

Кирилл Автушенко (КОМПЭЛ), Андрей Булычев (г. Москва)

КЛЮЧ НА ПЛЕЧО! – ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ДРАЙВЕРОВ ПРОИЗВОДСТВА IR

Современные силовые электронные устройства в большинстве случаев содержат на выходе **мощные полевые транзисторы или IGBT-модули**. Для управления их затворами необходимо выдерживать определенные параметры управляющего сигнала, а также обеспечивать защиту выходного каскада от превышения токов нагрузки или воздействия импульсных коммутационных помех. Эту задачу успешно выполняют **драйверы силовых ключей** производства компании **International Rectifier**.

От надежной работы выходных каскадов силовых электронных устройств зависит, в конечном итоге, работа всей производственной линии, где эти устройства применяются. Для надежного и качественного переключения управляющих силовых ключей — высоковольтных MOSFET- и IGBT-транзисторов — необходимо обеспечить выполнение ряда условий:

1) напряжение на затворе должно быть выше напряжения истока транзистора на 5...10 В для MOSFET и 10...15 В для IGBT. Задача усложняется тем, что в высоковольтной системе напряжение истока (т.е. в основной шине устройства) может достигать нескольких сот или тысяч вольт;

2) транзистор в составе системы должен иметь возможность прямого управления от логической низковольтной части системы, обычно измеряемого относительно общей шины. Таким образом, напряжение низковольтной части должно иметь смещение относительно источника питания высоковольтной части системы, которое, в свою очередь, часто является двуполярным;

3) мощность, потребляемая схемой управления затвором, не должна существенно влиять на общую производительность системы коммутации.

Основной задачей драйвера для обеспечения указанных выше требований является преобразование уровней напряжения и согласование низковольтной части системы управления, имеющей, как правило, однополярное питание, и высоковольтной части, к которой часто приложено двуполярное напряжение с высоким потенциалом.

Второй задачей, решаемой с помощью специализированных драйверов, является обеспечение высоких значений

токов затвора, переключающих силовые транзисторы. Дело в том, что высоковольтные силовые ключи, как правило, имеют значительные паразитные емкости, способные накапливать большие заряды в области затвора. Для полноценного переключения таких транзисторов этот заряд необходимо рассосать или накачать, что и обеспечивается с помощью больших выходных токов драйвера.

Кроме того, драйверы силовых ключей, в отличие от простых преобразователей уровня, снабжены множественными механизмами защиты как самого драйвера, так и управляемых ключей, что позволяет выполнять формирование выходных управляющих сигналов согласно определенным алгоритмам, чтобы предотвратить выход системы из строя в аварийной ситуации.

Интегральные драйверы, производимые компанией International Rectifier, предоставляют широкий набор функций, необходимых для управления силовыми MOSFET- или IGBT-ключами.

Типы драйверов компании IR

В зависимости от функциональной насыщенности и выполняемых функций, изделия компании International Rectifier можно разделить на несколько типов:

- драйверы нижнего и драйверы верхнего ключа;
- драйверы, совмещающие управление верхним и нижним ключом;
- полумостовые драйверы;
- трехфазные драйверы.

Познакомимся подробнее с типами драйверов и особенностями их применения.

В зависимости от базового включения силового транзистора в систему, он является верхним или нижним ключом. На рисунке 1 представлена схема,

в которой силовой транзистор является верхним ключом. Если нагрузка включена между плюсом силовой шины и стоком силового транзистора, подключенного истоком к общей шине, то в такой схеме транзистор будет являться силовым нижним ключом.

Компания International Rectifier выпускает такие драйверы в одноканальном и двухканальном исполнении, с различными значениями выходных токов (до 4 А) и вариантами конфигураций инвертированных входов. Перечень доступных микросхем представлен в таблице 1. Следует отметить, что любой драйвер верхнего ключа может быть использован в качестве драйвера нижнего ключа, если применение доступных драйверов нижнего ключа не может обеспечить требуемых рабочих характеристик системы.

Драйверы полумостов

Большинство микросхем из номенклатуры драйверов компании International Rectifier содержат в одном корпусе два выходных канала для управления верхним и нижним ключом. Эти драйверы управляют входными каналами независимо, что может быть использовано для одновременного открытия обоих ключей, или зависимо — это подразумевает невозможность одновременного открытия ключей (даже на короткий период за счет встраиваемой паузы между переключением ключей — так называемый Dead-Time (DT)), что обеспечива-

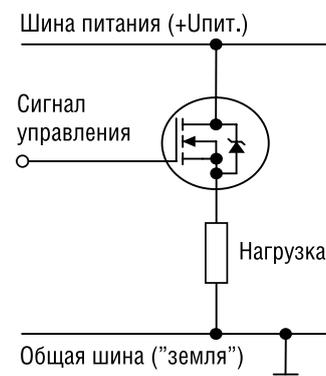


Рис. 1. Пример схемы включения силового транзистора в качестве верхнего ключа

Таблица 1. Микросхемы драйверов верхнего/нижнего ключей

Наименование	Количество каналов	Напряжение на шине, В	Io+, мА	Io-, мА	Топ ном., нс	Toff ном., нс	Инвертированные входы	Корпус
Драйверы нижнего ключа								
IR2121	1	5	1600	3200	150	200	—	8-Lead SOIC
IRS44273	1	25	1500	1500	50	50	—	5-Lead SOT23
IR25600	2	25	2300	3300	85	65	IN1 / IN2	8-Lead SOIC
IRS4426	2	25	2300	3300	50	50	IN1 / IN2	8-Lead SOIC
IRS4427	2	25	2300	3300	50	50	—	8-Lead SOIC
IRS44262	2	25	2300	3300	50	50	IN1 / IN2	8-Lead SOIC
IRS4428	2	25	2300	3300	50	50	IN1	8-Lead SOIC
Драйверы верхнего ключа								
IRS2609D	1	600	200	350	750	250	—	8-Lead SOIC
IRS2128	1	600	290	600	150	150	IN	8-Lead SOIC
IRS21281	1	600	290	600	150	150	IN	8-Lead SOIC
IR2125	1	500	1000	2000	170	200	—	8 or 16 Lead SOIC
IRS2127	1	600	290	600	150	150	—	8-Lead SOIC
IRS21271	1	600	290	600	150	150	—	8-Lead SOIC
IRS2118	1	600	290	600	125	105	IN	8-Lead SOIC
IRS2117	1	600	290	600	125	105	—	8-Lead SOIC
IRS21850	1	600	4000	4000	160	160	—	8-Lead SOIC
IRS21858	1	600	290	600	160	160	—	16 Lead SOIC
IRS21962	2	600	500	500	90	90	—	16 Lead SOIC
IRS21853	2	600	2000	2000	170	170	—	16 Lead SOIC

ет принципиальное отсутствие сквозного тока через ключи. Во втором случае драйверы носят название полумостового драйвера (*Half-Bridge driver*).

Механизм встроенного временного промежутка Dead-Time обеспечивает гарантированное закрытие одного силового ключа до момента начала открытия ключа в противоположном плече. Гарантией надежного закрытия противоположного транзистора является встроенная схема, контролирующая состояние ключей, и наличие схемы задержки, формирующей промежуток времени, в течение которого закрыты оба транзистора в плечах полумоста.

Большинство драйверов обоих типов имеет структуру, представленную на ри-

сунке 2 на примере структурной схемы драйвера **IRS2110**.

Как видно из рисунка 2, сигналы управления верхним и нижним ключами поступают через соответствующие входы *Hin* и *Lin* на триггеры Шмитта, затем через элемент «ЗИЛИ-НЕ» – на преобразователи уровня и формирователи ШИМ. Благодаря наличию элементов логического «ИЛИ» существует возможность заблокировать работу драйвера с помощью входного сигнала (*Shut-Down*), а имеющиеся на входе элементов RS-триггеры исключают неопределенное состояние входов после подачи напряжения питания на устройство.

Входные сигналы совместимы по уровням с сигналами микросхем, вы-

полненных по стандартам технологии ТТЛ/КМОП. Некоторые драйверы интерпретируют как логическую единицу входной сигнал, уровень которого составляет не менее 10% от напряжения питания драйвера (например, **IRS211x**). Другие драйверы (например, серий **IRS210x**, **IRS212x** и **IRS213x**) имеют фиксированный диапазон напряжений, соответствующий переходному состоянию между логическими уровнями. Для указанных типов драйверов он соответствует интервалу 1,5...2 В.

Микросхемы обеспечивают одинаковую временную задержку прохождения сигнала для обоих каналов и имеют дополнительный функционал – возможность перехода в неактивное состояние (при наличии входа *SD*), разделение силовой и сигнальной «земель», ограничение максимального рабочего тока транзисторов и т.п. Типовые схемы включения драйверов представлены на рисунке 3.

Номенклатура полумостовых драйверов в портфеле IR очень широка. В следующих сводных таблицах 2 и 3 приводится информация о микросхемах, представляющих наибольший интерес для пользователя.

Трехфазные драйверы

Для управления электродвигателями часто применяются трехфазные системы электропривода. Естественно, такую систему управления силовыми транзи-

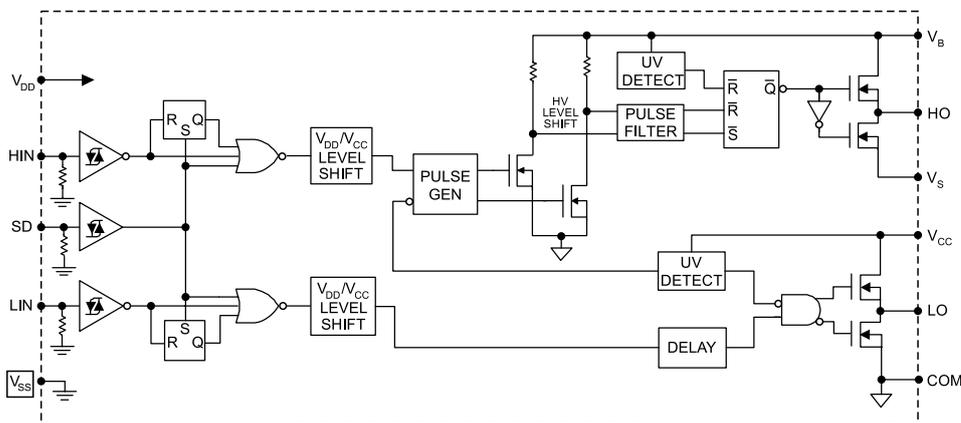


Рис. 2. Внутренняя структурная схема драйвера **IRS2110**

Таблица 2. Полумостовые драйверы без встроенной функции Dead-Time

Наименование	Напряжение на шине, В	Ток I _{o+} , мА	Ток I _{o-} , мА	Время включения T _{on} ном., нс	Время выключения T _{off} ном., нс	Инвертированные входы	Разделены сигнальная и силовая «земли»	Вход отключения (SD)	Корпус
IRS2001M	200	130	270	160	150	—			PQFN 4 x 4
IRS2001	200	290	600	160	150	—			8-Lead SOIC
IRS2011	200	1000	1000	60	60	—			8-Lead SOIC
IRS2110	500	2500	2500	130	120	—	Да	Да	16-Lead SOIC
IR25604	600	200	350	220	200	LIN / HIN			8-Lead SOIC
IRS2301	600	200	350	220	200	—			8-Lead SOIC
IRS2302	600	200	350	220	200	—			8-Lead SOIC
IRS26072D	600	200	350	200	200	—			8-Lead SOIC
IRS2607D	600	200	350	515	500	—			8-Lead SOIC
IRS2101	600	290	600	160	150	—			8-Lead SOIC
IRS2106	600	290	600	220	200	—			8-Lead SOIC
IRS21064	600	290	600	220	200	—			14-Lead SOIC
IRS2112	600	290	600	135	130	—	Да	Да	16-Lead SOIC
IRS21856	600	500	500	150	160	LIN/HIN			14-Lead SOIC
IRS2181	600	1900	2300	180	220	—			8-Lead SOIC
IRS21814	600	1900	2300	180	220	—	Да	Да	14-Lead SOIC
IRS21814M	600	1900	2300	180	220	—	Да	Да	PQFN 4 x 4
IR25607	600	2500	2500	120	94	LIN/HIN			16-Lead SOIC
IRS2113	600	2500	2500	130	120	—	Да	Да	16-Lead SOIC
IRS2113M	600	2500	2500	130	120	—	Да	Да	PQFN 4 x 4
IRS2186	600	4000	4000	170	170	—			8-Lead SOIC
IRS21864	600	4000	4000	170	170	—	Да	Да	14-Lead SOIC
IRS21867	600	4000	4000	170	170	—			8-Lead SOIC
IR2213	1200	2000	2500	280	225	—	Да	Да	16-Lead SOIC

сторонами можно реализовать с помощью трех полумостовых драйверов. Но, при всей своей очевидности, данное решение получается довольно габаритным, различие значений некоторых параметров драйверов разных фаз может приводить к «перекосам» системы, снижению эффективности управления и понижению общего КПД системы.

Поэтому компания IR предлагает готовые решения данной задачи, реализованные в виде трехфазных драйверов. Наиболее интересным примером такого драйвера является микросхема **IRS26302D**, представленная на рисунке 4. Драйвер имеет семь выходных каналов, управляемых независимыми входами. Шесть каналов используются для построения самого трехфазного моста, а седьмой канал может применяться для реализации корректора коэффициента мощности (ККМ) или системы защиты и рекуперации.

Если с функционалом ККМ вопросов у читателя, вероятно, не возникнет, то описание работы системы защиты может быть полезным. Итак, при управлении мощным мотором с высокой механической инерционностью, при снятии управляющих воздействий с драйвера (для остановки мотора) мотор может продолжить свое вращение по инерции, выполняя тем самым роль генера-

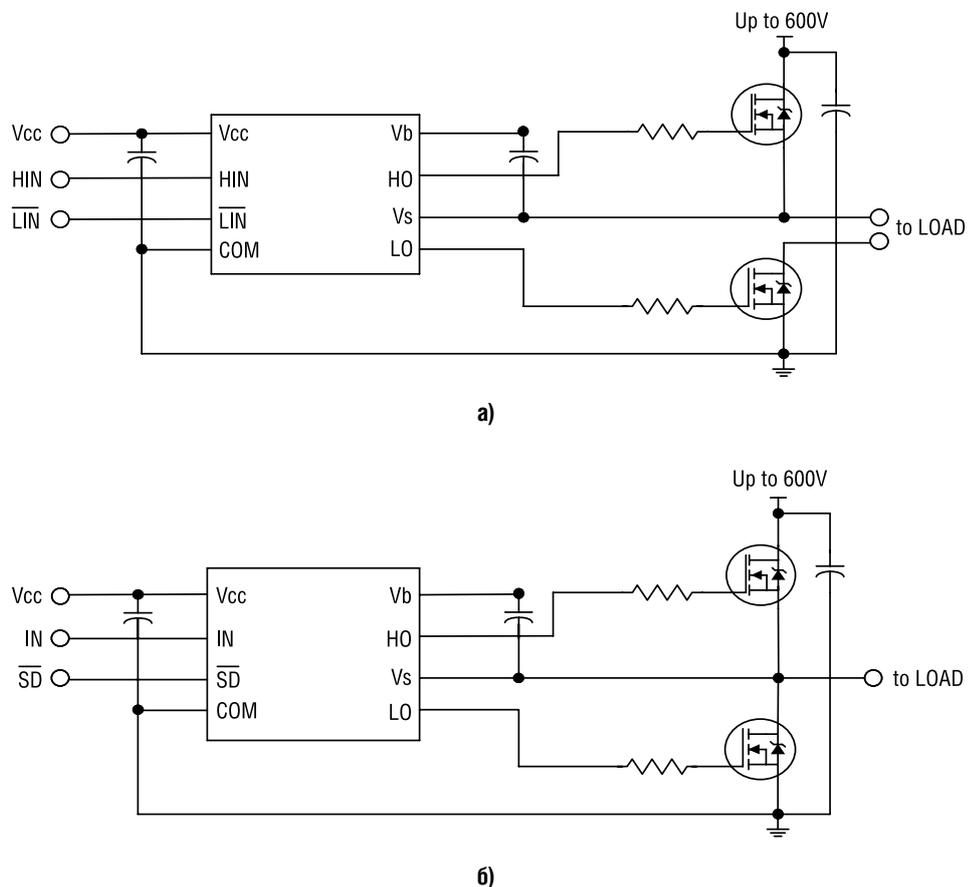


Рис. 3. Типовые схемы включения полумостовых драйверов: без Dead-Time (а) и с Dead-Time (б)

Таблица 3. Полноценные полумостовые драйверы (с Dead-Time)

Наименование	Напряжение на шине, В	Ток I _{о+} , мА	Ток I _{о-} , мА	Время задержки переключения плечей полумоста ном., нс	Время включения T _{он} ном., нс	Время выключения T _{оф} ном., нс	Инвертированные входы	Разделены сигнальная и силовая «земли»	Корпус
IRS2003	200	290	600	520	680	150	LIN		8-Lead SOIC
IRS2004	200	290	600	520	680	150	—		8-Lead SOIC
IR25601	600	120	260	100	220	220	LIN/HIN		8-Lead SOIC
IR25606	600	200	350	540	220	200	LIN/HIN		8-Lead SOIC
IRS2509S	600	200	350	530	750	250	IN		8-Lead SOIC
IRS2608D	600	200	350	530	250	250	LIN		8-Lead SOIC
IR25602	600	210	360	520	680	150	LIN		8-Lead SOIC
IRS2103	600	290	600	520	680	150	LIN		8-Lead SOIC
IRS2104	600	290	600	520	680	150	—		8-Lead SOIC
IRS2108	600	290	600	540	220	200	HIN		8-Lead SOIC
IRS21084	600	290	600	540...5000	220	200	HIN	Да	14-Lead SOIC
IRS2109	600	290	600	540	750	200	—		8-Lead SOIC
IRS21091	600	290	600	540...5000	750	200	—		8-Lead SOIC
IRS21094	600	290	600	540...5000	750	200	—	Да	14-Lead SOIC
IRS2111	600	290	600	650	750	150	—		8-Lead SOIC
IRS2304	600	290	600	100	150	150	—		8-Lead SOIC
IRS2308	600	290	600	540	220	200	—		8-Lead SOIC
IRS2183	600	1900	2300	400	180	220	LIN		8-Lead SOIC
IRS21834	600	1900	2300	400...5000	180	220	LIN	Да	14-Lead SOIC
IRS2184	600	1900	2300	400	680	270	—		8-Lead SOIC
IRS21844	600	1900	2300	400...5000	680	270	—	Да	14-Lead SOIC
IRS21844M	600	1900	2300	400...5000	680	270	—	Да	PQFN 4 x 4
IR2114	600	2000	3000	330	440	440	—	Да	24 Lead SSOP
IR21141	600	2000	3000	330	440	440	—	Да	24 Lead SSOP
IR2214	1200	2000	3000	330	440	440	—	Да	24 Lead SSOP
IR22141	1200	2000	3000	330	440	440	—	Да	24 Lead SSOP

тора электроэнергии — потенциал силовой шины системы начнет повышаться. Если мотор достаточно мощный, то напряжение может вырасти настолько, что превысит все допустимые уровни рабочих напряжений как драйвера, так и транзисторов моста, что приведет к их пробое и выходу из строя. Для предотвращения такой ситуации может ис-

пользоваться дополнительный седьмой канал драйвера. Микросхема постоянно отслеживает значение тока на силовой шине с помощью токоизмерительного резистора, и в момент, когда будет детектирован большой обратный ток в шине (ситуация генерации электроэнергии мотором), транзистор, управляемый седьмым каналом, откроется и нач-

нет «сливать» избыточную мощность на защитном диоде (или резисторной сборке). Если же вместо пассивного сжигания энергии в резисторном модуле в виде тепла использовать рекуператор, включенный в цепь вместо этих резисторов, то можно запастись избыточной энергией в аккумуляторных батареях для ее последующего использования (например, при работе двигателя на повышенной нагрузке).

Естественно, одной этой микросхемой семейство трехфазных драйверов, производимых компанией IR, не исчерпывается. Более полный перечень микросхем с указанием их ключевых параметров приводится в таблице 4.

Драйверы измерения тока

При использовании вышеуказанных интегральных драйверов остается открытым вопрос о контроле тока, потребляемого нагрузкой. Если интегральная микросхема драйвера имеет функцию контроля тока, то, как правило, она просто сообщает о возникновении неис-

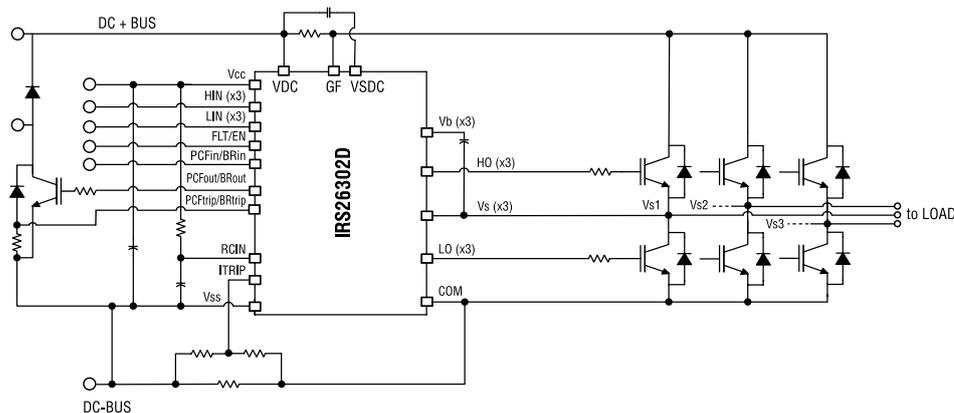


Рис. 4. Типовая схема включения семиканального трехфазного драйвера

Таблица 4. Трехфазные драйверы и их ключевые параметры

Наименование	Число каналов	Напряжение на шине, В	Ток I _{o+} , мА	Ток I _{o-} , мА	Время задержки переключения плечей полумоста ном., нс	Время включения Top ном., нс	Время выключения Toff ном., нс	Инвертированные входы	Корпус
IR3230S	6	65	350	350	—	250	250	LIN/HIN	28 Lead SOIC
IRS2334M	6	600	120	250	290	530	530	LIN/HIN	28-Lead MLPQ
IRS2334S	6	600	120	250	290	530	530	LIN/HIN	20-Lead SOIC
IRS23365D	6	600	180	380	275	530	530	LIN/HIN	48 Lead MLPQ
IR21363	6	600	200	350	290	425	400	LIN/HIN	28 or 44 Lead
IR21364	6	600	200	350	290	500	530	LIN/HIN	28 or 44 Lead
IR21365	6	600	200	350	290	425	400	LIN/HIN	28 or 44 Lead
IR21368	6	600	200	350	290	425	400	LIN/HIN	28 or 44 Lead
IRS2336	6	600	200	350	275	530	530	LIN/HIN	28 or 44 Lead
IRS23364D	6	600	200	350	270	530	530	—	28 or 44 Lead
IRS2336D	6	600	200	350	270	530	530	LIN/HIN	28 or 44 Lead
IRS26310DJ	6	600	200	350	290	530	530	—	44 Lead PLCC
IR2130	6	600	250	500	2500	675	425	LIN/HIN	28 or 44 Lead
IR2131	6	600	250	500	700	1300	600	—	28 or 44 Lead
IR2132	6	600	250	500	800	675	425	LIN/HIN	28 or 44 Lead
IR2133	6	600	250	500	250	750	700	LIN/HIN	28 or 44 Lead
IR2135	6	600	250	500	250	750	700	LIN/HIN	28 or 44 Lead
IR2136	6	600	250	500	290	425	400	LIN/HIN	28 or 44 Lead
IRS2330	6	600	250	500	2000	500	500	LIN/HIN	28 or 44 Lead
IRS2330D	6	600	250	500	2000	500	500	LIN/HIN	28 or 44 Lead
IRS2332	6	600	250	500	700	500	500	LIN/HIN	28 or 44 Lead
IRS2332D	6	600	250	500	700	500	500	LIN/HIN	28 or 44 Lead
IR2233	6	1200	250	500	250	750	700	LIN/HIN	28 or 44 Lead
IR2235	6	1200	250	500	250	750	700	LIN/HIN	28 or 44 Lead
IR2238Q	6	1200	350	540	1000	550	550	HIN	64 Lead MQFP
IRS26302DJ	7	600	200	350	290	530	530	LIN/HIN	44 Lead PLCC

правности, используя дополнительный выход сигнализации об ошибке, никак не расшифровывая причину ее возникновения. Одной из причин аварийной ситуации может быть перегрузка по току выходного каскада.

Для контроля тока, потребляемого нагрузкой, компания International Rectifier выпускает интегральные микросхемы, позволяющие реализовать данную функцию. На рисунке 5 приведены схемы контроля тока, потребляемого нагрузкой, на микросхеме, совмещенной с драйвером (а), и специализированной микросхеме измерения тока (б).

Микросхемы **IR22771** широко применяются при управлении двигателями и включаются индивидуально в каждую фазу. Микросхема не является драйвером в классическом смысле, т.к. не управляет выходными транзисторами, а только обеспечивает измерение тока и вырабатывает управляющие воздействия для центрального управляющего узла (чаще всего — DSP-контроллера).

Расчет параметров цепи вольтодобавки (bootstrap)

Для стабильной работы любой коммутационной схемы важен правильный выбор необходимых элементов обвязки.

Для драйверов верхнего плеча и любого типа драйверов полумостов одной из важнейших внешних цепей является цепь вольтодобавки, элементами которой являются диод и конденсатор. Эти два элемента обеспечивают разность напряжений «затвор-исток», необходимую для гарантированного открывания внешнего выходного транзистора. Расположенные локально развязывающие конденсаторы на силовых и слаботочных шинах питания позволяют в значительной степени уменьшить уровень излучаемых помех, компенсируя индуктивность проводников.

Выбор номинального рабочего напряжения конденсатора вольтодобавки C_{boot} должен основываться на максимальном значении напряжения питания микросхемы V_{cc} . Емкость конденсатора выбирается, исходя из следующих параметров:

- требуемое напряжение для управления транзистором;
- максимальный сквозной ток I_{QBS} для схем управления верхним ключом;
- токи цепей смещения в пределах драйвера;
- ток утечки «затвор-исток» I_{QBS} транзистора;
- ток утечки самого конденсатора вольтодобавки.

Последнее условие актуально только для электролитических конденсаторов. При использовании конденсаторов других типов им можно пренебречь. Поэтому неэлектролитические конденсаторы более предпочтительны для применения в цепи вольтодобавки.

Минимальная емкость компенсационного конденсатора может быть вычислена по следующей формуле:

$$C \geq \frac{2 \left[2Q_g + \frac{I_{qbsmax}}{f} + Q_{Is} + \frac{I_{Cbs}}{f} \right]}{V_{cc} - V_f - V_{Is} - V_{min}} \quad [1]$$

где:

Q_g — заряд затвора МДП-транзистора верхнего ключа,

f — частота переключения ключа,

I_{Cbs} — ток утечки компенсирующего конденсатора,

$I_{qbs max}$ — максимальный сквозной ток затвор-исток МДП-транзистора верхнего ключа,

V_{cc} — напряжение слаботочной, «цифровой» части схемы,

V_f — прямое падение напряжения на компенсационном диоде,

V_{Is} — падение напряжения на нижнем ключе или на нагрузке,

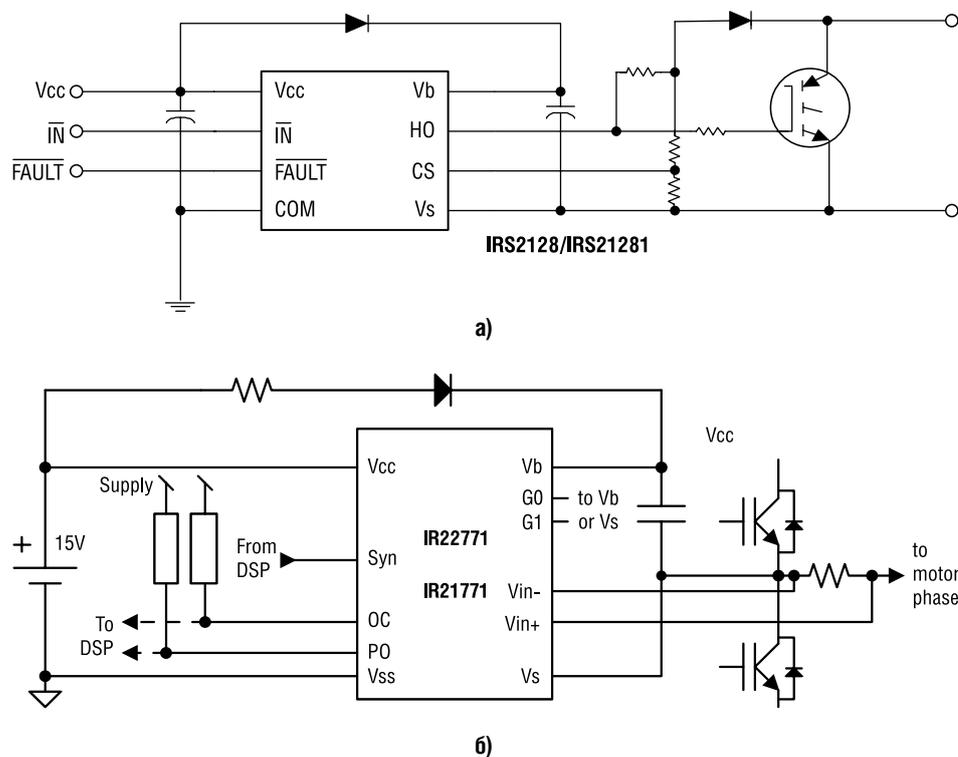


Рис. 5. Примеры включения драйверов, контролирующих ток в нагрузке

V_{min} – минимальное напряжение между шинами VB и VS (рисунок 2),

Q_{ls} – заряд, необходимый для создания смещения в каждом цикле переключения (обычно 5 нКл для драйверов, предназначенных для управления MOSFET с максимальным рабочим напряжением 500 В/600 В, и 20 нКл для драйверов, предназначенных для управления MOSFET на напряжение 1200 В).

Диод вольтодобавки должен выдерживать максимальное напряжение, существующее на силовой шине. Например, такая ситуация возникает, когда верхний ключ открыт, и к диоду ока-

зывается приложено все напряжение шины. Значение прямого тока через диод зависит от частоты переключения силового ключа, то есть, от частоты заряда затворной емкости. Например, для транзистора **IRF450**, работающего на частоте 100 кГц, ток через диод составит примерно 12 мА.

Ток утечки при повышенной температуре для этого диода является важным критерием в приложениях, где конденсатор должен поддерживать заряд в течение длительного времени. Поэтому необходимо, чтобы этот диод быстро восстанавливался с целью уменьшения

заряда, попадающего обратно в цепь питания с конденсатора вольтодобавки.

Борьба с отрицательными выбросами в цепи Vs

При работе с мощной индуктивной нагрузкой (мощные электродвигатели), а также при недостаточно грамотной трассировке выходного каскада мощных систем, на выходе системы можно столкнуться с высокоамплитудными выбросами обратной полярности. Описанная ситуация продемонстрирована на рисунке 6.

Почему возникает такая ситуация и чем она может быть опасна? Рассмотрим случай работы системы на индуктивную нагрузку: когда открыт верхний ключ, через нагрузку протекает некоторый ток. При закрытии верхнего ключа вплоть до момента открытия нижнего (Dead-Time) ток в индуктивную нагрузку продолжает течь через диод нижнего транзистора, т.к. ток через индуктивность не может скачком упасть до нуля. Исток нижнего транзистора подключен к общей шине «земля», а поскольку ток течет от точки с большим потенциалом к точке с меньшим, то получается, что выброс напряжения на линии Vs имеет обратную полярность (Эпюра напряжения на линии Vs приведена на рисунке 6). Этот обратный выброс через внутреннюю структуру драйвера начинает перезаряжать емкости микросхемы, что может привести к ложному отпирианию верхнего ключа. А исходя из алгоритма управления, по прошествии интервала времени Dead-Time будет открыт нижний транзистор. В этом случае возникнет сквозной ток через оба плеча системы, что наверняка приведет к выходу системы из строя, а возможно, и к возгоранию элементов устройства. Опасность выбросов отрицательного напряжения значительно воз-

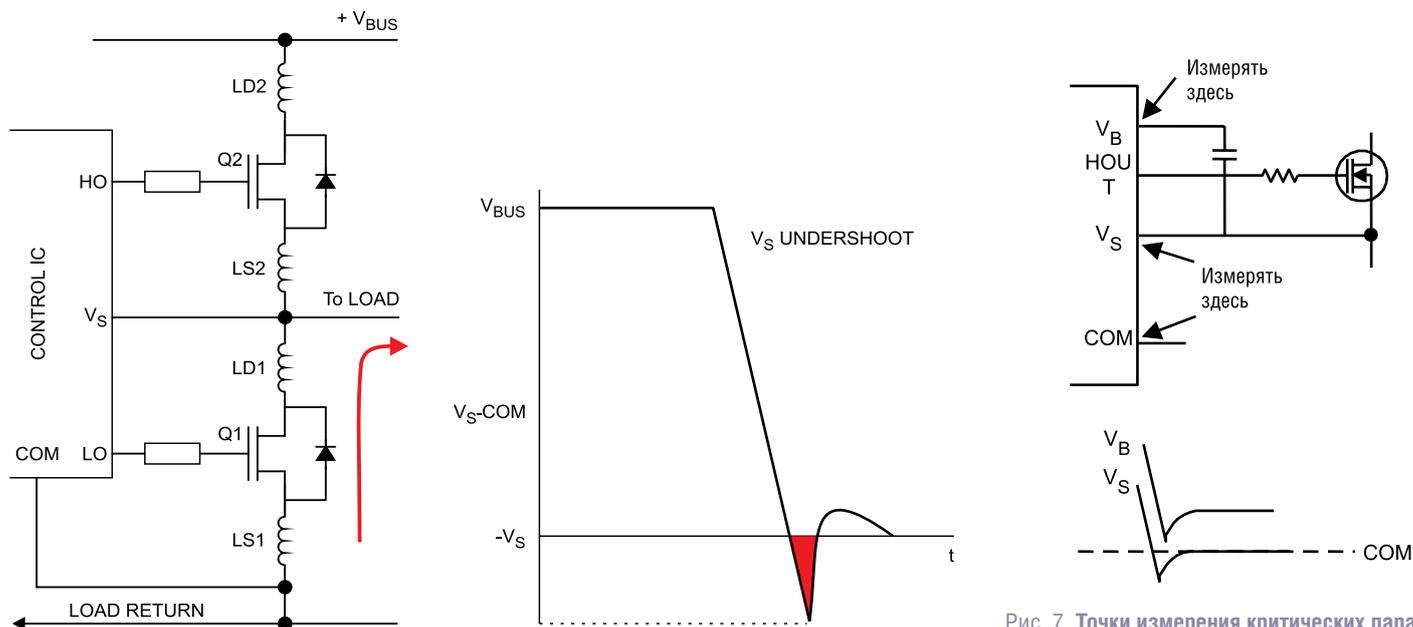


Рис. 6. Появление на выходе выброса обратной полярности

Рис. 7. Точки измерения критических параметров сигнала при возникновении отрицательных выбросов на шине Vs

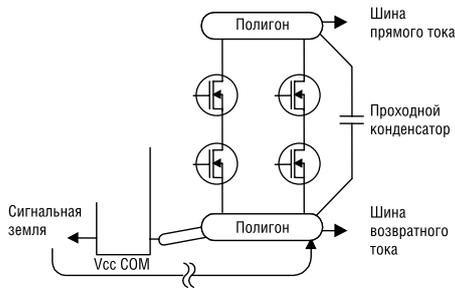


Рис. 8. Рекомендуемая топология соединений драйвера и силовых ключей

растает с увеличением площади кристалла силового транзистора и повышением плотности тока, коммутируемого транзистором в течение короткого времени.

Интегральные микросхемы-драйверы компании International Rectifier гарантированно выдерживают отрицательные выбросы на шине V_s как минимум, до -5 В относительно общего провода. В случае, если выброс превышает указанное значение, выход управления верхнего ключа временно блокируется в текущем состоянии. Оставаясь в пределах максимально допустимых значений для V_s , эта ситуация не вызывает повреждений интегральной микросхемы, тем не менее, выходной буферный каскад не будет реагировать на изменения входного сигнала до тех пор, пока отрицательный выброс не завершится.

Для оценки устойчивости схемотехнического решения к таким экстремальным ситуациям, как короткое замыкание нагрузки или перегрузка по току (в обоих случаях отношение $di/dt \rightarrow \max$), необходимо отслеживать поведение сигналов в двух точках:

- 1) смещение верхнего ключа относительно общего провода $V_s - COM$;
- 2) величину напряжения «плавающего» источника питания $V_b - V_s$.

Измерения следует проводить непосредственно на выводах микросхемы драйвера для того, чтобы были отражены все параметры соединений, включая паразитные воздействия линий связи и взаимного размещения, как указано на рисунке 7.

Следующие мероприятия позволяют гарантировать стабильную работу системы, несмотря на воздействия импульсных помех.

1. Минимизация паразитных влияний:

- а) использование коротких проводников максимально возможной толщины между ключами и драйвером, без петель и отклонений;
- б) избегание пересечений трасс и межслойных переходов — они вносят дополнительно существенную паразитную индуктивность в цепь;
- в) снижение индуктивности выводов электрорадиоэлементов за счет снижения высоты расположения их корпусов над поверхностью печатной платы;

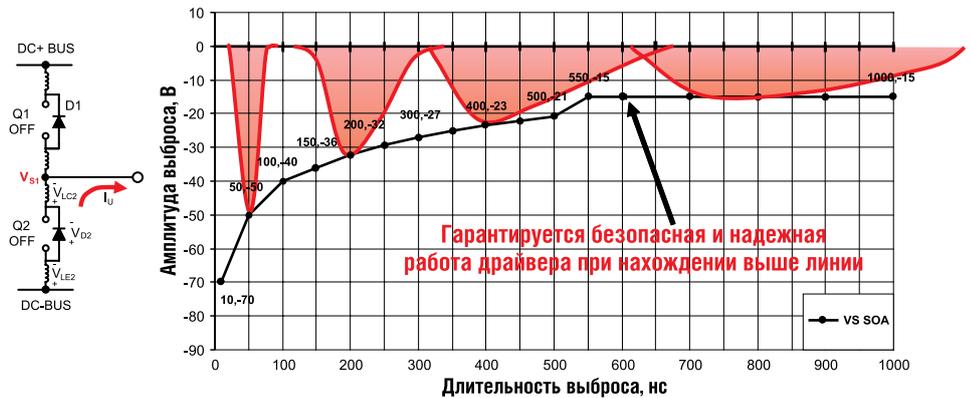


Рис. 9. Область безопасной работы драйверов IR при появлении выбросов обратной полярности

г) размещение обоих ключей локализовано в «силовой» части в непосредственной близости от драйвера для максимального сокращения длины трасс.

2. Снижение воздействий на управляющую микросхему драйвера:

- а) соединения цепей V_s и COM рекомендуется выполнять так, как изображено на рисунке 8;
- б) минимизация паразитных параметров цепей управления затворами транзисторов путем использования коротких трасс типа «точка-точка»;
- в) следует размещать управляющую микросхему драйвера как можно ближе к силовым ключам с целью минимизации длины трасс.

3. Улучшение развязки:

- а) увеличение емкости конденсатора вольтодобавки до величины более $0,47$ мкФ наряду с использованием как минимум одного конденсатора с низким эквивалентным последовательным сопротивлением (ЭПС). Это уменьшит степень перезарядки конденсатора в результате значительного повышения V_s при выбросе напряжения;
- б) использование второго конденсатора с низким ЭПС в качестве фильтрующего в цепях V_s и COM . Так как этот конденсатор будет обеспечивать поддержку обоих выходных буферов и перезарядку конденсатора C_{boot} , то его емкость должна быть как минимум в 10 раз больше емкости конденсатора вольтодобавки;
- в) если требуется включение резистора последовательно с диодом вольтодобавки, то необходимо убедиться, что напряжение шины V_b не будет опускаться ниже значения общего провода COM , особенно в момент включения и максимальных значений частоты и скважности.

Следование приведенным рекомендациям позволяет значительно сократить уровень помех, возникающих в результате отрицательных выбросов напряжения. Однако, если уровень выбросов остается достаточно велик, то может оказаться необходимым снижение скорости нарастания выходного напряжения dV/dt .

В дополнение к приведенным выше рекомендациям, в целях повышения устойчивости микросхем драйверов компанией International Rectifier разработана технология повышения стойкости драйверов к отрицательным выбросам напряжения (*NTSOA — Negative Transient Safe Operation Area*). На рисунке 9 приведена диаграмма допустимых мощностей импульсов выбросов отрицательного напряжения, для которых компания IR гарантирует сохранение работоспособности микросхемы драйвера.

Устойчивость к выбросам отрицательного напряжения является определяющим фактором при выборе управляющей микросхемы драйвера.

Заключение

Как следует из статьи, выбор драйвера для коммутации силовых MOSFET или IGBT не является трудной задачей. Достаточно определить требуемые энергетические показатели разрабатываемой системы и выбрать ее топологию. Следование указаниям по схемотехнике и топологии, приводимым в документации на микросхему и рекомендациях по применению, избавит от проблем, возникающих при работе системы. Современные интегральные драйверы компании International Rectifier 5-го поколения имеют защитные цепи и не подвержены выходу из строя при возникновении кратковременных выбросов отрицательного напряжения.

Широкая номенклатура изделий International Rectifier и их высокое качество позволяют построить надежную силовую систему любого уровня сложности с минимальными затратами как на этапе проектирования схемотехники, так и на этапе изготовления конечного устройства.

Литература

1. Материалы семинаров International Rectifier, Session 3: HVIC, 2013.
2. AN-978 Rev. D, International Rectifier, 2007.

Получение технической информации,
заказ образцов, поставка —
e-mail: power.vesti@compel.ru