOSFET/IGBT даёт возможность разработчику достигнуть более полного контроля над поведением конечного устройства. В большинстве случаев широкая доступность микроконтроллеров, обусловленная большим ассортиментом и сравнительно низкой стоимостью, позволяет использовать их совместно с драйверами MOSFET последних поколений. Тем самым облегчается создание высоконадёжных и недорогих конкурентоспособных изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Andreychak B.* New Driver ICs Optimize High Speed Power MOSFET Switching Characteristics, U-118, UNITRODE Integrated Circuits Corporation, Merrimack, N.H.
2. Power Management Selection Guide SLVT145e. 3Q 2005. Texas Instruments.
3. Predictive Gate Drive Frequently Asked Questions, Application Report SLUA285. February 2003. Texas Instruments.
4. *Adams J.* Bootstrap Component Selection For Control IC's. Design Tip DT98-2, IR. ©