

SEMiX + SKYPER =

адаптивный интеллектуальный силовой модуль IGBT нового поколения

Жесткая конкуренция, существующая в сфере производства компонентов силовой электроники, требует от фирм-производителей постоянного улучшения параметров компонентов, совершенствования технологий, разработки новых поколений элементов с уникальными характеристиками. Этого же требуют и растущие мировые требования по энергосбережению, эффективности и миниатюризации силовых преобразовательных устройств.

Производители постоянно борются за снижение габаритов силовых модулей, повышение уровня их «интеллекта», снижение стоимости. У современного разработчика нет времени на схемотехнику, он хочет иметь максимально законченный силовой блок и заниматься только отработкой алгоритмов управления. Благодаря усилиям инженеров и конструкторов SEMIKRON эта фирма является бесспорным лидером в области компонентов для мощных применений. На выставке PCIM-2004, прошедшей в Нюрнберге в мае 2004 года, было представлено новое поколение интеллектуальных силовых модулей IGBT, построенных на основе модулей последнего поколения SEMiX и драйвера SKYPER.

Андрей Колпаков

Andrey.Kolpakov@semikron.com

Эксплуатационные характеристики силового модуля во многом зависят от распределенных параметров конструкции, прежде всего от паразитной индуктивности подводящих силовых шин и внутренних шин модуля. Большое влияние на динамические характеристики оказывает также распределенная индуктивность цепи управления затвором.

Высокая скорость коммутации токов di/dt в современных силовых преобразователях приводит к возникновению перенапряжений на распределенных индуктивностях силовых цепей $\Delta U = L_S \times di/dt$, где L_S — индуктивность DC шины питания. Соответственно, для обеспечения надежной работы изделия, особенно в условиях токовых перегрузок, индуктивность шин питания и силовых терминалов модуля должна быть сведена к минимуму. При этом желательно, чтобы конструкция силовых шин была удобна для подключения сигнальных цепей и не приводила к возникновению перекрестных помех.

Подобный «дружественный» интерфейс реализован в наиболее известных модулях SEMIKRON SKiIP — интеллектуальных силовых модулях IGBT, первые версии которых были выпущены на рынок в 90-х годах. В модулях SKiIP выводы для подключения DC шин питания и AC выходы расположены в одной плоскости по разные стороны модуля, а сигнальный разъем находится на крышке, как показано на рис. 1. Такая конструкция позволила свести «внутреннюю» распределенную индуктивность модуля к физически достижимому минимуму, и для безопасной эксплуатации модулей SKiIP достаточно одного снабберного конденсатора, подключенного к выводам питания модуля.

Модули SKiIP были разработаны для диапазона высоких мощностей (до единиц МВт). В области же средних мощностей (30–150 кВт) на рынке долгое время доминировали стандартные модули IGBT (к ним относятся и модули SEMIKRON SEMITRANS), конструкция которых не позволяла разработать топологию шин с достаточно низкой распределенной индуктивностью и обеспечить при этом удобное соединение сигнальных выводов модуля с драйвером. В результате для снижения переходных перенапряжений приходилось использовать сложные снабберные цепи, что приводило к снижению эффективности преобразователей. Требования рынка по разработке недорогих малогабаритных модулей средней мощности, имеющих «дружественный интерфейс», были удовлетворены с появлением серий ECONO+ фирмы EUPEC, а также SEMiX, о которых и пойдет речь.

В SEMiX реализованы все конструктивные преимущества SKiIP, он рассчитан на работу в диапазоне токов 200–900 А, имеет несколько вариантов сигнального интерфейса. Уникальная конструкция SEMiX,



Рис. 1. Внешний вид модулей SKiIP и SEMITRANS

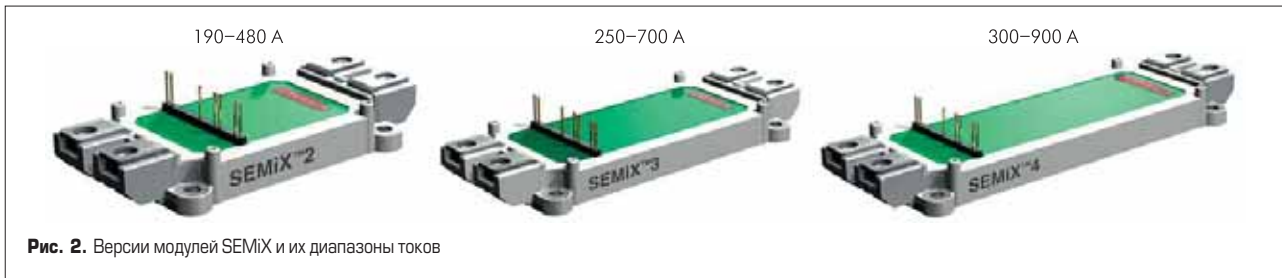


Рис. 2. Версии модулей SEMiX и их диапазоны токов

использование в нем кристаллов Trench и SPT IGBT последних поколений позволяет без проблем устанавливать эти модули в параллель. Кроме того, специально для совместной работы с различными версиями SEMiX был разработан новый драйвер SKYPER, полностью согласованный с ними по конструкции и электрическим характеристикам, что привело к появлению принципиально нового, «адаптивного» интеллектуального модуля, который мы условно назовем SEMiX + SKYPER.

Конструкция и особенности модулей SEMiX

На рис. 2 показан внешний вид трех типовых модулей SEMiX с соответствующими диапазонами рабочих токов.

Модули SEMiX являются самыми малогабаритными для своего диапазона мощности — высота их профиля составляет всего 17 мм. Внутренняя топология модулей обеспечивает минимальное значение распределенной индуктивности и распределенного сопротивления проводников, что обеспечивает хорошие динамические характеристики и, в сочетании с низким напряжением насыщения транзисторов, минимальные потери проводимости.

На одной стороне модуля расположены выводы для подключения силовой шины питания, что позволяет использовать ламинированные или многослойные шины простейшей конструкции с минимальной индуктивностью. На противоположной стороне находится двоярный АС-терминал, являющийся выходом полумоста. В результате звено постоянного тока и силовые выходы оказываются разнесенными, при этом конструкция преобразователя получается максимально простой и достигается хорошая изоляция цепей постоянного и переменного тока. Но самое главное, что при такой конструкции обеспечивается беспрепятственный доступ к сигнальным выводам силового модуля и драйвер может быть установлен непосредственно на корпусе модуля, максимально близко к цепям управления.

По сравнению со стандартными конструкциями, у которых DC-терминалы находятся на поверхности корпуса (например, SEMITRANS — см. рис. 1), размещение этих выводов на краю модуля имеет еще одно существенное преимущество. Тяжелая DC-шина, расположенная на поверхности модуля, создает сильные механические напряжения в районе терминалов, что особенно опасно при вибрациях и ударах. При использовании SEMiX звено постоянного тока располагается на несущей конструкции рядом с модулем. Механические воздействия на выводы при

этом могут быть значительно уменьшены, например, с помощью коротких гибких шин.

Другой важной особенностью модулей SEMiX является широкий диапазон рабочих токов. Три типоразмера модулей, показанных на рис. 2, обеспечивают рабочий ток до 900 А при напряжении 600, 1200 и 1700 В. Каждый SEMiX в зависимости от типа содержит 2, 3 или 4 параллельно соединенных полумостовых базовых элемента. Например, на рис. 3 показана внутренняя структура SEMiX 4 с четырьмя параллельно соединенными полумостами. В результате модули имеют идентичную конструкцию и отличаются только длиной, для всех SEMiX может быть использована одинаковая DC-шина. Отметим также, что благодаря положительному температурному коэффициенту напряжения насыщения легко реализуется параллельное соединение модулей SEMiX. Это позволяет SEMIKRON предложить продукцию, которой ранее у компании не было, — стандартные модули IGBT с током свыше 1000 А и с луч-

шими на настоящее время техническими характеристиками.

Поскольку силовые выводы расположены по разные стороны модуля, поверхность его оказывается свободной для размещения на ней платы управления. Минимальное расстояние между драйвером и силовыми чипами позволяет снизить паразитную индуктивность цепей управления. Различные варианты конструкции интерфейса SEMiX делают его применение чрезвычайно широким. Возможные варианты исполнения модуля показаны на рис. 4. SEMiX может иметь обычные штыревые выводы под пайку, такая версия предназначена для пользователей, желающих применить драйвер собственной разработки. Модуль с пружинными контактами (при этом в обозначении присутствует буква s — spring) используется совместно с платой адаптера и драйвером SKYPER для сборки интеллектуального модуля IGBT. Естественно, что версия с пружинными контактами может применяться и с собственной платой

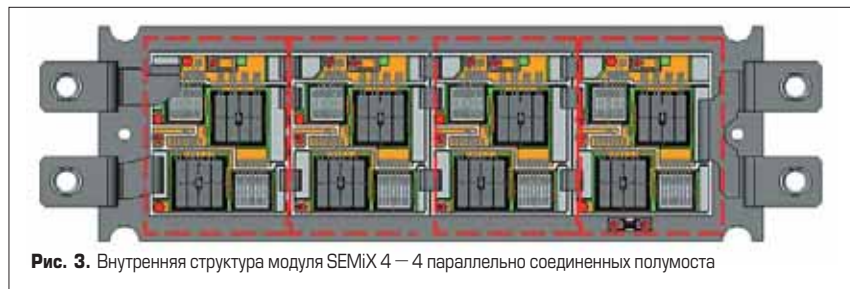


Рис. 3. Внутренняя структура модуля SEMiX 4 — 4 параллельно соединенных полумоста

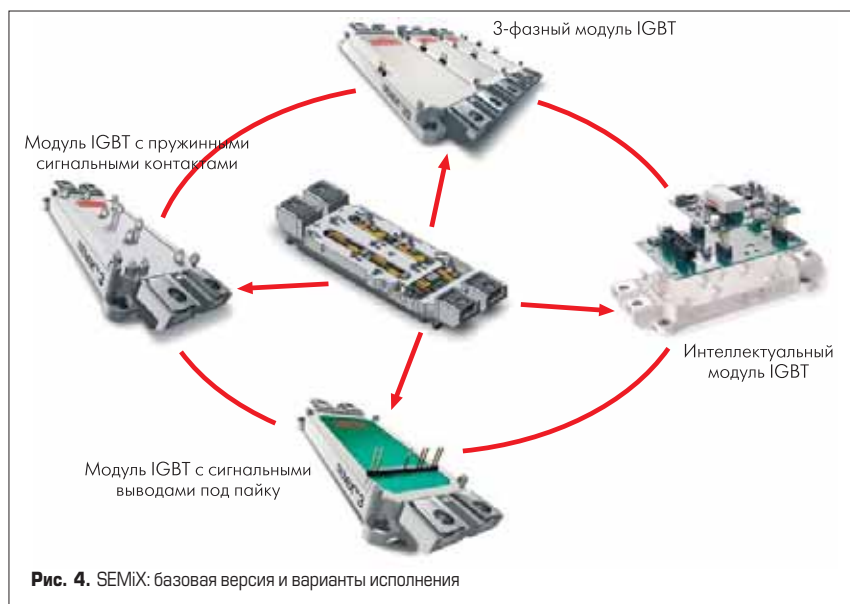


Рис. 4. SEMiX: базовая версия и варианты исполнения

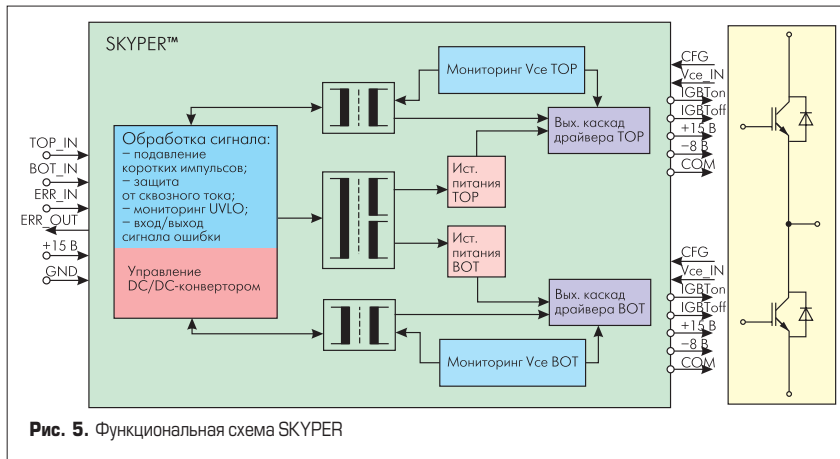


Рис. 5. Функциональная схема SKYPER

управления, при этом монтаж оказывается максимально простым благодаря отсутствию паяных соединений. Более того, расположение пружинных контактов непосредственно рядом с кристаллами способствует обеспечению оптимального динамического баланса при параллельном соединении модулей. И, наконец, существует версия «с», полностью совпадающая по расположению выводов с модулями EUPEC ECONO+.

SKYPER — стандартное исполнение

Технические характеристики силового преобразовательного устройства во многом определяются схемой управления. От параметров драйвера зависят динамические свойства силового каскада, уровень радиопомех, качество работы схемы защиты и мониторинга. Правильно рассчитанная и сконструированная схема управления обеспечивает функциональность и надежность силового преобразовательного устройства.

Драйвер SKYPER знаменует собой новую концепцию в разработке устройств управления изолированным затвором MOSFET/IGBT. SKYPER является «ядром», основой для построения серии драйверов широкого применения. Он содержит набор базовых функций и блоков, необходимых в большинстве практических применений: блок обработки сигнала с изолированным интерфейсом, устройство защиты, входные каскады управления изолированными затворами и изолированный DC/DC-преобразователь. Внешний вид «ядра» SKYPER показан на рис. 6, а его функциональная схема — на рис. 5. Механическая и электрическая связь ядра с силовым модулем осуществляется с помощью платы адаптера. На плате адаптера устанавливаются компоненты, являющиеся специфическими для конкретного применения, например, резисторы затвора и элементы, необходимые для регулировки чувствительности схемы защиты. Данное техническое решение обеспечивает простое, недорогое и надежное решение для большинства практических применений. Сильным аргументом в пользу SKYPER является тот факт, что основой для его разработки послужила схема драйвера SKHI 22, выпущенного в сотнях тысяч экземпляров, проверенного временем и до-

казавшего свою надежность и высокие потребительские свойства.

Основные технические характеристики SKYPER:

- 2 канала управления;
- встроенный изолированный DC/DC-конвертер;
- гальваническая изоляция сигналов управления с помощью импульсных трансформаторов;
- выходной ток (пиковый) — 15 А;
- заряд затвора управляемого транзистора — до 6,3 мКл;
- рабочая частота — до 50 кГц;
- напряжение изоляции — 4 кВ;
- виды защиты: DESAT, UVLO, подавление коротких импульсов, программируемое время tdt.

Для работы драйвера SKYPER необходим один источник напряжения 15 В (двуполярное напряжение +15/-8 В, необходимое для питания выходных каскадов, вырабатывается встроенным изолированным DC/DC-конвер-



Рис. 6. Внешний вид «ядра» SKYPER

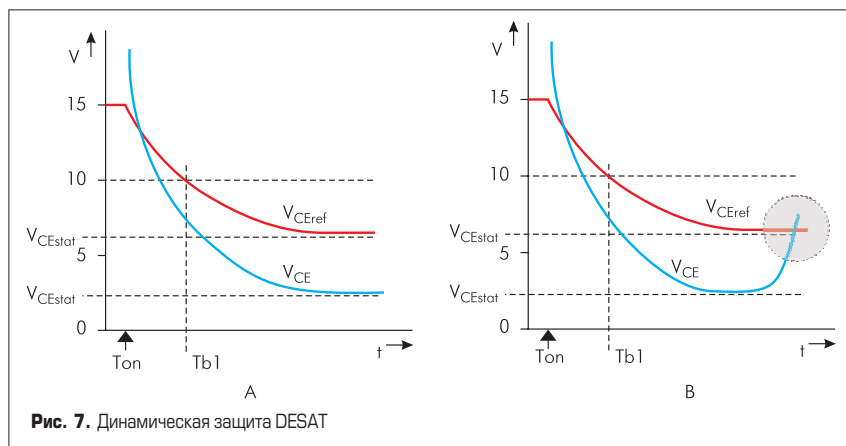


Рис. 7. Динамическая защита DESAT

тором). Изоляция входных логических сигналов (уровень напряжения управления — CMOS) осуществляется с помощью импульсных трансформаторов, обеспечивающих напряжение изоляции «вход — выход» 4 кВ. Передача сигналов управления с помощью трансформаторов, использование двунаправленных импульсных фильтров обеспечивает драйверу высокой иммунитет к наведенным со стороны выхода импульсным перенапряжениям со скоростью нарастания до 50 кВ/мкс. Кроме решения основных задач — управления затворами и формирования изолированных напряжений питания, SKYPER выполняет следующие функции:

- защита от выхода транзистора из режима насыщения (DESAT);
- подавление коротких импульсов;
- формирование времени задержки переключения транзисторов полумоста (deadtime);
- защита от падения напряжения питания (UVP, UVLO);
- обработка и формирование сигнала неисправности.

Защита от перегрузки с помощью мониторинга напряжения насыщения (V_{CEsat}) является наиболее известным и распространенным способом защиты. Контроль напряжения насыщения позволяет выявить перегрузку по току, вызванную замыканием нагрузки, пробоем выхода на корпус или сквозным током при открывании (или пробое оппозитного транзистора). Такой способ защиты является достаточно быстродействующим, не подверженным воздействию электромагнитных помех (как в случае индукционных датчиков тока), он не приводит к дополнительным потерям мощности, в отличие от схем защиты с использованием резистивных шунтов.

При использовании данного типа защиты от перегрузки ее необходимо блокировать в течение некоторого времени T_{bl} (в англоязычной литературе — blanking time) после подачи отпирающего напряжения на затвор транзистора. Дело в том, что между моментом включения транзистора и его входом в насыщение существует задержка, равная сумме времени задержки включения t_{don} и времени включения t_r . Все это время на коллекторе присутствует достаточно высокое напряжение, которое может быть воспринято схемой защиты как перегрузка по току. Необходимое вре-

мя запрета зависит от типа транзистора, так же, как и требуемый уровень V_{CEsat} , при котором должно произойти отключение транзистора и который определяется по графику зависимости $V_{CE} = f(I_C)$.

Для возможности «адаптации» схемы защиты SKYPER к параметрам конкретного силового модуля и сокращения времени анализа аварийной ситуации используются подстроечные элементы, устанавливаемые на плате адаптера. Особенностью работы защиты DESAT драйвера SKYPER является динамическое опорное напряжение V_{CERef} , и сама идеология защиты, заложенная в SKYPER, носит название DSCP — Dynamic Short Circuit Protection. Графики, приведенные на рис. 7, показывают, как меняется опорное напряжение схемы защиты V_{CERef} при открывании транзистора (момент времени T_{on}) при нормальной работе (А) и перегрузке (В). Динамический характер изменения опорного напряжения «коллектор-эмиттер», позволяет сократить время реакции (уменьшить T_{bl}) и снизить риск ложных срабатываний.

При отсутствии состояния перегрузки опорное напряжение схемы защиты и напряжение насыщения V_{CEsat} достигают установившегося значения V_{CEstat} . Время запрета срабатывания защиты (T_{bl} на рис. 7) и постоянная времени изменения опорного напряжения могут регулироваться элементами, устанавливаемыми на плате адаптера. Таким образом, осуществляется оптимальное согласование характеристик защиты с параметрами силового модуля. На рис. 7b показано, что при возникновении аварийной ситуации напряжение V_{CEsat} сравнивается с опорным напряжением, после чего отключаются силовые транзисторы.

Все основные функции SKYPER выполняются специализированной микросхемой (ASIC — Application Specific Integrated Circuit) SKIC 2001, разработанной и выпускаемой SEMIKRON для драйверов и интеллектуальных силовых модулей последних поколений. Двухканальная микросхема SKIC 2001 выполняет следующие функции:

- подавление шумовых импульсов;
- нормирование уровней и фронтов входных сигналов;
- мониторинг напряжения питания (защита UVLO);
- мониторинг сигналов ошибки;
- запрет одновременного включения транзисторов полумоста, формирование t_{dt} ;
- управление встроенным изолированным DC/DC-конвертером.

Благодаря использованию специализированной интегральной схемы, количество дискретных компонентов SKYPER сведено к минимуму. Простота топологии и небольшое количество элементов обеспечивают высокую надежность и снижение стоимости устройства.

SKYPER PRO — расширенная версия

В отличие от базовой стандартной версии SKYPER, функции которой описаны ранее, выпускается и версия SKYPER PRO, имеющая расширенный набор функций. Функциональ-

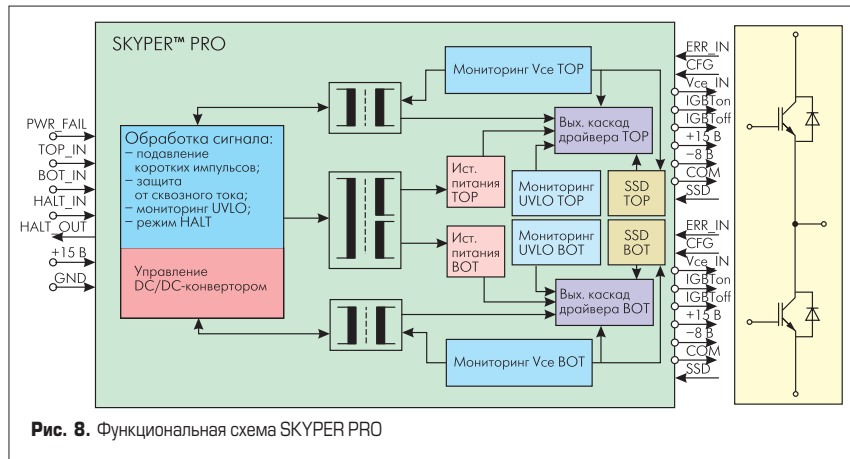


Рис. 8. Функциональная схема SKYPER PRO

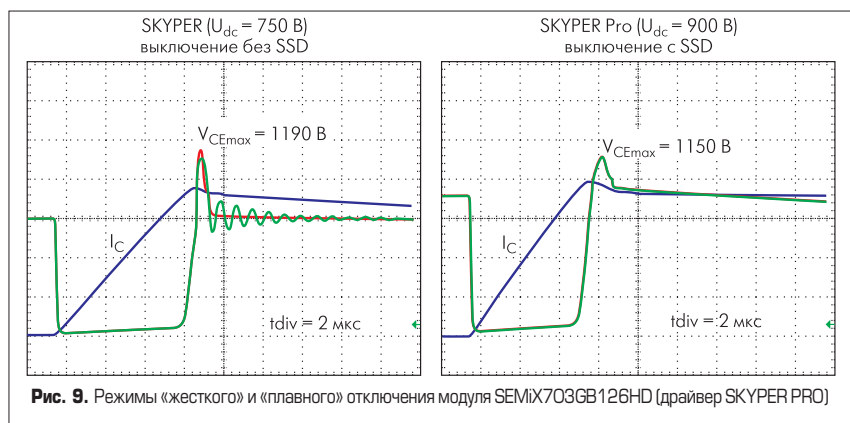


Рис. 9. Режимы «жесткого» и «плавного» отключения модуля SEMiX703GB126HD (драйвер SKYPER PRO)

ная схема расширенной версии драйвера SKYPER приведена на рис. 8. Как видно из рисунка, SKYPER PRO имеет более развитую схему защиты: в состав драйвера входят блоки защиты выходных каскадов от падения напряжения (UVLO) и узлы, обеспечивающие режим плавного отключения (SSD). Кроме того, у SKYPER PRO расширенный интерфейс, у него больше контрольных входов и выходов.

Режим плавного отключения транзисторов при срабатывании защиты (в англоязычной литературе он называется SSD — Soft Shut Down или Soft Turn-off) совершенно необходим в тех случаях, когда из-за наличия распределенных индуктивностей силовых шин уровень перенапряжения при мгновенном отключении транзисторов может быть недопустимо высоким. Значение перенапряжения ΔV определяется величиной индуктивности шины L_s и скоростью изменения тока при отключении di/dt : $\Delta V = L_s \times di/dt$. Режим SSD позволяет уменьшить величину перенапряжения за счет снижения скорости выключения, что достигается, как правило, использованием дополнительного резистора затвора R_{goff} .

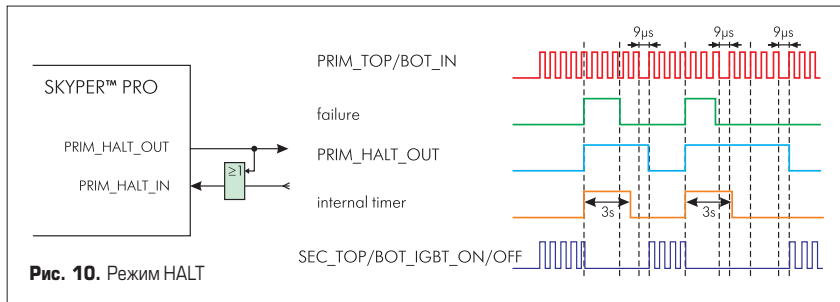
Платой за режим SSD являются повышенные потери при аварийном отключении. В новейших сериях 126 и 128 модулей SEMITRANS используются кристаллы Trench и SPT IGBT, имеющие свойство «самоограничения» тока КЗ на уровне, не превышающем 6-кратного значения номинального тока. Для этих модулей режим SSD может не применяться, мгновенное отключение считается для них безопасным. Естественно, что это справедливо только в тех

случаях, когда топология силовых соединений выполнена корректно и значения индуктивностей шин не превышают допустимых значений.

Драйвер SKYPER PRO имеет дополнительный вход ERR_IN, который может быть использован, например, для подключения термодатчика или внешнего датчика тока. В этой версии драйвера задействован режим SSD, позволяющий осуществлять плавное отключение силовых транзисторов в режиме перегрузки. Как было сказано ранее, режим SSD позволяет снизить уровень перенапряжения при отключении в аварийном режиме даже в условиях предельного напряжения на шине питания.

На рис. 9 показаны эпюры, соответствующие мгновенному отключению транзистора при перегрузке и плавному отключению в режиме SSD. Графики получены при испытаниях полумостового модуля SEMiX703GB126HD. В процессе испытаний отпирющий импульс подавался на верхний транзистор полумоста, нижний был закорочен через кабель с нормированной распределенной индуктивностью $L_s = 1,4$ мкГн — такая методика испытаний работы схемы защиты принята у многих производителей, в том числе и у SEMIKRON.

Скорость нарастания тока коллектора I_C ограничена значением индуктивности кабеля и напряжением шины питания в соответствии с формулой $U_{dc} = L \times di_C/dt$. Таким образом, ток отключения в обоих случаях почти достигает 3500 А, что соответствует 5-кратному значению номинального тока (защита срабатывает примерно через 6 мкс после открывания транзистора).



Как видно из рисунка, при наличии SSD даже отключение при напряжении на шине 900 В является безопасным для модуля с рабочим напряжением 1200 В. Пиковое напряжение на коллекторе при этом не превышает 1159 В. При мгновенном отключении предельное напряжение 1190 В на коллекторе наблюдается при напряжении на шине питания 750 В. Испытания в режиме мгновенного отключения проводились при наличии и в отсутствие снабберного конденсатора на шине питания. Уровень перенапряжения при этом не изменился, наличие снаббера повлияло только на снижение колебательности V_{CE} при отключении (зеленый график на рис. 9).

Драйвера SKYPER PRO оснащены дополнительными блоками мониторинга для всех вторичных напряжений питания (UVLO), что обеспечивает более высокий уровень защиты. Кроме того, в отличие от стандартной версии, время задержки переключения полумоста t_{dt} у него регулируемое, а функция блокирования обоих транзисторов полумоста при подаче двух отпирающих напряжений (interlock) может быть отключена.

SKYPER PRO блокирует выходные транзисторы при подаче логического сигнала на вход PWR_FAIL при падении напряжений питания ниже порогового значения (UVLO) и при срабатывании защиты от перегрузки DESAT. При этом его выход индикации неисправности HALT_OUT принимает значение логической единицы. Одновременно запускается таймер драйвера, формирующий импульс длительностью 3 с. Если после этого времени не обнаруживается никаких аварийных ситуаций, и входы TOP и BOT имеют низкий уро-

вень в течение более 9 мкс, драйвер вновь готов к работе. Сказанное поясняется эпюрами, приведенными на рис. 10.

Наличие входа и выхода HALT_IN и HALT_OUT, позволяющих управлять и контролировать состояние драйвера SKYPER PRO, обеспечивает дополнительные сервисные возможности. Подача сигнала высокого уровня на вход HALT_IN запрещает прохождение управляющих сигналов, а на выходе HALT_OUT сигнал высокого уровня появляется при наличии неисправности, как было указано выше. С помощью этих входов можно организовать автоматический сброс защиты и отключение силовых транзисторов внешним сигналом, как показано на схеме (рис. 10).

Интерфейсные платы SKYPER

Модуль SKYPER, как ядро драйвера, выполняет все основные функции управления и защиты. Для механического сопряжения с модулями различной конструкции служат адаптерные платы. На них также размещаются компоненты, специфические для разного типа силовых модулей:

- резисторы затвора R_{gon} , R_{goff} ;
- элементы, необходимые для регулировки чувствительности и постоянной времени схемы защиты DESAT;
- элементы, необходимые для регулировки времени задержки переключения t_{dt} и запрета одновременного включения транзисторов полумоста (interlock).

Такие платы разработаны и серийно выпускаются для подключения SKYPER к силовым модулям SEMiX 2, 3, 4 с пружинными сиг-

нальными контактами. Внешний вид сборки SKYPER + плата адаптера + SEMiX 3s показан на рис. 11. На фотографии (рис. 13) можно видеть, как выглядит сборка драйвера с различными типами модулей SEMiX (а — SEMiX 2, б — SEMiX 3, в — SEMiX 4) и с модулем SEMI-TRANS 3 (рис. 13d). Последний вариант представляется очень интересным, так как позволяет подключать SKYPER к стандартным модулям IGBT, наиболее широко используемым в настоящее время.

Преимущества данной конструкции в 3-фазном исполнении с модулями SEMiX, позволяющими подключать драйвер непосредственно к сигнальным выводам модуля, представлены на фотографии (рис. 12). На фотографии хорошо видно, насколько упрощается конструкция шины постоянного тока и подключение выходных терминалов при использовании модулей SEMiX с расположенными по краям силовыми терминалами постоянного и переменного тока. Кроме электронных блоков, на фотографии показана шина постоянного тока со снабберными конденсаторами и АС-выходы с датчиками тока. Обратите внимание, что подключение выходов осуществлено с помощью фиксирующих втулок — это необходимо для снижения вибрационных нагрузок на терминалы со стороны выходных шин.

Интерфейсная плата адаптера имеет очень простую конструкцию и может быть разработана для каждого конкретного применения с учетом всех пожеланий разработчика. Система, состоящая из силового модуля SEMiX, драйвера SKYPER и платы адаптера является чрезвычайно гибкой как с точки зрения конструкции, так и по своим электрическим характеристикам.

У модуля SEMiX, показанного на рис. 11, связь сигнальных выводов кристаллов с платой драйвера осуществляется с помощью пружинных контактов, зафиксированных в корпусе модуля. Многочисленные исследования надежности и стабильности характеристик подобного соединения, проводимые SEMIKRON, показали, что связь с помощью пружинных контактов в силовых модулях оказывается гораздо надежнее паяных соединений.

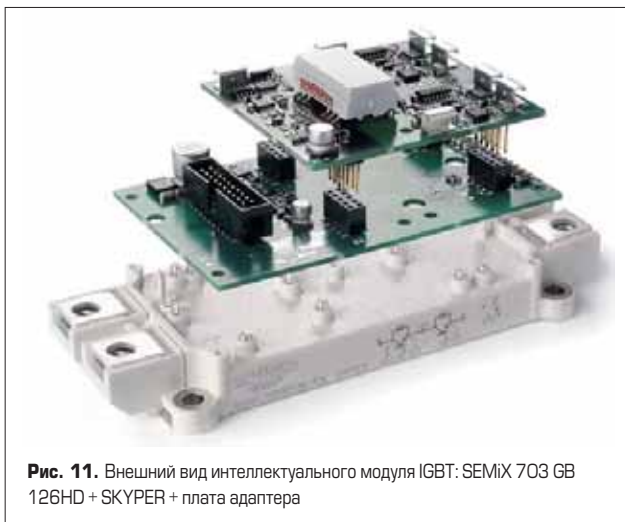




Рис. 13. Соединение SKYPER с различными типами модулей IGBT

Каждый базовый полумостовой элемент SEMiX имеет отдельные сигнальные выходы затвора и эмиттера. Зоны подключения пружинных контактов помечены красными точками на рис. 3. Возможность индивидуального доступа к выводам затвора, предоставляемая конструкцией модулей SEMiX, позволяет оптимизировать динамические характеристики и обеспечить оптимальный динамический баланс параллельно соединенных полумостов как в режиме переключения, так и при коротком замыкании и срабатывании защиты, что позволяет снизить потери переключения, обеспечить наилучшее распределение токов, уменьшить уровень перенапряжения при отключении.

Нагрузочная способность SKYPER

Выходной каскад SKYPER рассчитан таким образом, чтобы уровень выходного тока был достаточен для переключения модулей SEMiX любой мощности, он может успешно работать и с любым другим модулем, имеющим заряд затвора до 6,4 мкКл.

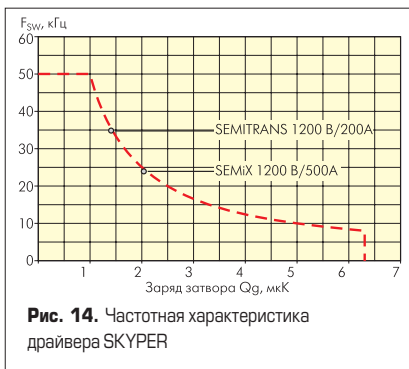


Рис. 14. Частотная характеристика драйвера SKYPER

Рабочая частота SKYPER ограничена уровнем рассеиваемой им мощности или зарядом затвора управляемого модуля. Соответствующая частотная характеристика показана на рис. 14. Максимальная рабочая частота F_{\max} может быть рассчитана с помощью формулы: $F_{\max} = I_{\text{OUTav}}/Q_G$, где I_{OUTav} — среднее значение выходного тока драйвера; Q_G — заряд затвора управляемого модуля.

Готовая сборка SEMISTACK на основе модулей SEMiX

Компания SEMIKRON имеет большой опыт разработки законченных конструкторских ре-

шений на основе выпускаемых фирмой силовых модулей [5]. Занимаясь проектированием силовых преобразователей почти 30 лет, компания имеет в своей базе более 2000 сборок, что позволяет оперативно предлагать заказчику проверенное решение, прошедшее необходимые испытания. Верная своим традициям компания SEMIKRON разработала такие конструктивы и для своего новейшего модуля SEMiX (первый образец конструкции, представленный на рис. 12, был показан на выставке PCIM 2004).

Конструктив SEMISTACK (см. рис. 15), построенный на основе последних разработок SEMIKRON, должен стать универсальной недорогой платформой для разработки мощных преобразовательных устройств для различных применений. Сборка может быть построена на основе модулей SEMiX 2, 3 или 4, отличающихся диапазоном рабочего тока.

Защитные и сервисные функции преобразователей на основе нового SEMISTACK обеспечиваются применением в сборке новейших драйверов SKYPER, осуществляющих управление силовыми модулями, гальваническую изоляцию сигналов управления, защиту от аварийных режимов и подавление шумовых сигналов.

Важными особенностями модулей SEMISTACK на основе SEMiX и SKYPER является применение низкоиндуктивных планарных силовых шин, мониторинг напряжения DC-шины, наличие датчиков тока и температуры, использование высокочастотных снабберов.

Предлагаемые компанией SEMIKRON готовые сборки SEMISTACK могут быть отнесены к изделиям plug-and-play, поскольку они являются не только законченными конструктив-



Рис. 15. Перспективная разработка SEMISTACK на основе модулей SEMiX

но, но и протестированными по основным электрическим и тепловым параметрам. В них возможно использование двух типов охлаждения: принудительное воздушное и жидкостное в тех случаях, когда требуется максимальная эффективность при минимальных габаритах.

Заключение

Универсальное ядро драйвера SKYPER, содержащее набор базовых функций и разработанное для управления мощными модулями IGBT, позволяет сделать процесс разработки чрезвычайно гибким. Эта гибкость в отношении различных типов модулей и различных конструкций преобразователей обеспечивается с помощью простой платы адаптера. Такие платы, предназначенные для связи ядра драйвера с силовыми модулями, серийно выпускаются для установки SKYPER на модули SEMiX с пружинными выводами и для управления модулями IGBT в стандартных корпусах.

Интеллектуальный силовой модуль, составленный из комбинации блоков SKYPER + плата адаптера + SEMiX, будет, несомненно, востребован рынком. Основные преимущества данной сборки по сравнению с предлагаемыми в настоящее время интеллектуальными силовыми модулями:

- полный набор защитных и сервисных функций, обеспечиваемый драйвером SKYPER, что выгодно отличает его от большинства интеллектуальных силовых модулей, предлагаемых на рынке;
- высокие потребительские свойства SKYPER, подтвержденные многолетним опытом эксплуатации драйвера SKNI 22, на основании которого он разработан;
- отличные электрические и тепловые характеристики модулей SEMiX, получаемые за счет применения новейших кристаллов IGBT-транзисторов и оптимальной конструкции модуля;
- высокая плотность тока и малые габариты преобразовательного устройства, построенного на основе описанных узлов;
- конкурентоспособные цены.

Литература

1. M. Freyberg, M. Hermwille, J. Li. SEMiX™ and SKYPER™ — an intelligent IGBT module with adaptable driver. SEMIKRON International.
2. R. Annacker, T. Grasshoff. A New Platform for IGBT modules — Flexible and Expandable SEMiX Family // PCIM Europe Magazine. 07–08/2003.
3. M. Hermwille, T. Grasshoff. SKYPER — Modern and Simple Driver // Power Systems Design. 06/2004.
4. Колпаков А. SEMiX — новое поколение низковольтных модулей IGBT // «Компоненты и Технологии: Силовая Электроника». 2004. № 2.
5. Колпаков А. Многослойная шина в модулях SEMISTACK SEMIKRON // «Компоненты и Технологии: Силовая Электроника». 2004. № 1.