

SEMIX —

МОСТ МЕЖДУ ПРОШЛЫМ И БУДУЩИМ

Жесткая конкуренция и растущие требования по энергосбережению, эффективности и миниатюризации силовых преобразовательных устройств требуют от фирм-производителей постоянного улучшения параметров компонентов, совершенствования технологий. На ежегодной международной выставке по силовой электронике PCIM-2005 компанией SEMIKRON было представлено новое поколение выпрямителей в конструктиве SEMiX [1]. SEMIKRON первым из производителей разработал выпрямительные мосты в сверхплоских корпусах, в которых годом раньше была выпущена серия модулей IGBT. Предлагаемая серия элементов является «мостом» к созданию миниатюрных плоских конструкций конверторов с предельно малыми значениями распределенных индуктивностей силовых шин.

Андрей Колпаков

Andrey.Kolpakov@semikron.com

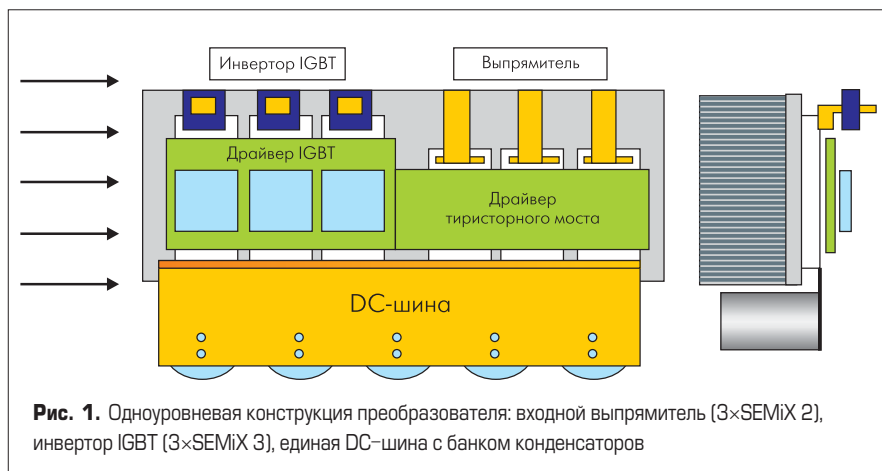
Семейство IGBT SEMiX появилось в производственной программе SEMIKRON чуть больше года назад, а в 2005 году компанией был разработан специализированный драйвер SKYPER, предназначенный для управления модулями данной серии. Интеллектуальные силовые модули, построенные на основе SEMiX, SKYPER и адаптерных 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-конвертор [2, 3].

Выпуск выпрямителей серии SEMiX определяет новые стандарты в разработке компактных силовых преобразовательных устройств. Наличие выпрямительных мостов и модулей IGBT в одинаковом корпусе позволяет применить для их соедине-

ния одну DC-шину с разнесенными по краям входными и выходными терминалами, как показано на рис. 1 и 2. Использование такой шины способствует упрощению конструкции преобразователей, уменьшению паразитных индуктивностей линий связи, что, соответственно, повышает надежность работы в динамических режимах.

На одном монтажном уровне размещаются не только входной выпрямитель и силовые каскады инвертора, но и платы управления, как показано на рис. 1. При использовании полупроводимого выпрямителя, также доступного теперь в конструктиве SEMiX, на нем может быть установлен один из выпускаемых SEMIKRON драйверов тиристорного моста. На общей DC-шине монтируется также банк конденсаторов, при этом в ряде случаев отпадает необходимость в снабберах, так как обеспечивается минимальное расстояние между силовыми модулями и конденсаторами шины. Снижение уровня распределенной индуктивности позволяет уменьшить уровень переходных перенапряжений, улучшить электромагнитную совместимость.

Более 30 лет разработчики всего мира используют выпрямительные мосты и модули IGBT в стандартных конструктивах с верхним расположением терминалов. Для их соединения и подключения существует несколько вариантов конструкции шин, обеспечивающих приемлемые значения паразитных индуктивностей. Однако возрастающие требования рынка по повышению уровня эффективности и энергосбережения потребовали кардинального изменения подхода к стандартам силовой электроники. Впервые модули плоской конструкции ECONO+ с силовыми терминалами, расположенными по краям, были представлены компанией EUPEC. Спустя некоторое время SEMIKRON выпустил на рынок серию модулей IGBT с рабочим напряжением 600, 1200 и 1700 В и током от 100 до 900 А.



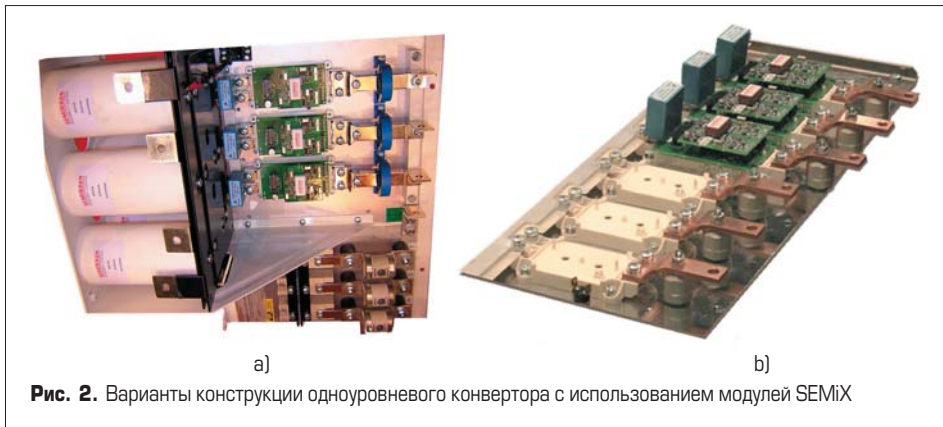


Рис. 2. Варианты конструкции одноуровневого конвертора с использованием модулей SEMiX

Среди компонентов серии — полумостовые модули SEMiX 2, 3, 4 (рис. 3а, б, в) и трехфазные: SEMiX 33 (рис. 3д) с током до 700 А и SEMiX 13 с током до 200 А (рис. 3е).

Сегодня данный тип компонентов становится новым промышленным стандартом. Практически все перспективные разработки, как на Западе, так и в России, ориентированы на применение модулей данной конструкции, что обусловлено их очевидными преимуществами:

- одинаковый способ крепления модулей разных типоразмеров;
- меньший уровень статических и динамических потерь;
- более высокая плотность тока;
- простота установки драйвера;
- разнесенные силовые терминалы DC-шины и AC-выхода;
- простота подключения DC-шины, меньшие значения распределенных параметров;
- возможность создания компактных плоских конструкций.

Очень важно, что благодаря отработанной технологии производства при прочих равных условиях данные элементы не дороже модулей в стандартных корпусах с соизмеримыми электрическими характеристиками. Однако для того чтобы инвертор, построенный с использованием низкопрофильных модулей IGBT, максимально показал все свои преимущества, потребовалась новая концепция конструкции выпрямителей.

В 1975 году впервые в мире фирма SEMIKRON представила на рынке серию изолированных диодных и тиристорных модулей в изолированных корпусах SEMIPACK, на многие

годы ставших промышленным стандартом для всех производителей. В конце 70-х годов многие фирмы начали серийный выпуск аналогичных элементов, главной особенностью конструкции которых было разделение тепловых и электрических потоков. Электрическая изоляция между силовыми терминалами и охлаждаемой поверхностью сделала возможным объединение разных кристаллов в одном корпусе и монтаж модулей различных типов на общий радиатор. Модули, содержащие полумостовые и мостовые каскады неуправляемых и управляемых диодно-тиристорных мостов, стали основой для разработки входных выпрямителей частотных преобразователей. До появления на рынке силовых ключей, подобных SEMiX, выпрямительные мосты в их современном виде вполне удовлетворяли разработчиков.

Для монтажа и подключения диодных и тиристорных мостов SEMiX и модулей IGBT SEMiX используются одинаковые технологии. Благодаря этому у разработчиков появилась реальная возможность проектировать силовой каскад частотного преобразователя как единый конструкционный эле-

мент, использующий общее звено постоянного тока и систему охлаждения.

Семейство выпрямителей SEMiX включает 6 типоразмеров: SEMiX 1, SEMiX 2, SEMiX 3, SEMiX 4 (полумостовые) и SEMiX 33, SEMiX 13 (3-фазные). SEMiX 1 (рис. 4а) представляет собой новый, самый малогабаритный элемент семейства, модулей IGBT в таком конструктиве пока нет.

Все компоненты серии SEMiX имеют медную базовую плату толщиной 3 мм. Для установки силовых кристаллов, электрической изоляции и отвода тепла применяется керамическая DBC-пластина (Direct Bonded Copper) из оксида алюминия Al_2O_3 . В выпрямительных мостах SEMiX используются разработанные SEMIKRON кристаллы тиристорных и диодов серии SEMICELL, производимые и устанавливаемые с помощью новейших бессвинцовых технологий. Чипы, выпускаемые SEMIKRON, имеют стеклянную пассивацию, обеспечивающую хорошие изоляционные свойства и высокую временную стабильность параметров. За 30 лет компанией накоплен огромный опыт производства кристаллов, все технологии отработаны и отлажены. Сборка модулей производится на полностью автоматизированной линии. В процессе производства изделия проходят несколько постов проверки сопротивления изоляции, выходному контролю электрических параметров подвергаются 100% выпускаемых модулей.

Внутренняя структура выпрямительного модуля SEMiX 2 показана на рис. 5. Выводы кристаллов с помощью ультразвуковой сварки подключены к медным шинам, нанесенным диффузионным методом на керамику. Топология соединений разработана с учетом достижения максимальной перегрузочной способности по току, что особенно важно для обеспечения надежной работы тиристор-

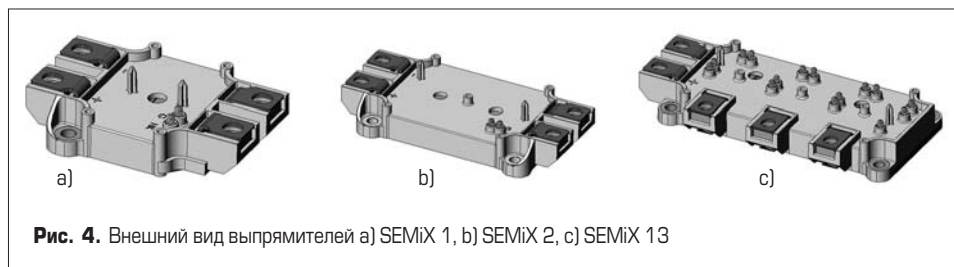


Рис. 4. Внешний вид выпрямителей а) SEMiX 1, б) SEMiX 2, в) SEMiX 13

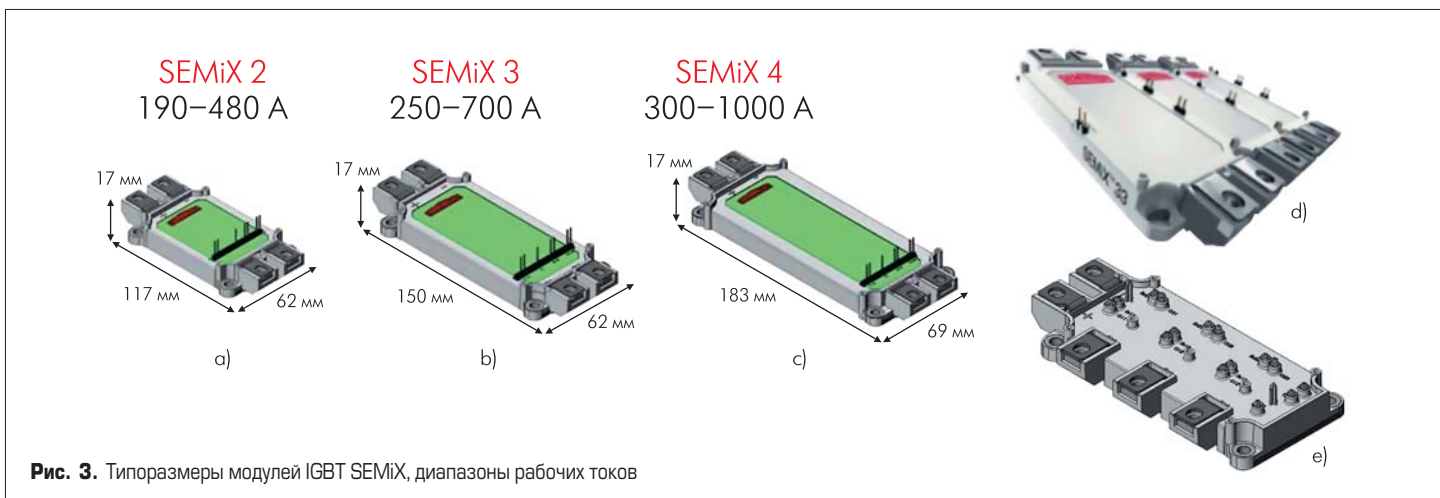


Рис. 3. Типоразмеры модулей IGBT SEMiX, диапазоны рабочих токов



Рис. 5. Структура выпрямителя SEMiX 2

ных и диодных модулей. «Фирменным» элементом конструкции SEMIKRON является использование пружинных сигнальных контактов для подключения выводов катода и управляющего электрода. Как показали многочисленные испытания модулей IGBT, использующих аналогичный тип выводов, пружинные контакты имеют очень высокую стабильность характеристик в условиях механических и климатических воздействий. Кроме того, подобный способ подключения обеспечивает минимальную длину и низкое значение паразитных индуктивностей контура управления. Как и в случае с модулями IGBT SEMiX, конструкция выпрямителей SEMiX позволяет устанавливать плату управления непосредственно на корпусе модуля, используя прижимной способ соединения. Подобно стандартной версии IGBT SEMiX, выпрямительные мосты SEMiX допускают и обычный способ подключения с помощью пайки.

Выпрямители в новых конструктивах аналогичны по своим электрическим характеристикам диодно-тиристорным мостам серии SEMIPACK, в обоих семействах компонентов использованы одинаковые кристаллы. Номенклатура предлагаемых на сегодняшний день выпрямителей SEMiX и их основные характеристики приведены в таблице. Все компоненты серии рассчитаны на рабочее напряжение 1200, 1600 и 1800 В.

На рис. 6 показан полный спектр выпрямительных и IGBT-модулей, входящих в семейство SEMiX. Приведенные на рисунке элементы предназначены для построения преобразователей мощностью до 150 кВт. Модули IGBT выпускаются в полумостовой, 3-фазной и чопперной конфигурации, а выпрямители представляют собой неуправляемые и полуправляемые полумосты и 3-фазные мосты.

Благодаря новым возможностям, предоставляемым конструктивом SEMiX, общий объем силовой сборки может быть уменьшен примерно на 30% по сравнению со стандартным решением. Явным преимуществом 3-фазного выпрямительного моста на базе SEMiX 13 (ток до 360 А), имеющего площадь основания 110×50 мм и заменяющего 3 стандартных полумостовых модуля, является так-

Таблица. Основные характеристики выпрямителей SEMiX

Тип	Корпус	Схема	Рабочий ток/температура
SEMiX 282 KH **	SEMiX 2		$I_{FAV} = 280 \text{ A}/85^\circ\text{C}$
SEMiX 362 KD **	SEMiX 2		$I_{FAV} = 360 \text{ A}/85^\circ\text{C}$
SEMiX 141 KH **	SEMiX 1		$I_{FAV} = 140 \text{ A}/85^\circ\text{C}$
SEMiX 191 KD **	SEMiX 1		$I_{FAV} = 190 \text{ A}/85^\circ\text{C}$
SEMiX 301 DH **	SEMiX 13		$I_D = 300 \text{ A}/85^\circ\text{C}$
SEMiX 481 D **	SEMiX 13		$I_D = 480 \text{ A}/85^\circ\text{C}$

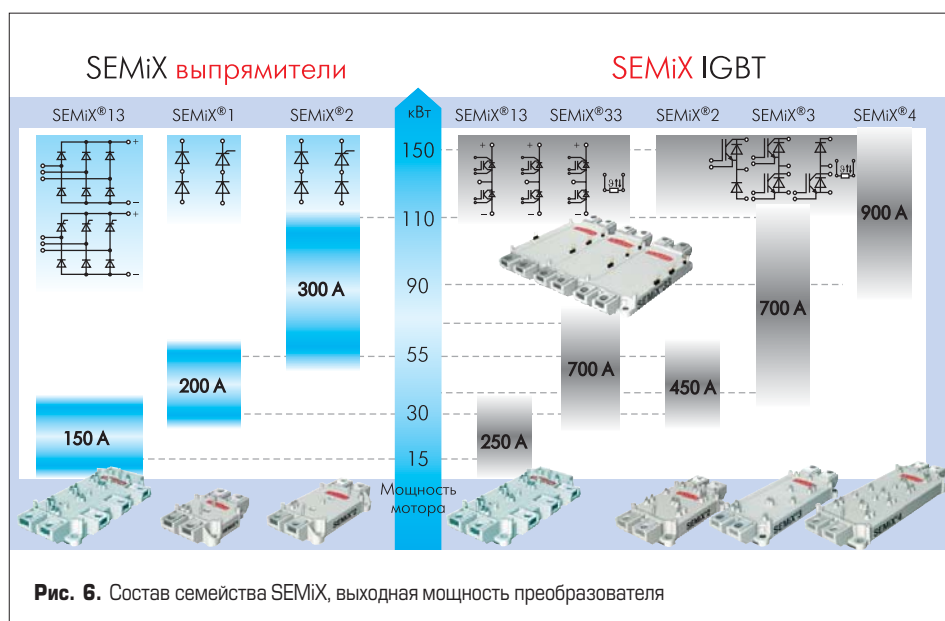


Рис. 6. Состав семейства SEMiX, выходная мощность преобразователя

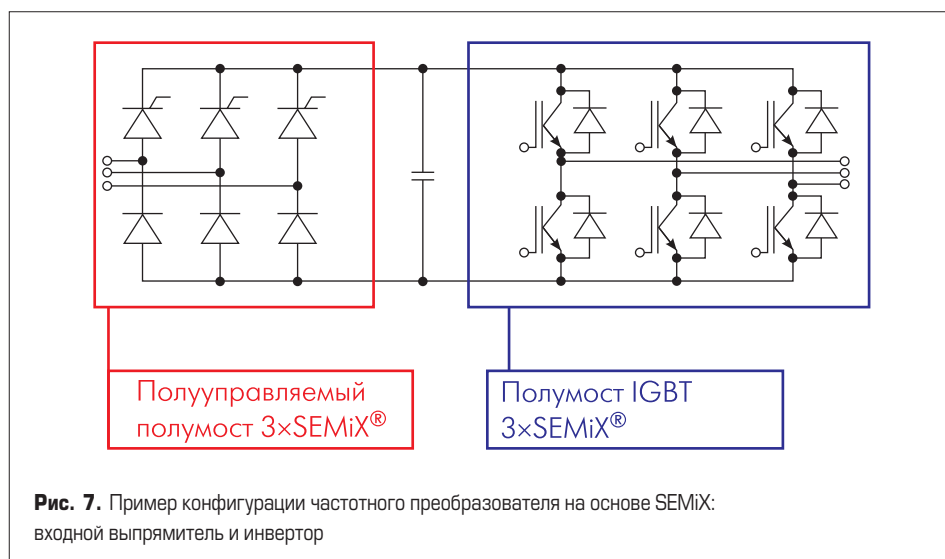


Рис. 7. Пример конфигурации частотного преобразователя на основе SEMiX: входной выпрямитель и инвертор

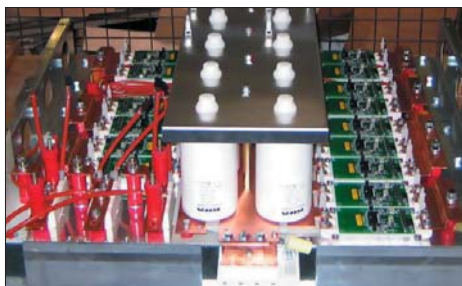


Рис. 8. 4-квадрантный инвертор IGBT

же и то, что для его установки и подключения требуется 9 крепежных элементов (против 15, необходимых в стандартном варианте).

На рис. 7 показан один из возможных вариантов схемы силового каскада частотного преобразователя, состоящего из полупроводящего входного выпрямителя и инвертора IGBT и содержащего 6 полумостовых модулей SEMiX. Именно такая конфигурация вместе со звеном постоянного тока реализована в одноуровневых конструкциях на рис. 2. Входной полупроводящий выпрямитель в конфигурации В6НК или В2НК может быть использован для предварительного заряда конденсаторов DC-шины, ограничения зарядного тока или регулирования напряжения шины.

Более сложная схема 4-квадрантного инвертора, позволяющего осуществлять режим активной рекуперации мощности, приведена

на рис. 8. На фотографии хорошо видно, насколько упрощается конструкция DC-шины и звена постоянного тока при использовании корпусов SEMiX. В данном преобразователе применены полипропиленовые высоковольтные емкости, имеющие гораздо более высокие показатели надежности и устойчивости к переходным перенапряжениям, чем электролитические конденсаторы.

Закключение

Разработка серии диодно-тиристорных мостов в конструктиве SEMiX дает возможность перейти к принципиально новой концепции конструирования силовых импульсных преобразователей, при которой входной выпрямитель и модули IGBT имеют общее звено постоянного тока. Такая конструкция позволяет снизить общие потери преобразователя, упростить топологию соединений и систему охлаждения, снизить общий объем и вес изделия. Благодаря идентичной конструкции и одинаковому способу подключения выпрямителей и IGBT-модулей семейства SEMiX, DC-шина с банком конденсаторов может быть подключена непосредственно к сборке «выпрямитель — инвертор».

Выпуск модулей и выпрямителей SEMiX и разработка малогабаритных преобразователей на их основе являются важной вехой

в стремлении SEMIKRON к снижению потерь, повышению эффективности и надежности преобразовательной техники. Одноуровневая топология соединений позволяет свести к физическому пределу потери проводимости на подводящих шинах и перенапряжения, создаваемые на их распределенных индуктивностях. Компактные конвертеры, построенные на базе компонентов серии SEMiX, отличаются высоким уровнем эффективности, более простой системой охлаждения и при этом меньшей стоимостью.

Модули SEMiX предназначены для применения в приводах и источниках питания мощностью до 150 кВт. Выпрямители SEMiX выпускаются в 6 типах корпусов и в 2 конфигурациях — неуправляемой и полупроводящей, они рассчитаны на ток до 300 А и обратное напряжение до 1800 В.

Литература

1. Grasshoff T., Steger J. New flat SEMiX input rectifiers for a simple converter design». SEMIKRON International GmbH.
2. Колпаков А. «SEMiX — новое поколение низкопрофильных модулей IGBT». Силовая электроника. 2004. № 2.
3. Колпаков А. «SEMiX + SKYPER = адаптивный интеллектуальный модуль IGBT». Силовая электроника. 2005. № 1.