Продолжение. Начало в №2'2010

Силовые сборки фирмы Infineon

Андрей Копылов

Введение

В настоящее время все большее распространение получает применение мощных силовых IGBT-сборок в диапазоне мощностей от 0,1 до 5 МВт. Движущими силами разработок силовой преобразовательной техники в таком диапазоне мощностей послужило, например, появление децентрализованных решений по энергопреобразованию (источники бесперебойного питания, активные фильтры и т. д.) и по выработке электроэнергии и тепла, связанные, в частности, с активным ростом использования альтернативных источников электроэнергии (ветрогенераторы, солнечные батареи и т. д.). Каждая область применения требует специальной экспертной оценки касательно подходящей конструкции всего силового преобразователя, решений по его управляющей части и источникам электропитания.

Так как в большинстве случаев основные топологии силовых электрических схем преобразования электроэнергии очень похожи, то имеет смысл отделить друг от друга следующие процессы: разработку силовой части преобразователя, его блока управления и проектирование механической конструкции преобразовательной системы в целом. Фирма Infineon предлагает модульный и конструктивногибкий подход к построению мощных силовых IGBT-сборок, который воплощен в семействе ModSTACK. Такой принцип построения IGBT-сборок позволяет заказчикам учесть все особенности при решении задачи в своей конкретной области применения. ModSTACK состоят из большого числа комплектующих, не производимых фирмой Infineon, таких как: датчики температуры; внутренние электрические соединительные провода и силовые шины; внутренние механические крепежные и соединительные детали; интерфейсные платы для согласованного подключения силовой части к блоку управления. Используя эти комплектующие, а также высокотехнологичные и высококачественные силовые IGBT-модули, производимые фирмой Infineon, заказчик может, как из «кубиков», построить собственную силовую IGBT-сборку, отвечающую специальным нуждам и техническим требованиям конкретной области применения.

Данная статья будет посвящена рассказу о мощных силовых IGBT-сборках фирмы Infineon серии ModSTACK. Это большое семейство, следующее за PrimeSTACK. Но, в отличие от предшественников, сборки ModSTACK не являются стандартизированными по используемой элементной базе и служат для работы в диапазоне больших мощностей.

Силовые IGBT–сборки семейства ModSTACK

Модульный принцип построения IGBT-сборок ModSTACK

Во многих областях применения с многокиловаттными значениями мощности используется типовая структура преобразования электроэнергии (рис. 1). Для того чтобы контролировать и согласовывать движение потока энергии в цепях нагрузки постоянного (DC) или переменного (AC) тока, реализуется целая цепочка, состоящая из компонентов, преобразующих соответствующим образом электроэнергию. AC/DC-, DC/AC- и DC/DC-преобразования используются для управления потоком энергии в определенных узлах цепи преобразования энергии. Накопители постоянного тока вставляются в такие места, где требуется осуществлять развязку между частями цепи.

По структурной блок-схеме, показанной на рис. 1а, строятся системы на основе аккумуляторных батарей и топливных элементов для выработки тепла и энергии. А генераторы с регулируемой скоростью вращения в преобразователях ветрогенераторных установок, микротурбины и дизель-генераторы обычно проектируются с использованием структурной блок-схемы преобразования энергии, приведенной на рис. 1б.

В зависимости от конкретного применения может потребоваться однонаправленный или двунаправленный поток энергии в преобразовательной системе. На рис. 2 показано, как на основе полумостовых схем из IGBT-транзисторов и их обратных диодов реализуются DC/DC- и DC/AC-преобразователи с двунаправленным потоком энергии.

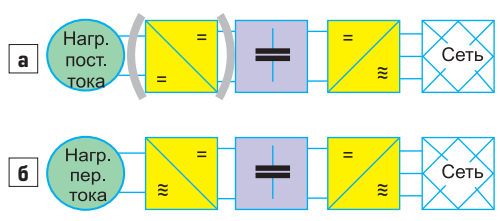

Рис. 1. Основные структурные схемы преобразования электроэнергии: а) для нагрузок и источников постоянного тока; б) для нагрузок и источников переменного тока

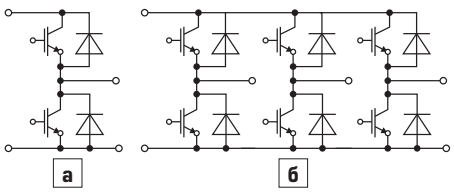

Рис. 2. Основные топологии двунаправленных по потоку мощности преобразователей:
а) для DC/DC-преобразователей;
б) для DC/AC-преобразователей

Упрощенные электрические схемы, показанные на рис. 2, содержат только полупроводниковые элементы. Искусство заключается в том, чтобы формальную силовую схему электронного устройства воплотить в физическую электрическую цепь с реальными электронными компонентами. Каждая силовая шина, медный слой и конденсатор в некоторой степени представляют собой индуктивный элемент. Все силовые IGBT-сборки ModSTACK конструируются с оптимизацией всех паразитных индуктивностей для обеспечения переключения IGBT-транзисторов внутри области безопасной работы.

Благодаря специальному исполнению компонентов силовых IGBT-сборок ModSTACK очень легко получить различные топологии преобразователей, нарастить мощностной диапазон и конструктивно расширить всю преобразовательную систему.

Модульный принцип построения ModSTACK является главной особенностью этих IGBT-сборок, которая делает их привлекательными по стоимости. Идея модульного проектирования касается всех внутренних подсистем: механической конструкции, архитектуры блока управления и схемотехнической реализации силовой цепи. Далее будут объяснены некоторые основы такого подхода.

Силовые цепи большой мощности с традиционными инверторными топологиями (B6U+B6I – 3-фазный выпрямитель + инвертор, B6I+B6I – 3-фазный инвертор + 3-фазный инвертор и т. д.) реализуются на основе высококачественных силовых IGBT-модулей фирмы Infineon. Звенья постоянного тока и их накопители исполняются с применением высоковольтных электролитических конденсаторов, выбранных в соответствии с рабочим коммутационным режимом.

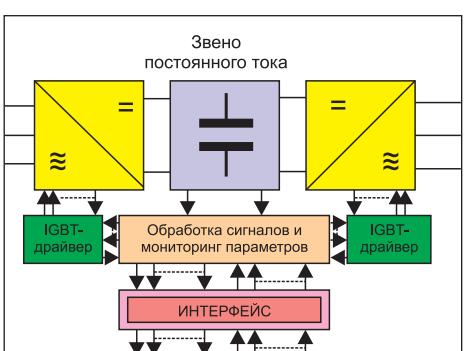

Рис. 3. Типовая функциональная блок-схема компенсационного преобразователя

Таблица. Главные отличия силовых IGBT-сборок ModSTACK в зависимости от класса напряжения

Сетевое напряжение переменного тока, В	≤500	500–690
Рабочее напряжение IGBT-модулей, В	1200	1700
Номинальная частота переключения, кГц	4,5	2,25
Номинальное напряжение в звене постоянного тока, В	≤850	≤1100
Максимальное напряжение в звене постоянного тока (кратковременно, в течение 5 с), В	960	1350
Номинальный выходной переменный ток, В	<500	<400

Благодаря конструктивной гибкости комплектующих при необходимости в блоки управления и мониторинга IGBT-сборок ModSTACK могут быть встроены IGBT-драйвера. Управляющие сигналы и сигналы для осуществления мониторинга параметров (токов, напряжений, возникновение короткого замыкания (КЗ), температуры) поступают для обработки в блок управления. На рис. 3 показан пример функциональной схемы компенсационного преобразователя.

Сочетая различными способами базовые компоненты ModSTACK, можно получить различные топологии силовой IGBT-сборки, вплоть до резонансной силовой схемы преобразования энергии. Для заказчиков такая возможность изменения сборки очень важна, так как они могут использовать уже испытанную, проверенную и спроектированную в соответствии с международными стандартами силовую преобразовательную часть с управляющим интерфейсом. Таким образом, заказчик, имея готовую силовую IGBT-сборку, может сосредоточить свои усилия над решением специфических задач по управлению рабочими процессами и контролю нужных параметров, а также по системному проектированию. Чтобы стоимость силовых IGBT-сборок ModSTACK была ориентирована на заказчика, Infineon классифицирует данные изделия в зависимости от их мощности и напряжения. В таблице перечислены главные отличия между IGBT-сборками для 2 классов напряжений: 1200 и 1700 В. Внутри одного класса имеются почти одинаковые фиксированные механические конструкции. При необходимости можно менять внутренние компоненты на другие электрические номиналы, но с сохранением всех механических интерфейсов.

Придерживаясь таких правил проектирования силовых IGBT-сборок, фирма Infineon организовала производство семейства ModSTACK по модульному принципу построения для многих областей применения, в которых требуется стандартное преобразование энергии.

Механические аспекты построения IGBT-сборок ModSTACK

Модульные IGBT-сборки ModSTACK конструируются так, чтобы их было возможно разместить в промышленных шкафах со стандартизованными типоразмерами (1-й размер — ширина 600 мм, 2-й размер — ширина 800 мм, рис. 4). Это позволяет сэкономить затраты на разработку и производство. Однако внутренние компоненты стандартных IGBT-сборок ModSTACK могут быть легко скомбинированы различными способами для получения решения, специализированного под конкретного заказчика и его задачи. Например, для шкафов с шириной 800 мм возможно спроектировать IGBT-сборки на следующие максимальные технические характеристики: сетевое действующее напряжение 690 В, выходной ток 1500 А при принудительном воздушном охлаждении и 1800 А при водяном охлаждении. Для построения систем с параллельным включением силовых IGBT-сборок ModSTACK предусмотрены необходимые силовые соединительные шины, электрические и механические интерфейсы.

Рис. 4. Силовая IGBT-сборка ModSTACK для размещения в шкафу шириной 800 мм

Рассмотрим технические характеристики основных групп силовых IGBT-сборок ModSTACK по их массогабаритным показателям:

- ModSTACK 1 (MS1):
  - действующее сетевое напряжение переменного тока 690 В или 11000 В постоянного тока;
  - действующее значение выходного переменного тока 275 А;
  - используются IGBT-модули в корпусе 62 мм;
  - охлаждение воздушное или водяное;
  - интерфейс по управлению электрический или оптический;
  - IGBT-драйвера серии SCALE фирмы CT-Concept Technology.

Основная область применения — 3 фазный инвертор обычного промышленного назначения.

- ModSTACK 2 (MS2):
  - действующее сетевое напряжение переменного тока 690 В или 11000 В постоянного тока;
  - действующее значение выходного переменного тока 460 А;
  - используются IGBT-модули большой мощности (корпус IHM);
  - охлаждение воздушное или водяное;
  - интерфейс по управлению электрический или оптический;
  - IGBT-драйвера серии SCALE фирмы CT-Concept Technology.

Основная область применения — преобразователи для солнечной энергетики на мощности от 80 до 330 кВт.

- ModSTACK 3 (MS3):
  - действующее сетевое напряжение переменного тока 690 В или 11000 В постоянного тока;
  - действующее значение выходного переменного тока 900 А;
  - используются IGBT-модули большой мощности (корпус IHM);
  - охлаждение воздушное или водяное;
  - интерфейс по управлению электрический или оптический;
  - IGBT-драйвера серии SCALE фирмы CT-Concept Technology.

Основная область применения — преобразователи для солнечной энергетики на мощности 80–330 кВт, преобразователи для ветроэнергетики на мощности 250–800 кВт.

- ModSTACK 4 (MS4):
  - действующее сетевое напряжение переменного тока 690 В или 11000 В постоянного тока;
  - действующее значение выходного переменного тока 1200 А;
  - используются IGBT-модули большой мощности (корпус IHM);
  - охлаждение воздушное или водяное;
  - интерфейс по управлению электрический или оптический;
  - IGBT-драйвера серии SCALE фирмы CT-Concept Technology.

Основная область применения — электроприводы большой мощности.

Маркировка IGBT-сборок ModSTACK

IGBT-сборки ModSTACK могут быть заказаны в определенной конфигурации, которая отражается в их типообозначении. Например, 6MS1200R17KE3-3XX поэлементно расшифровывается следующим образом:

6 — топология силовой цепи (количество силовых транзисторных ключей в цепи, в данном случае 3 верхних и 3 нижних, всего 6 ключей; также могут быть и другие варианты: 2, 4, 12 и т. д.);

MS — обозначение семейства IGBT-сборок ModSTACK;

1200 — номинал по току силовых IGBT-модулей, установленных в силовую сборку;

R — наличие «обратной проводимости», т. е. каждая ветвь с транзисторным ключом имеет антипараллельный диод;

17 — максимальное рабочее напряжение IGBT-сборки, поделенное на 100, в данном случае речь идет о 1700 В;

KE3 — обозначение технологии и поколения IGBT-кристаллов, которые используются в силовых IGBT-модулях, в данном случае это Trench Fieldstop 3-го поколения;

3 — типоразмер корпуса IGBT-сборки: 1 = MS1, 2 = MS2, 3 = MS3, 4 = MS4;

XXX — описание дополнительных опций, например, это может быть количество силовых IGBT-модулей, способ охлаждения, механические размеры и т. д.

Таким образом, типообозначение IGBT-сборки ModSTACK дает представление о ее конфигурации и внутреннем техническом составе.

Модульный блок управления IGBT-сборок ModSTACK

Силовая часть IGBT-сборок ModSTACK обслуживается блоком управления, мониторинга и контроля электрических параметров. Используя соответствующие блоки, можно включить на параллельную работу до 4 сборок ModSTACK. Каждый блок управления содержит IGBT-драйвера, имеет функцию определения КЗ в силовой цепи и целый набор других защитных функций, а также обрабатывает и формирует многочисленные управляющие сигналы:

- напряжение в звене постоянного тока (DC-link);
- выходной ток;
- температура нагрева радиатора;
- температура нагрева IGBT-кристаллов (рассчитывается);
- перенапряжение в звене постоянного тока;
- перегрузка по току;
- перегрев;
- вспомогательные напряжения.

Вышеперечисленные управляющие сигналы снимаются с внутренней платы управления IGBT-сборки (рис. 5).

При превышении предельных значений уставок защит для силовой цепи IGBT-сборки по соответствующему сигналу ошибки происходит отключение блока силовой части IGBT-сборки. Для ускорения срабатывания защиты по перегреву специальным образом, посредством аналоговой цепи, дополнительно вычисляется температура нагрева IGBT-кристаллов. При таком расчете принимаются во внимание измеренные значения температуры нагрева радиатора, выходного тока, напряжения в звене постоянного тока и частоты переключения силовых IGBT-транзисторов. Для аналоговой вычислительной цепи задается целый ряд параметров: удельные потери мощности в проводящем состоянии и при переключении IGBT-транзисторов, а также эквивалентное тепловое сопротивление системы охлаждения.

Параллельное включение силовых IGBT-сборок ModSTACK требует наличия в их блоках управления дополнительных плат управления и контроля для разделения управляющих сигналов и сбора сигналов от датчиков измерения и мониторинга определенных электрических параметров. Что касается температуры нагрева самих блоков управления, то при достижении ее максимального значения сигнал об ошибке формируется и поступает в общую систему управления. Это происходит, если в каком-то из управляющих блоков превышается хотя бы одна из предельных уставок по защитам. Сигнал об ошибке также возникает, если нарушается допуск по несимметрии выходных токов IGBT-сборок.

Напряжение питания постоянного тока для вспомогательных контрольно-измерительных плат лежит в диапазоне 18–30 В. Такое ограничение для всех электрических цепей, включая преобразователи тока и напряжения, обеспечивается DC/DC-преобразователем. Для каждого блока управления необходим максимальный ток 2,5 А при напряжении питания 24 В.

Стандартный интерфейс к общей системе управления представляет собой сложный набор электрических цепей фильтров и заземлений. Организация правильного заземления всегда является проблемой при разработке устройств силовой электроники. Необходимо, чтобы заземление было удовлетворительным и согласованным между всеми взаимосвязанными электрическими цепями. Таким образом достигается минимальный уровень помех в электрических управляющих цепях, приходящих из силовых электрических цепей.

Для увеличения соотношения полезный сигнал/шум IGBT-сборка может быть снабжена оптическим интерфейсом. Он изготавливается на основе фотоприемников и фотопередатчиков со специальными соединительными разъемами для подключения оптоволоконного кабеля. Такой интерфейс позволяет максимально подавлять возникающие помехи и характеризуется малым значением задержки сигнала, высокой надежностью передачи управляющего сигнала и длительным сроком службы в специализированных областях применения.

Для обеспечения уверенности в наличии двунаправленной передачи данных между общей системой управления и подключенными силовыми блоками аппаратно устанавливаются специальные «идентификаторы силовых блоков». Это позволяет напрямую обращаться и производить их диагностику.

Параллельное соединение силовых блоков является специальным предметом обсуждения. Дело в том, что параллельное соедине-

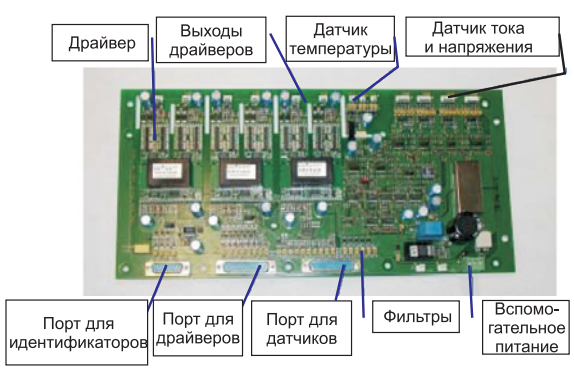

Рис. 5. Внешний вид и структурная схема платы управления IGBT-сборки ModSTACK

ние IGBT-кристаллов или кристаллов диодов уже присутствует в некоторых IGBT-модулях. Отличие вольт-амперных характеристик практически не учитывается при параллельном соединении IGBT-модулей, если кристаллы были взяты и установлены из одной партии кристальных пластин. Различия электрических параметров кристаллов из одной партии кристальных пластин невелики, и в тепловой подсистеме они расположены очень близко друг к другу. Это приводит к незначительному дисбалансу в распределении тока между кристаллами и силовыми IGBT-модулями.

ModSTACK дополнительно оборудуются специальными дросселями для выравнивания токов в параллельно-включенных силовых IGBT-модулях при их коммутации. Хотя номинальные значения индуктивностей небольшие, в общем они помогают равномерно распределить в системе динамические потери мощности.

Заключение

Для поддержки заказчиков в проектировании устройств силовой электроники в диапазоне мощностей от 50 кВА до 2 МВА и выше фирма Infineon разработала эффективный по цене конструкторский набор из электронных блоков для построения силовых IGBT-сборок ModSTACK. Он состоит из полупроводниковых приборов с возможностью слежения за температурой нагрева кристаллов, силовых шин, соединительных разъемов, интерфейсов и контрольно-измерительных компонентов. Наращивание общей мощности преобразовательной системы достигается путем параллельного соединения IGBT-сборок ModSTACK в количестве до 4 шт. Основные области применения IGBT-сборок ModSTACK — системы распределения и передачи электроэнергии, электроприводы большой мощности и системы электропитания.

Литература

1. www.infineon.com.
2. Zacharias P., Schiele J. IGBT ModSTACKs — a Cost Decreasing Approach for Flexible DC/AC and AC/AC Converter Design.