

Высоковольтные ИС для промышленного привода

Михаил Румянцев

Компания **International Rectifier**, в рамках разработанной технологии **HVIC** для построения высоковольтных управляющих микросхем, выпускает ряд **схем управления транзисторными ключами (СУТК) и схем для измерения тока**. Эти **схемы** входят в структуру силовой части большинства современных электронных преобразователей. Статья предлагается вниманию всех разработчиков промышленного электропривода.



ВВЕДЕНИЕ

По различным оценкам, более половины всей вырабатываемой в мире электроэнергии потребляется системами электропривода. При этом наиболее массовым является привод малой (до 5 кВт) и средней (до 50 кВт) мощности, причем на долю первого приходится до 75% рынка электроприводов. Этот класс приводов является основным для станочных приводов подачи, для приводов промышленных роботов, других агрегатов и систем автоматизации технологических процессов, для промышленных вентиляторов, насосов и т.д., а также для бытовой техники. Темпы роста рынка приводов малой и средней мощности составляют примерно 25% в год и имеют устойчивую тенденцию дальнейшего роста. По прогнозам, объем рынка этих приводов к 2010 г. должен достичь рубежа 3 млрд. долларов.

Постоянно возрастающие требования по регулированию параметров движения, по точностным характеристикам и быстродействию для промышленных приводов, с одной стороны, и по потребительским свойствам бытовой техники, с другой стороны, обуславливают ускоренное развитие регулируемых приводов. Расчеты показывают, что простая замена нерегулируемого привода на регулируемый, позволяет экономить до 60% электроэнергии, потребляемой бытовыми холодильниками и кондиционерами и до 64% - стиральными машинами.

Массовый характер распространения регулируемых приводов малой мощности, устойчивые темпы роста их производства и возрастающие требования по повышению их энергетической эффективности, вызывают необходимость совершенствования старых и разработки новых алгоритмов управления приводом, применения наиболее эффективных электродвигателей и схем управления ими. Реализация указанных тенденций привела к тому, что классический, наиболее распространенный ранее нерегулируемый асинхронный электропривод с питанием от общепромышленной сети 220/380 В, 50 Гц, постепенно вытесняется другими устройствами. Это асинхронный привод с частотным и векторным управлением, вентильный привод на основе индукторных двигателей и вентильный привод на основе бесконтактных двигателей с возбуждением от постоянных магнитов.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Как правило, при мощности более 100 Вт двигатели для всех типов перспективных приводов выполняются трехфазными.

Другой общей чертой этих современных приводов является то, что переменное трехфазное напряжение для электропитания обмоток электрических машин (ЭМ) вырабатывается специальным электронным преобразователем - инвертором (И), выполненным по мостовой **схеме**. Таким образом, вся система электропривода строится по так называемой схеме со звеном постоянного тока, при которой на вход инвертора подается постоянное напряжение U_d .

На рис. 1 представлена типовая функциональная схема электроприводов малой и средней мощности. Напряжение U_d вырабатывается блоком выпрямления В (мостовым выпрямителем или корректором коэффициента мощности). Обязательным элементом инвертора является входной фильтр Ф (в простейшем случае емкостной). Силовая часть (СЧ) инверторов выполняется в большинстве случаев на полевых транзисторах (MOSFET) или на биполярных транзисторах с изолированным затвором (IGBT). Для электроприводов с напряжением U_d в шине постоянного тока свыше 300 В, на сегодняшний день наибольшее распространение получили системы, выполненные на IGBT-транзисторах. Для электроприводов с напряжением по цепи постоянного тока до 200 В предпочтительней использование полевых транзисторов.

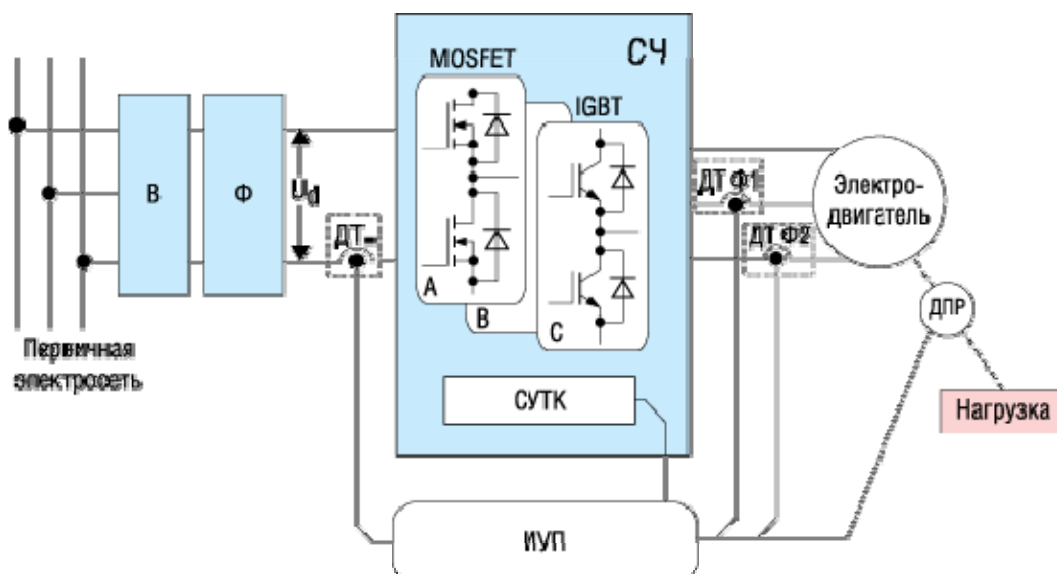


Рис. 1. Типовая функциональная схема электроприводов малой и средней мощности

Обязательной функцией для всех современных электроприводов является регулирование (в простейшем случае - ограничение) тока, протекающего через силовые транзисторы и фазы ЭМ. Наиболее часто это регулирование осуществляется методом широтно-импульсной модуляции (ШИМ) времени открытого состояния силовых транзисторов И. Для получения информации о величине тока служат датчики тока (ДТ), устанавливаемые либо непосредственно в фазы ЭМ ($ДТ_{\phi 1}$ и $ДТ_{\phi 2}$) или в шину постоянного тока ($ДТ_{-}$).

В вентильных электроприводах часто необходимым функциональным элементом является датчик положения ротора (ДПР) или энкодер, устанавливаемый на валу ЭМ.

Информационно-управляющая подсистема (ИУП) предназначена для:

1. выработки сигналов управления транзисторами СЧ с целью формирования требуемых законов движения электропривода;
2. обеспечения необходимых защит, обратных связей;
3. индикации режимов и параметров работы привода;
4. сопряжения с внешними управляющими устройствами и датчиками.

Для построения ИУП могут использоваться как устройства жесткой логики и специализированные [микросхемы](#) управления приводами, так и программируемые микропроцессоры и цифровые сигнальные процессоры.

Для преобразования слаботочных сигналов, вырабатываемых ИУП, в сигналы управления затворами силовых транзисторов служат специальные схемы управления транзисторными ключами (СУТК), называемые в иностранной литературе драйверами.

Массовый характер производства электроприводов малой и средней мощности привел к изменению принципов проектирования электронных преобразователей. Раньше разработчики обеспечивали высокие технические характеристики устройств за счет специальных схемотехнических решений и использования дополнительных цепей и узлов, таких, например, как формирователи траектории переключения (снабберы). Теперь многочисленные функции защит, управления переключением силовых транзисторов, контроля параметров все в большей степени возлагаются на схемы драйверов. При этом упрощаются схемные решения, сокращается число элементов вспомогательных цепей. Элементы устройства становятся более компактными и, соответственно, снижается себестоимость производства изделий. Однако для реализации указанного подхода в современных микросхемах СУТК должен обеспечиваться определенный баланс между их стоимостью с одной стороны и функциональной полнотой и надежностью - с другой.

СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНЗИСТОРНЫМИ КЛЮЧАМИ

СУТК являются необходимым функциональным элементом электронного преобразователя для привода (рис. 1), поэтому ее выбор является важным этапом разработки.

Потенциал затвора силовых транзисторных ключей «верхней группы» в промышленном и бытовом приводе определяется величиной U_d и намного превышает потенциалы сигналов управления, вырабатываемых ИУП, поэтому в СУТК должна осуществляться либо гальваническая развязка входных и выходных цепей, либо должен обеспечиваться плавающий выходной потенциал (высоковольтный сдвиг уровня) выходного сигнала.

Компания International Rectifier является одной из немногих, успешно реализующей разработку СУТК с плавающим потенциалом. Образно говоря, подобные решения являются фирменным знаком компании.

В последние годы инженеры компании разработали новую технологию построения высоковольтных микросхем (HVIC), в рамках которой удалось создать СУТК высокой степени интеграции для бытовых и промышленных приводов малой и средней мощности, работающих от общепромышленных однофазной 220 В, 50 Гц и трехфазной 220/380 В, 50 Гц сетей. Типичным представителем этого семейства являются приборы IR2114 (класс 600 В) и IR2214 (1200 В). Микросхемы предназначены для управления «верхним» и «нижним» силовыми транзисторами полумостовой схемы, на рис. 2 показана типовая схема включения СУТК и отмечены ее характерные особенности.

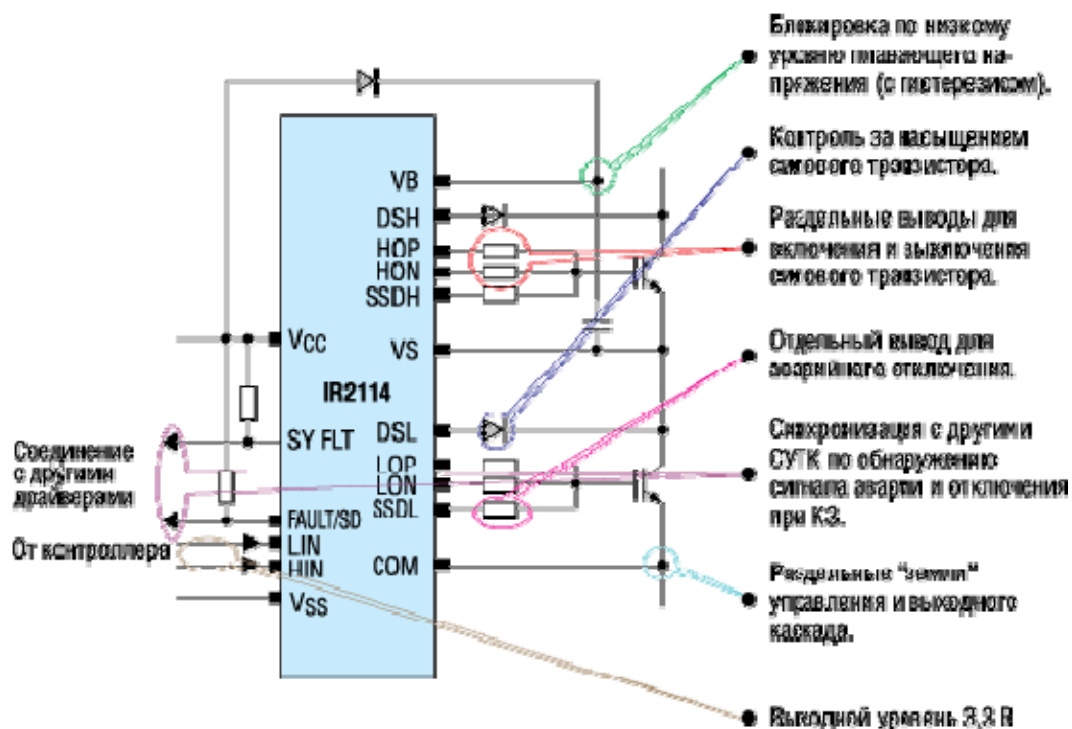


Рис. 2. Схема подключения IR2114

Основные характеристики микросхемы IR2114:

- Гарантированная пауза между переключениями верхнего и нижнего транзисторов <math>< 500\text{ нс}</math>, что позволяет работать на частотах до 100 кГц.
- Управление от логических сигналов любого уровня.
- Выходной вытекающий ток до 2 А.
- Выходной втекающий ток до 3 А, что дает возможность управлять транзисторами и высоковольтными модулями с током до 50 А без применения дополнительных буферов.
- Полная унификация 600 В и 1200 В приборов по назначению и расположению выводов.
- Компактность.
- Один [источник питания](#) для создания плавающего выходного напряжения.
- Высокая устойчивость к защелкиванию (50 В/нс).
- Время срабатывания защиты по току 1,5 мкс.

Характерными особенностями драйверов являются: Независимое формирование процессов включения и выключения силовых транзисторов. В микросхемах IR2114/2214 предусмотрены три цепи для управления процессом включения/выключения силовых транзисторов. Включение силового [транзистора](#) осуществляется по выходам xOP (см. рис. 3) в два этапа. На первом этапе, длительностью 200 нс, перезаряд входной емкости затвора силового транзистора осуществляется через два внутренних параллельно включенных резистора сопротивлением 15 Ом и внешний резистор R. На втором этапе отключается один из параллельно включенных внутренних резисторов и выходной ток уменьшается. Таким образом осуществляется форсирование процесса включения силового транзистора.

Выключение силового транзистора при отсутствии перегрузки осуществляется посредством дополнительных выходов SSDx (рис. 2). При обнаружении перегрузки по току (см. ниже) форсированное выключение силового транзистора по цепи xON может привести к выходу траектории переключения за пределы области безопасной работы рабочей точки. Для исключения этого в IR2114/2214 осуществляется

«мягкое» выключение силового транзистора путем замыкания цепи «затвор-исток» через внутренний резистор 100 Ом и внешний резистор R (см. рис. 3).

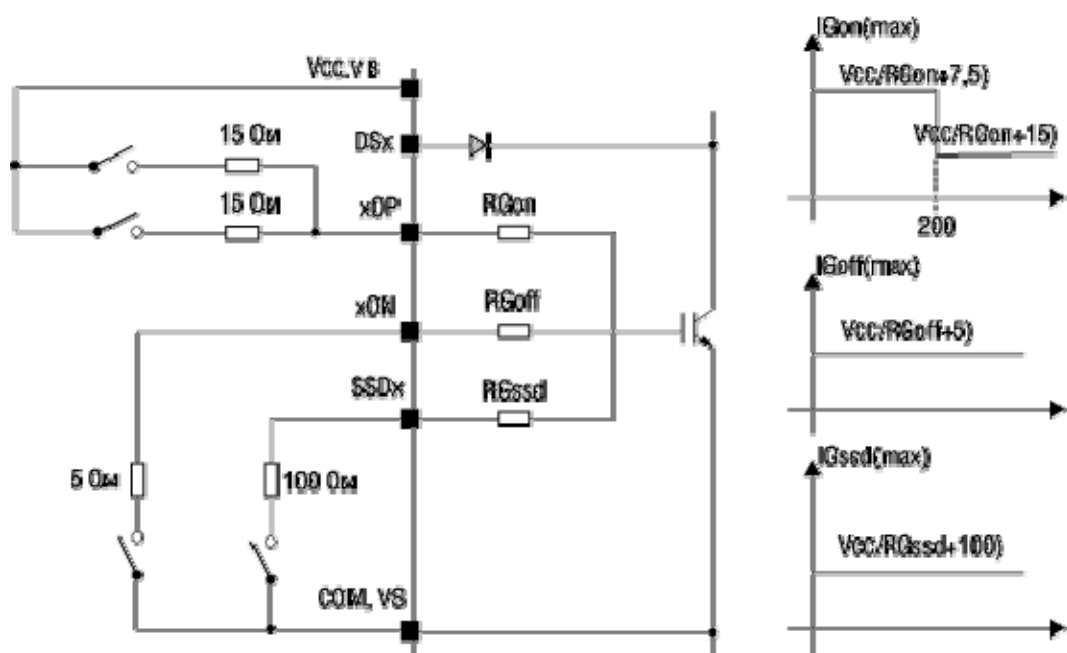


Рис. 3. Формирование процессов переключения силовых ключей

Защита от перегрузки по току осуществляется путем слежения за напряжением на открытом транзисторе V по выходам DCx через разделительный диод (рис. 2). Указанный способ защиты хорошо известен еще со схем управления биполярными транзисторами и заключается в формировании запирающего сигнала при выходе транзистора из насыщения (desaturation). В IR2114/2214 срабатывание защиты происходит при напряжении $V = 8 \text{ В}$, что позволяет с достаточной степенью надежности для высоковольтных IGBT выявлять перегрузку по току, вызванную коротким замыканием нагрузки, межфазным замыканием в двигателе, замыканием фазы на землю и т.д. Для предотвращения ложных срабатываний защиты при включении транзистора предусмотрена ее блокировка на время 3 мкс, достаточное для большинства современных IGBT для достижения насыщения после включения.

Согласование работы нескольких микросхем. Для повышения надежности электронных преобразователей для электропривода СУТК формируют сигналы «ошибка», которые могут не только передаваться в информационно-управляющую подсистему, но и управлять работой «соседних» СУТК. Например, если одним из драйверов обнаружена токовая перегрузка в одном из силовых транзисторов, этот драйвер выключит перегруженный ключ в режиме «мягкого» выключения, по сигналу выхода «SY FLT» будет сформирован запрет на включение всех ранее закрытых транзисторов, а по сигналу выхода «Fault» будут выключены в обычном режиме все ранее включенные транзисторы.

Использование СУТК с плавающим потенциалом не предполагает использования отрицательного напряжения смещения на затворе для запирающего силового транзистора. Многие же производители MOSFET и IGBT гарантируют надежную работу своих приборов только при наличии такого смещения, особенно в случае высокочастотных (свыше 10 кГц) и мощных (коммутируемый ток свыше 20 А) транзисторов. Поэтому в рекомендациях по применению мощных высокочастотных транзисторов большинство производителей выставляет наличие отрицательного напряжения на затворе в качестве обязательного требования. Компания International Rectifier, развивая идеологию высоковольтных схем с плавающим потенциалом, выпускает силовые транзисторы MOSFET и IGBT, пригодные для работы с подобными СУТК, для надежной работы в электронных преобразователях. Для управления же дискретными приборами и модулями других производителей, требующих отрицательного смещения на затворе, может быть рекомендована схема, изображенная на рис. 4. В этой схеме между выходами СУТК xOP, xON и SDDx и резисторами R_{Gon} , R_{Goff} , R_{Gssd} установлены буферные схемы, подключаемые к источнику с отрицательным напряжением, например -5 В. На рис. 5 представлена принципиальная схема буферного каскада, рекомендуемая компанией IR.

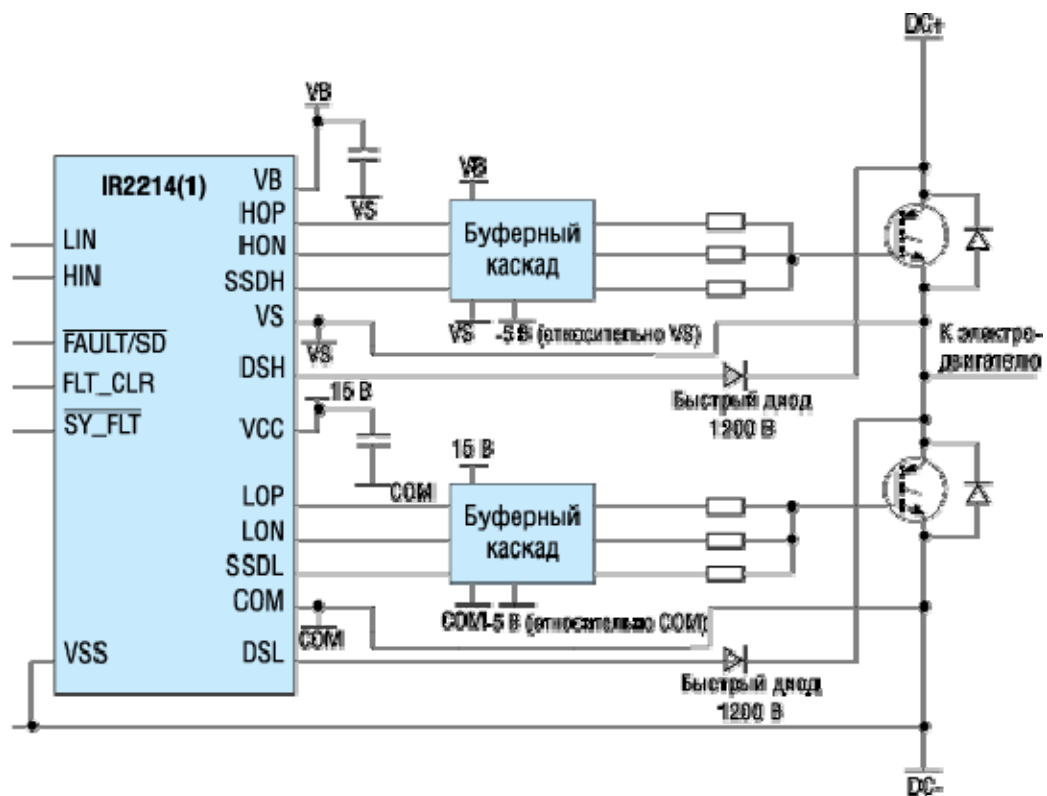


Рис. 4. Реализация отрицательного смещения в СУТК с плавающим потенциалом

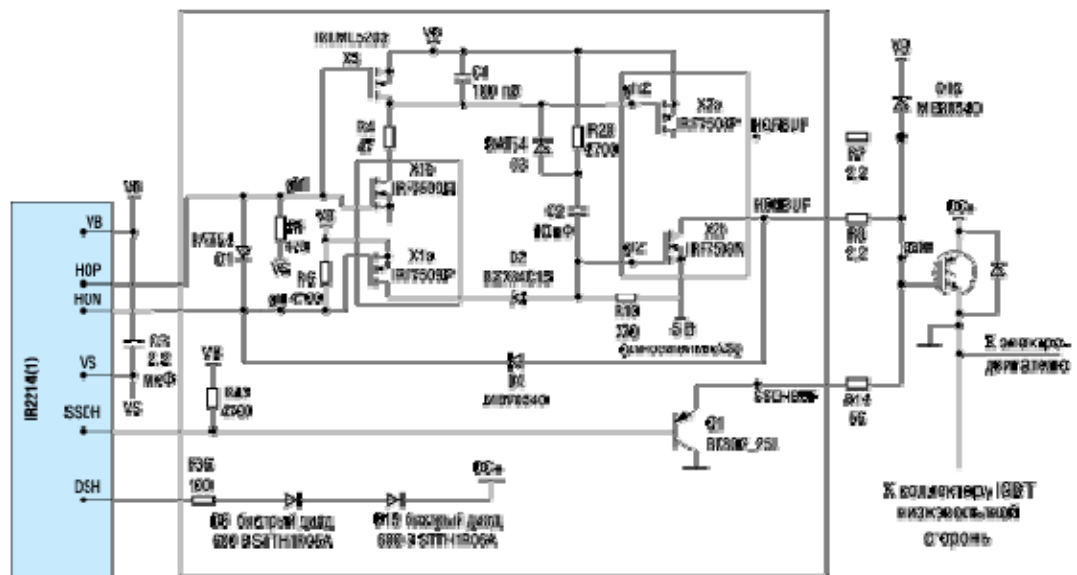


Рис. 5. Принципиальная схема буферного каскада

МОСТОВЫЕ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КЛЮЧАМИ

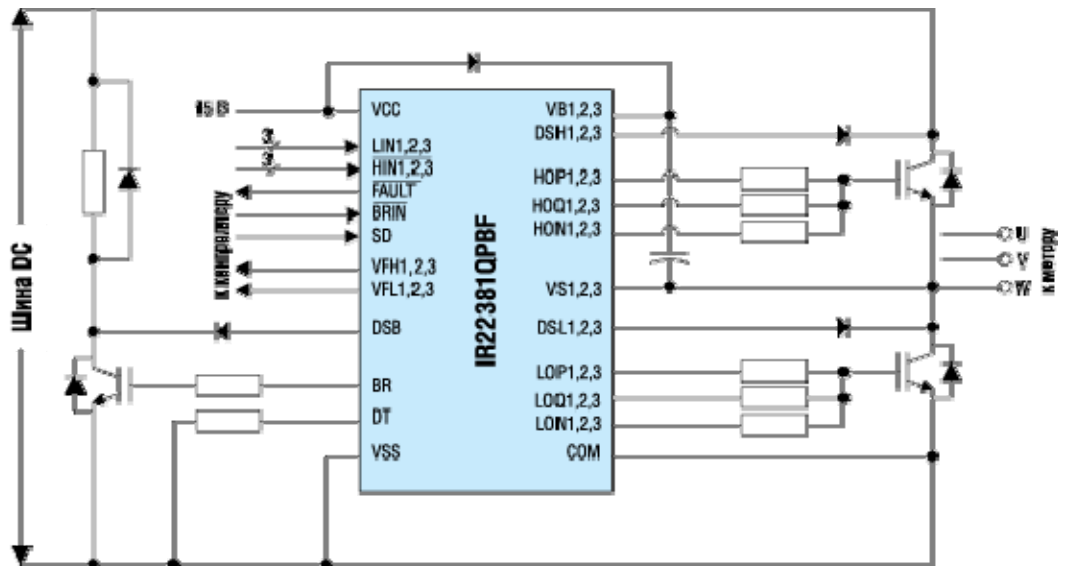


Рис. 6. СУТК трехфазного инвертора и тормозного транзистора

Компания International Rectifier по технологии HVIC выпускает микросхемы IR21381Q (600 В) и IR22381Q (1200 В) высокой степени интеграции для схем управления трехфазным мостовым инвертором. Обе схемы содержат по три каскада управления транзисторами «верхнего» уровня и по три каскада управления транзисторами «нижнего» уровня. Схемотехника и функциональные возможности этих каскадов аналогичны схемотехнике и функциональным возможностям микросхем IR2114/2214. Отличительной особенностью микросхем IR21381Q/IR22381Q является наличие дополнительного канала управления [транзистором](#) для подключения тормозного резистора. Таким образом, IR21381Q/IR22381 содержат 7 каналов управления с функциями защиты по току путем слежения за падением напряжения на силовых транзисторах. На рис. 6 приведена функциональная схема этих микросхем.