

Силовые полупроводниковые блоки компании ОАО «Электровыпрямитель» для мощных преобразователей электрической энергии

Станислав Толкачев
Владимир Алешин
Вячеслав Мускатиньев
Алексей Сабешкин
Алексей Гурвич
nicpp@elvpr.ru

В публикации представлены основные конструкторские решения и особенности унифицированных силовых сборок, изготавливаемых ОАО «Электровыпрямитель» для комплектации преобразовательной техники.

Введение

При всем многообразии выпускаемых в настоящее время преобразователей в них всегда присутствуют типовые силовые схемы, которые целесообразно использовать как отдельные законченные сборки, рассчитанные, в зависимости от применения, на различные рабочие напряжения и токовые нагрузки.

Построение силовых схем в виде готовых моноблоков позволяет достичь максимально высоких технических и массо-габаритных показателей, а также обеспечить существенное снижение издержек в производстве и обслуживании преобразовательного оборудования.

Элементная база

Базовые силовые сборки состоят из силовых полупроводниковых приборов (СПП) в дискретном или модульном исполнении, теплоотводов с жидкостным и воздушным охлаждением, соединенных по стандартным схемам. Кроме этого, ОАО «Электровыпрямитель» выполняет заказы на законченные блоки любой конфигурации, а также эксклюзивные поставки нестандартных силовых сборок, в том числе с использованием теплоотводов индивидуальной конструкции.

В зависимости от требований потребителей силовые блоки могут поставляться с вентиляторами, снабженными элементами и теплопроводящими (для СПП таблеточной конструкции) изоляторами, датчиками тока и температуры, драйверами управления и т. д. Имеется возможность поставки тиристорных и симисторных сборок с опто-развязкой силовых и управляющих схем, комплектации защитных цепей мощными низкоиндуктивными резисторами и симметричными высокоэффективными ограничи-

телями напряжения собственного изготовления.

В силовых блоках используются полупроводниковые приборы производства ОАО «Электровыпрямитель», в том числе мощные диоды, тиристоры, триаки, IGBT- и SFRD-модули и другие СПП на токи в диапазоне 10–10 000 А, напряжение 200–7000 В.

Для блоков на основе приборов штыревой и таблеточной конструкций производятся воздушные и жидкостные теплоотводы с односторонним и двухсторонним способами охлаждения (более 60 типов), с системами прижима и контроля усилий сжатия, крепежом, шинами и прочими аксессуарами. Максимальная мощность рассеивания, достигнутая на теплоотводах воздушного и жидкостного охлаждения, составляет соответственно 2 и 10 кВт.

Основные конструкции силовых блоков и их назначение

Основные конструктивные исполнения силовых выпрямительных блоков и ключей переменного тока на основе биполярных приборов выполняются по электрическим схемам, приведенным в таблице.

Для рассмотрения особенностей силовых блоков с воздушным охлаждением целесообразно условно их разделить на две группы: блоки на основе силовых беспотенциальных модулей и блоки с применением дискретных СПП.

Базовая конструкция выпрямительных блоков В6U и В6С и ключа переменного тока W3C выполнена на основе одной охлаждающей системы О55 (рис. 1) и трех двухключевых беспотенциальных модулей. Эти блоки рассчитаны на рабочие токи до 400 А и напряжение 400 В.

Конструкция таких блоков может быть реализована с двумя способами охлаждения: воздушное естественное и воздушное принудительное. Длина охладителей варьируется в зависимости от величины рассеиваемой мощности. Блоки оснащены комплектом силовых шин. Для защиты полупроводниковых приборов от перенапряжений применяются RC-цепи, для защиты от перегрева — термореле или термодатчики, установленные на охладители. На основе базовой конструкции системы охлаждения О55 разработаны силовые блоки выпрямителей В6U и В6С (рис. 2а) и ключа переменного тока W3C (рис. 2б), рас-

Таблица. Электрические схемы, по которым выполняются основные конструктивные исполнения силовых выпрямительных блоков и ключей переменного тока на основе биполярных приборов

Исполнение блока	Однофазный	Трёхфазный
Выпрямитель неуправляемый		
Выпрямитель управляемый		
Ключ переменного тока		

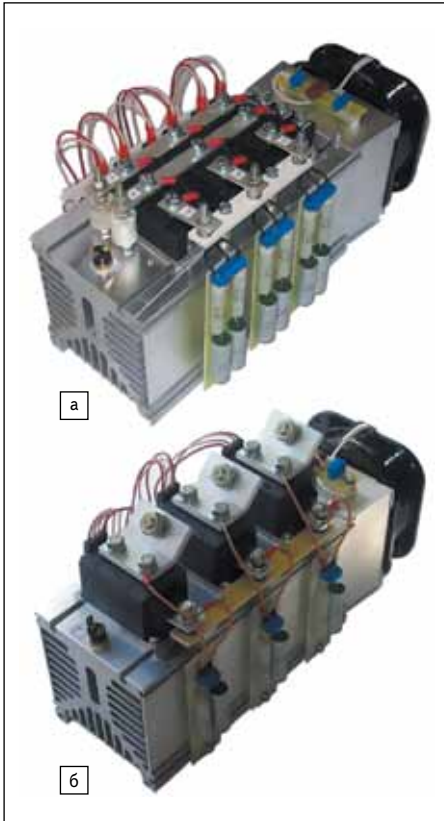


Рис. 1. Базовая конструкция выпрямителя (а) и ключа переменного тока (б) с охлаждающей системой O55

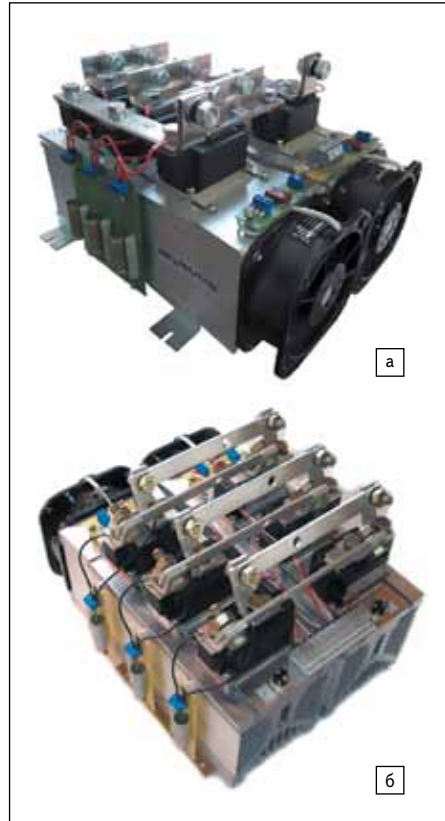


Рис. 2. Силовые блоки выпрямителя (а) и ключа переменного тока (б) с двумя охлаждающими системами O55

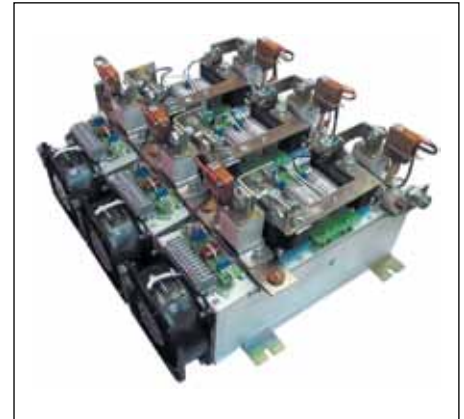


Рис. 3. Силовой блок выпрямителя с тремя охлаждающими системами O55



Рис. 4. Силовой блок выпрямителя с охлаждающей системой O153



Рис. 5. Базовая конструкция силового блока на охлаждающей системе O173

считанные на максимальный ток до 700 А и напряжение 400 В.

Данные блоки выполнены на шести одноключевых беспотенциальных модулях и двух охлаждающих системах O55. Блоки комплектуются защитными RC-цепями и двумя термореле (по одному на каждый охладитель).

Более мощные выпрямительные блоки В6U и В6С собираются на трех охлаждающих системах O55 (рис. 3). Максимальный выпрямленный ток таких блоков достигает 1000 А. Данная система реализована на шести одноключевых беспотенциальных модулях. Вентиляторы блока питаются от однофазного напряжения 220 В через индивидуальную плату питания. Дополнительно блок может комплектоваться плавкими предохранителями для защиты полупроводниковых приборов от короткого замыкания в цепи нагрузки.

Для работы на повышенных мощностях созданы силовые блоки на базе таблеточных силовых полупроводниковых приборов. Трехфазные выпрямители В6U и В6С выполнены на охлаждающей системе O153 (рис. 4). Данная конструкция является базовой для таблеточных приборов с диаметром выпрямительного элемента до 56 мм. Максимальный выпрямленный ток такой конструкции 3000 А. Здесь каждый полупроводниковый прибор имеет индивидуальный двусторонний охладитель типа O153. Данная

конструкция рассчитана на принудительное воздушное охлаждение, которое осуществляется с помощью трех вентиляторов. Канал охлаждения — общий для всех приборов. Силовые шины объединяются по схеме за пределами воздушного канала. В составе блока три термореле, расположенные в наиболее горячих точках охладителя с торца блока. Крепление данной конструкции осуществляется с помощью четырех изоляторов, смонтированных в крайние охладители.

Особенностью конструкции сборок на основе таблеточных СПП является наличие потенциала на охладителях, что предполагает необходимость обеспечения изоляции дополнительными средствами у потребителя.

Для сверхмощных применений таблеточных приборов с диаметрами выпрямительных элементов 63–76 мм разработана базовая конструкция силовых блоков на охлаждающей системе O173 с литыми изоляционными панелями из негорючей пластмассы (рис. 5), рассчитанная на ток до 5000 А. В этой охлаждающей системе применены охладители O173 или O273. В данном блоке для создания необходимого воздушного потока используются два вентилятора на один охладитель. Защитные RC-цепи расположены на боковой стенке блока. Еще одной функциональной особенностью изоляционных панелей является возможность соединения нескольких одиночных блоков между собой. Это по-

зволяет на основе базового блока собирать одно- и трехфазные ключи переменного тока (рис. 6 и 7 соответственно). Изоляционные панели имеют крепежные элементы, с помощью которых осуществляется установка блока внутри шкафа преобразователя.

Кроме этого, для обеспечения максимальных рабочих токов существует ряд конструкций выпрямительных силовых блоков с применением жидкостного охлаждения таблеточных приборов (рис. 8). В данном случае каждый полупроводниковый прибор имеет индивидуальный двусторонний охладитель



Рис. 6. Силовой блок однофазного ключа переменного тока с применением двух охлаждающих систем O273

типа OM107. Полупроводниковые приборы вместе с охладителями и силовыми шинами стянуты попарно на одном основании. Между выходными шинами и элементами стяжки установлены изоляторы. Выходные шины объединяются, образуя трехфазный выпрямитель В6U. Номинальный ток такого выпрямителя при длительной эксплуатации составляет до 15000 А.

Для коммутации и регулирования постоянного тока, а также для построения инверторов предприятие разрабатывает и изготавливает силовые блоки на основе IGBT-модулей. В конструкцию блоков входят охлаждающие устройства типа O56, O57, O58 с каналом охлаждения и центробежными вентиляторами. Длина охладителя варьируется в зависимости от количества модулей и рассеиваемой ими мощности. Силовой блок в соответствии со своим назначением может комплектоваться выпрямительными мостами, блоками конденсаторов, драйверами, защитными снабберными цепями, устройствами защиты от перегрева.

На рис. 9 представлен базовый вариант блока трехфазного инвертора с током фазы 150 А и межфазным напряжением



Рис. 7. Силовой блок трехфазного ключа переменного тока с применением трех охлаждающих систем O273

380 В. Конструктивно он представляет собой охладитель O58 размерами 300×300, принудительно охлаждаемый центробежным вентилятором, с расположенными на нем IGBT-модулями M2TKI-300-12K. Непосредственно к силовым выводам модулей крепятся снабберы. Сбоку от охладителя находится фильтр звена постоянного тока (батарея конденсаторов) с системой плоскопараллельных шин. На них крепятся драйверы ДРИ21-10-17-2ОП1К-1 производства ОАО «Электровыпрямитель». Конструкция инвертора предусматривает подключение к нему входного выпрямителя и чоппера. Если мощности единичного блока недостаточно для выполнения конкретной задачи, то несколько одинаковых блоков можно соединить параллельно, соответствующим образом организовав соединение выходных фазных шин и управление драйверами.

Охлаждение можно реализовать, используя общий вентилятор.

Для формирования коротких импульсов тока большой энергии производятся силовые блоки коммутаторов импульсного применения на основе фототиристоров и реверсивно-включаемых динисторов (рис. 10). Данные конструкции выполняются по принципу классических высоковольтных столбов с последовательным соединением полупроводниковых приборов с дополнительными промежуточными шинами, без охлаждающих систем. В конструкции блоков коммутаторов входят защитные снабберные платы и платы контроля состояния полупроводниковых приборов, установленные на промежуточных шинах. Блоки коммутаторов на основе фототиристоров комплектуются оригинальными драйверами управления. Система стяжки позволяет стягивать в столб до 15 полупроводниковых приборов и обеспечивать равномерное распределение усилия сжатия между ними. С помощью блоков коммутаторов на основе фототиристоров можно формировать импульсы тока амплитудой до 100 кА длительностью 800 мкс, при номинальном рабочем напряжении до 12 кВ. Блоки коммутаторов на базе реверсивно-включаемых динисторов (РВД) формируют импульсы тока амплитудой до 300 кА длительностью 0,5 мс при номинальном рабочем напряжении до 25 кВ.

Перспективы развития

Развитие производства силовых полупроводниковых сборок и блоков достаточно перспективно. Как неуправляемые, полупроводниковые, так и управляемые ключи и выпрямители постоянно находят новые области применения.

Широкое распространение имеют как простые по конструктиву управляемые или неуправляемые силовые выпрямители и ключи на токи 200–400 А, которые используются в легкой и тяжелой промышленности, транс-

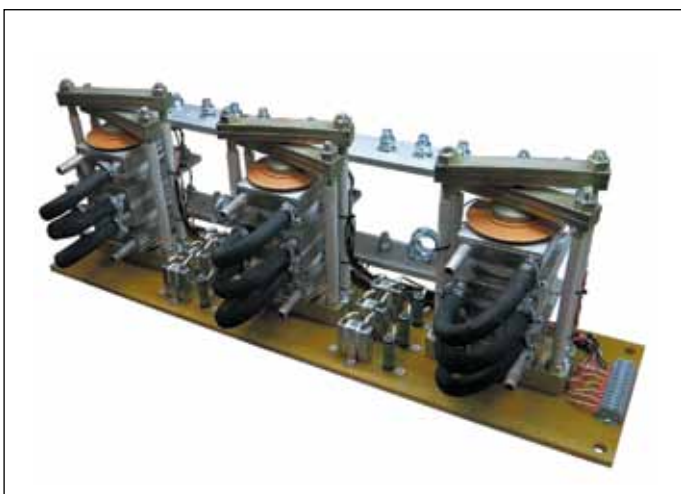


Рис. 8. Силовой блок трехфазного выпрямителя с жидкостным охлаждением

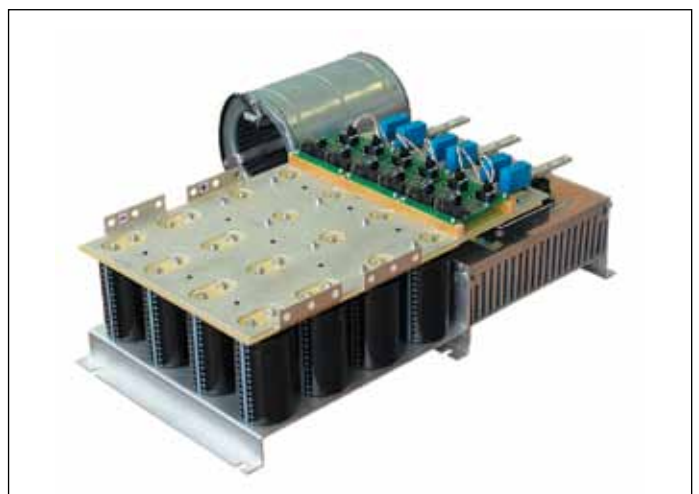


Рис. 9. Силовой блок DC/AC-инвертора на основе IGBT-модулей

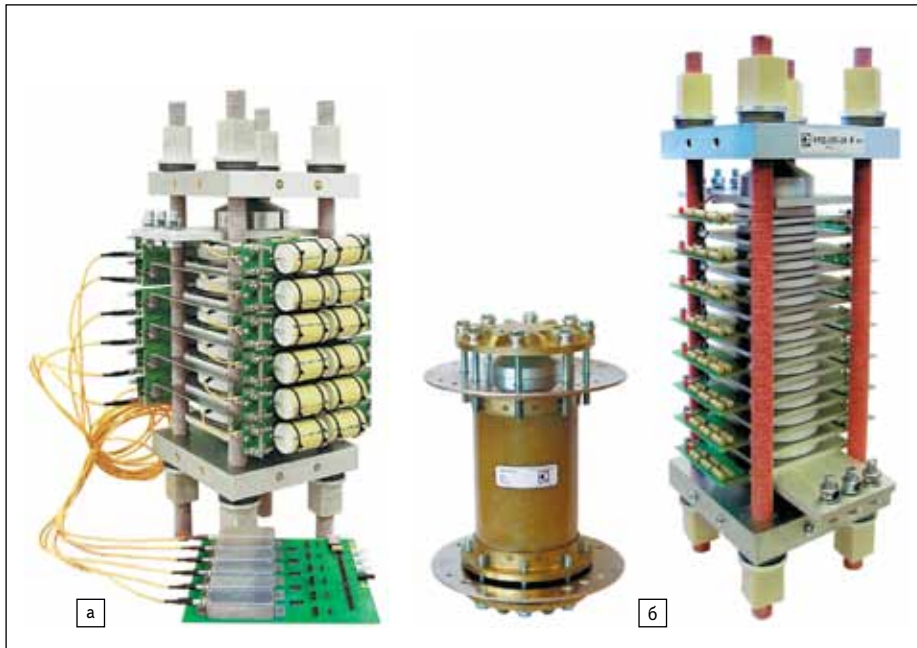


Рис. 10. Импульсные блоки коммутаторов: а) на основе фототристоров; б) на основе РВД

ной мощности, импульсных коммутаторов исследовательского оборудования.

Заключение

ОАО «Электровыпрямитель» предлагает разработчикам устройств силовой электроники широкие возможности по расчету, проектированию и поставкам силовых блоков. Благодаря блочной конструкции основных элементов преобразователей, их унификации и конструктивной гибкости, совместимости с различным дополнительным оборудованием, силовые сборки находят применение в различных областях промышленности, энергетике, научно-исследовательских проектах, в том числе международных. Индивидуальный подход к каждому заказу позволяет разрабатывать устройства, не имеющие аналогов, с функциональными возможностями, необходимыми потребителю. ■

Литература

1. Мартыненко В. А., Чумаков Г. Д. Новые высоко-мощные диоды и тиристоры для промышленности, транспорта и энергетики // Силовая электроника. 2005. № 1.
2. ОАО «Электровыпрямитель». Силовые блоки // НИТ: Разработки в электронике. 2004. № 4.
3. Масленников В. И., Мартыненко В. А., Толкачев С. И., Биктиев Р. Ш., Чумаков Г. Д. Силовые блоки на основе мощных диодов и тиристоров // НИТ: Разработки в электронике. 2006. № 3.
4. Пустыльяк И. А., Толкачев С. И., Мускатиньев В. Г., Мартыненко В. А. Серия силовых интеллектуальных сборок на основе биполярных полупроводниковых приборов // Силовая электроника. 2012. № 3.

порте, для электроприводов, гальванике, в качестве источников питания, так и силовые блоки большой мощности (5–7 МВт). За последние несколько лет резко возросла потребность в мощных импульсных коммутаторах, используемых в научно-исследовательских работах, импульсной технике, в качестве емкостных накопителей энергии, в лазерных технологиях. Кроме этого, одним из наиболее перспективных направлений являются инверторы и ключи постоянного тока на основе IGBT, которые находят применение в промышленных электроприводах

бесперебойного питания, альтернативной энергетике.

За 12 лет работы в области силовых блоков ОАО «Электровыпрямитель» было реализовано более 100 проектов, включающих разработку и изготовление силовых выпрямительных блоков, ключей переменного тока, блоков на транзисторных ключах и специального назначения с различными вариантами охлаждения, в том числе создание блоков коммутаторов для международного проекта ITER, создание силовых выпрямителей плавильных печей, регулируемых компенсаторов реактив-