

SEMiX как основа

для построения надежной системы

Компания SEMIKRON — одна из старейших в мире, чьим основным направлением деятельности является полупроводниковая силовая электроника. Ее история началась в 1951 г., а сейчас SEMIKRON является признанным создателем промышленных стандартов: первый изолированный модуль, пружинные контакты, технология SKiP, технология спекания и др. В статье рассказывается об одном из основных типов модулей компании — семействе SEMiX.

Владислав Филатов

vladislav.filatov@ptelectronics.ru

IGBT-модули семейства SEMiX

Семейство IGBT-модулей SEMiX появилось в производственной программе SEMIKRON в 2003 г., а через год компанией был разработан специализированный драйвер SKYPER, предназначенный для управления модулями данной серии. Интеллектуальные силовые модули, построенные на основе SEMiX, SKYPER и адаптерных плат, осуществляющих механическую связь силовых ключей с драйверами, были одними из основных экспонатов стенда SEMIKRON на выставке PCIM-2005. Предлагаемая конструкция обладает очень высокой степенью «интеллектуализации» — кроме всех базовых функций защиты и мониторинга, драйвер SKYPER имеет изолированный интерфейс и встроенный изолированный DC/DC-конвертер [1].

Внешний вид IGBT-модулей и выпрямительных мостов семейства SEMiX показан на рис. 1. Напомним основные особенности и преимущества низкопрофильного конструктива SEMiX:

- возможность установки платы управления непосредственно на корпусе модуля без применения пайки или использования соединительных проводов;
- применение пружинных контактов для всех типов сигнальных соединений;

- одинаковый тип и высота корпуса (17 мм), одинаковый способ подключения для всех компонентов семейства;
- стандартный ряд рабочих напряжений — 600, 1200, 1700 В;
- диапазон рабочих токов 100–950 А;
- разделение силовых терминалов AC и DC;
- наличие всех стандартных конфигураций IGBT и выпрямителей;
- использование новейших поколений кристаллов IGBT.

Перечисленные особенности позволяют принципиально изменить подход к проектированию преобразовательной техники и создавать устройства с рекордными показателями плотности мощности. Один из вариантов конструкции с использованием компонентов SEMiX показан на рис. 2. На одном монтажном уровне размещаются входной выпрямитель и силовые каскады инвертора, звено постоянного тока и платы управления. При использовании полупроводящего выпрямителя, доступного теперь и в конструктиве SEMiX, на нем также может быть размещен соответствующий драйвер. На общей DC-шине монтируются конденсаторы, при этом в ряде случаев отпадает необходимость в снабберах, так как обеспечивается минимальное расстояние между силовыми модулями и конденсаторами шины.



Рис. 1. Семейство SEMiX: IGBT-модули и выпрямительные мосты

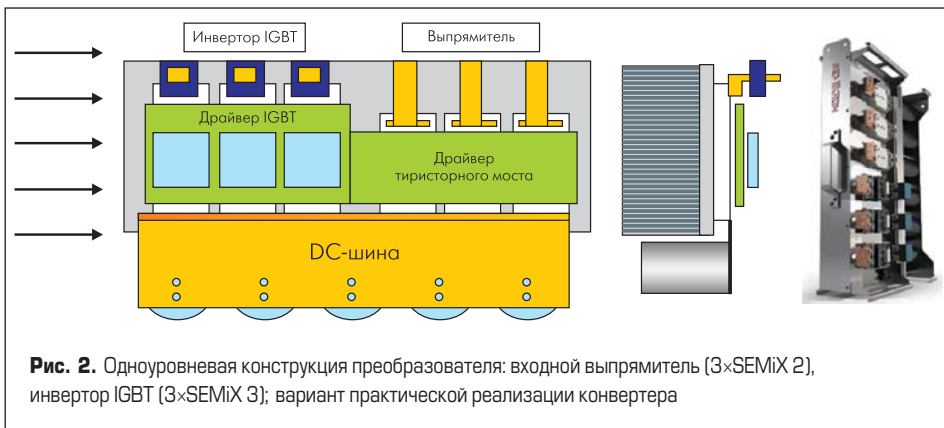


Рис. 2. Одноуровневая конструкция преобразователя: входной выпрямитель (3×SEMIX 2), инвертор IGBT (3×SEMIX 3); вариант практической реализации конвертера

Снижение уровня распределенной индуктивности позволяет уменьшить уровень переходных перенапряжений, улучшить электромагнитную совместимость [2].

Выпуск выпрямителей серии SEMiX определил новые стандарты в разработке компактных силовых преобразовательных устройств. Наличие выпрямительных мостов и модулей IGBT в одинаковом корпусе позволяет применить для их соединения одну DC-шину с разнесенными по краям входными и выходными терминалами. Использование такой шины способствует упрощению конструкции преобразователей, уменьшению паразитных индуктивностей линий связи, что, соответственно, повышает надежность работы в динамических режимах [1].

SEMIX404GB17E4S (рис. 3) — это новый продукт из хорошо зарекомендовавшей себя серии SEMiX с напряжением «коллектор-эмиттер» 1700 В и номинальным током 400 А. Данная серия была разработана с прицелом на повышенную плотность тока при использовании как можно меньшего корпуса с удобным расположением силовых и сигнальных выводов. Входные и выходные силовые выводы выведены на разные стороны корпуса, сигнальные выводы выполнены в виде пружинного контакта, что позволяет при сборке модуля избежать пайки. Пружинные контакты обеспечивают надежное соединение модуля с платой драйвера. При использовании в устройствах, при эксплуатации которых силовая часть подвергается вибрации, с течением времени не происходит деформации сигнальных контактов и растрескивания печатной платы.

Если необходимо на выходе полумоста получить ток более 400 А, есть возможность



Рис. 3. Внешний вид SEMIX404GB17E4S

поставить два модуля SEMIX404GB17E4S параллельно с использованием драйвера SKYPER 42 (рис. 4) и переходной платы. При этом получается полумост с восемью крепежными отверстиями (четыре на каждый модуль), в минимальных габаритах, с номинальным напряжением коллектор-эмиттер 1700 В и номинальным током порядка 800 А ($400 \text{ A} \times 2 = 800 \text{ A}$; $800 \text{ A} - 800 \text{ A} \times 0,1 (10\%) = 720 \text{ A}$). Данное решение дешевле аналогичных вариантов у конкурентов на 20–30%, также упрощается и удешевляется комплект ЗИП.



Рис. 4. Внешний вид сборки на двух SEMIX404GB17E4S и SKYPER 42

- Преимущества модулей SEMiX:
- современный корпус;
 - максимально возможная площадь основания, что позволяет эффективно отводить тепло;
 - исполнение по технологии Trench.
- Основными областями применения SEMIX404GB17E4S являются инверторы, индукционный нагрев, источники питания.

Драйвер для IGBT-модулей в форм-факторе SEMiX

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. 5, его функциональная схема — на рис. 6. Связь ядра с силовым



Рис. 5. Внешний вид «ядра» SKYPER

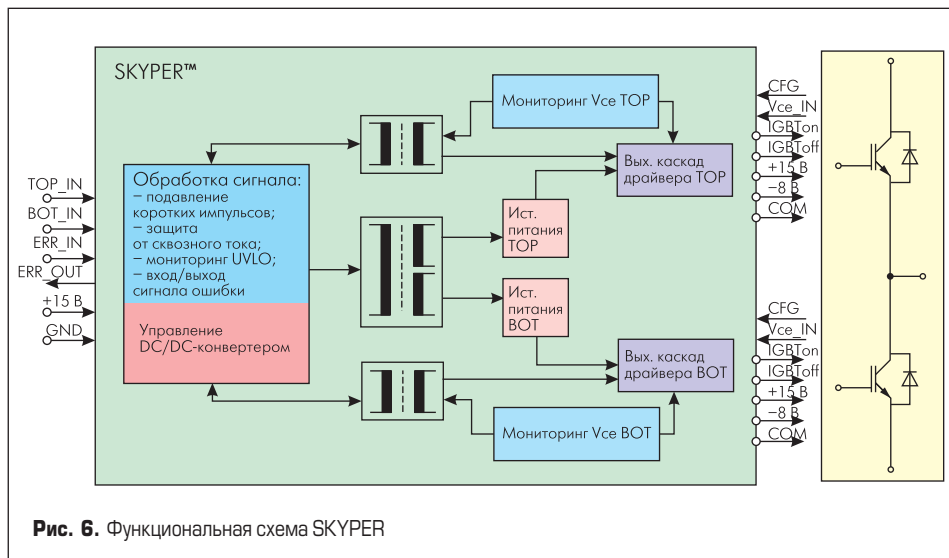


Рис. 6. Функциональная схема SKYPER

модулем осуществляется с помощью платы адаптера, осуществляющей механический и электрический интерфейс. На плате адаптера устанавливаются компоненты, являющиеся специфическими для конкретного применения, например резисторы затвора и элементы, необходимые для регулировки чувствительности схемы защиты. Данное техническое исполнение обеспечивает простое, недорогое и надежное решение для большинства практических применений. Весомым 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 доказавшего 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;
- защита DESAT, UVLO, подавление коротких импульсов, программируемое время t_{dr} .

Для работы драйвера SKYPER необходим один источник напряжения 15 В (двухполярное напряжение +15/-8 В, необходимое для питания выходных каскадов, вырабатывается встроенным изолированным DC/DC-конвертером). 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 обеспечивают драйверу высокий иммунитет к наведенным со стороны выхода импульсным перенапряжениям со скоростью нарастания до 50 кВ/мкс. Кроме выполнения основных (управление затворами и формирование изолированных напряжений питания), SKYPER содержит следующий набор функций:

- 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

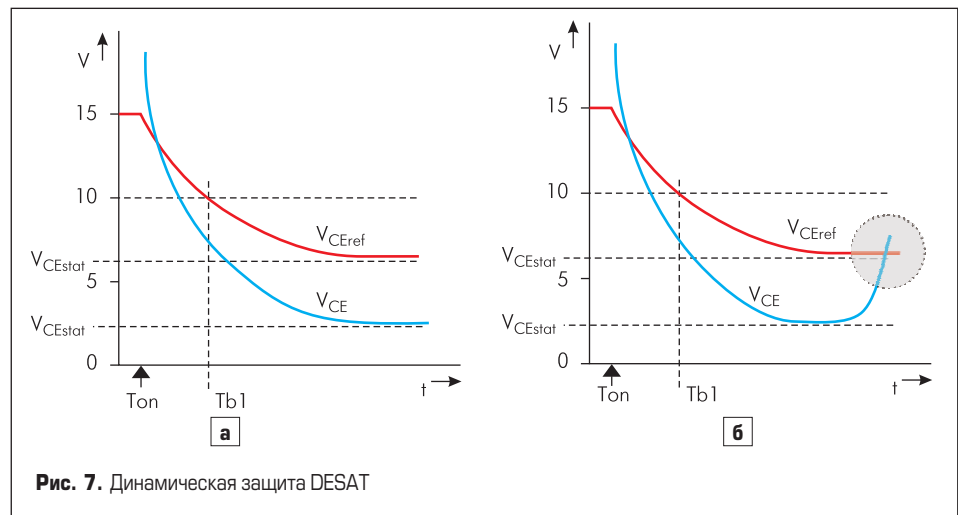


Рис. 7. Динамическая защита DESAT

сквозным током при открывании (или пробое оппозитного транзистора). Данный 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} (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 время 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_{CEsref} 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_{CEsref} при открывании транзистора (момент времени T_{on}) при нормальной работе (рис. 7а) и перегрузке (рис. 7б). Динамический характер изменения опорного напряжения, согласованный с кривой спада 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_{CEstar} . Время запрета срабатывания за-

щиты (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. 7б показано, что при возникновении аварийной ситуации напряжение V_{CEsat} сравнивается с опорным, после чего отключаются силовые транзисторы. Все основные функции SKYPER выполняются специализированной микросхемой (Application Specific Integrated Circuit, ASIC) 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_{dr} ;
- 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 [3].

Готовая сборка SEMISTACK

SEMIKRON имеет большой опыт разработки законченных конструкторских решений на основе выпускаемых силовых модулей. 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. SEMIKRON разработала такие конструктивы и для модуля SEMiX (первый образец конструкции, представленный на рис. 8, был показан на выставке PCIM 2004). Конструктив SEMISTACK должен



Рис. 8. Внешний вид трехфазной сборки SEMiX 703 GB126HD + плата адаптера + SKYPER Pro

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 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 являются применение низкоиндуктивных планарных силовых шин, мониторинг напряжения DC-шины, наличие

датчиков тока и температуры, использование высокочастотных снабберов. Предлагаемые готовые сборки SEMISTACK могут быть отнесены к изделиям Plug&Play, поскольку они являются не только законченными конструктивно, но и протестированными по основным электрическим и тепловым параметрам. В них возможно использование двух типов охлаждения: принудительное воздушное или жидкостное — в тех случаях, когда требуется максимальная эффективность при минимальных габаритах [3].

Заключение

Представленные на рынке IGBT-модули и выпрямители SEMiX, драйверы SKYPER, а также сборки на их основе позволяют разрабатывать преобразователи различной мощности с очень высоким показателем надежности. Исполнение драйвера позволяет еще больше упростить конструкцию преобразователя.

Литература

1. Колпаков А. SEMiX — мост между прошлым и будущим // Силавая электроника. 2005. № 4.
2. Колпаков А. О семействе SEMiX и не только // Электронные компоненты. 2007. № 6.
3. Колпаков А. SEMiX + SKYPER = Адаптивный интеллектуальный силовой модуль IGBT нового поколения // Силавая электроника. 2005. № 1.