

Окончание. Начало в 2'2010

Силавые сборки фирмы Infineon

Часть 3

Андрей Копылов

andrei.kopylov@symmetron.ru

Введение

Практически ни одна современная область применения силавой электроники в диапазоне мощностей от 100 кВА до нескольких МВА сейчас не может обойтись без использования силавых сборок на основе диодов или тиристоров. Благодаря своей универсальности указанные сборки находят широкое применение в таких промышленных устройствах, как:

- выпрямители статических преобразователей систем электропривода;
- устройства плавного пуска;
- синхронные генераторы для ветроэнергетических турбин;
- установки гальванизации и электроосаждения металлов;
- преобразователи импульсной мощности (системы генерации импульсов напряжения большой амплитуды, импульсов магнитного поля высокой интенсивности, линейные ускорители частиц и т. д.).

В качестве силавых диодных и тиристорных сборок фирма Infineon предлагает широкую номенклатурную группу продукции под названием BipSTACK (силавые биполярные сборки). Это следующее и заключительное большое семейство, которое можно выделить наряду с такими IGBT-сборками, как PrimeSTACK и ModSTACK [1, 2].

Что представляют собой силавые сборки BipSTACK

Название семейства BipSTACK сложилось исторически. *Bip* в понимании фирмы Infineon означает «биполярный». Силавыми биполярными полупроводниковыми приборами (далее силавые п/п приборы) являются силавые диоды и тиристоры (англ. SCR). IGBT-транзисторы, правда, тоже относятся к классу биполярных приборов, но в силу исторически-административных причин их Infineon причисляет к несколько другой группе полупроводниковых приборов. Термин *STACK* в данном случае означает «сборка». Здесь под сборкой понимается объединение различных компонентов с целью подготовки одного или нескольких силавых п/п приборов для какого-то конкретного применения. В результате такого подхода механическая конструкция, например, снабжается системой охлаждения, а силавая цепь — защитой от перенапряжений, возникающих во время коммутации.

Таким образом, конструктивно BipSTACK состоят из силавых сборок на основе диодов или тиристоров, которые оснащены необходимыми дополнительными, но недостаточными для самостоятельной работы силавой сборки компонентами (рис. 1).

Силавая биполярная сборка, приведенная на рис. 1, состоит из 12 силавых дисковых тиристоров, смонтированных в радиаторы охлаждения. Она содержит входную защитную цепь и силавые шины.

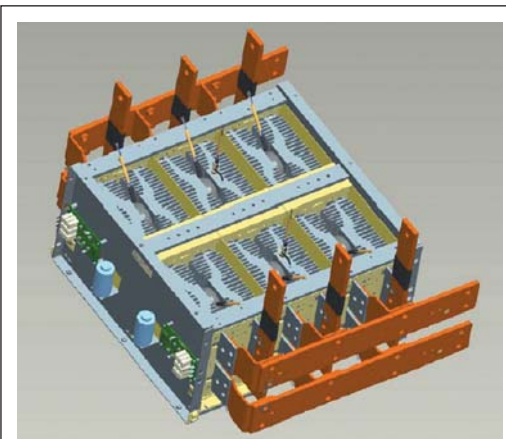


Рис. 1. Пример исполнения биполярной сборки BipSTACK

Внутреннее электрическое соединение в сборке осуществляется по схеме 2 независимых тиристорных выпрямителей (2B6C). Входная защитная электрическая цепь ограничивает возникающие перенапряжения для каждого из управляемых выпрямителей. Силавые медные шины обеспечивают подключение силавой сборки по цепям постоянного и переменного тока со стороны устройства заказчика.

Основные технические характеристики силавых биполярных сборок BipSTACK

Каждой сборке BipSTACK присваивается определенное стандартизованное типобозначение, которое никак не связано с ее рабочими условиями и отражает только компоновку силавой сборки с точки зрения элементов, входящих в нее. Данное типобозначение можно найти в технической спецификации на силавую сборку или на табличке с указанием ее заводской марки, при этом оно носит исключительно информативный характер. Посмотрим на примере 12 T1329N22 K008 B XXX, какие данные может содержать в себе стандартизованное типобозначение силавых биполярных сборок BipSTACK:

- 12 — количество силавых п/п приборов (ключей);
- T1329N22 — тип силавого п/п прибора;
- K008 — тип радиатора (здесь K0.08F);
- B — топология силавой электрической цепи:
 - B — B6C/B6U;
 - W — W3C/W1C;
 - A — (B6C)A(B6C);
 - V — блок (не силавая сборка, т. е. просто силавой п/п прибор, установленный на радиатор);
- 00 — опция для стандартной сборки;
- B01 — защита от перенапряжений по входу (тип SEB);
- B02 — наличие снабберной цепи для ограничения перенапряжений;

- B03 — снабберная цепь плюс предохранители для каждого п/п прибора;
- B04 — снабберная цепь плюс предохранители на каждую ветвь электрической цепи;
- B05 — SEB-защита плюс предохранители для каждого п/п прибора;
- B06 — SEB-защита плюс предохранители на каждую ветвь электрической цепи;
- X — дополнительные элементы для нестандартных сборок.

Также каждой силовой сборке VipSTACK назначается наименование для ее продажи заказчиком. Это наименование очень похоже на стандартизованный тип, но не содержит данных, детализирующих технические параметры.

Наиболее важные электрические характеристики силовых сборок VipSTACK, которые перечисляются в их технических спецификациях:

- Входное напряжение подключения силовой сборки. Это действующее значение входного рабочего напряжения силовой сборки синусоидальной формы. Допускается, что со стороны сети данное значение может быть превышено на 10% в течение длительного времени, в то время как номинальный ток силовой сборки не должен превышать его номинального значения.

- Напряжение постоянного тока. Это среднее значение выходного напряжения постоянного тока силовой сборки, в которой реализован полностью управляемый выпрямитель, получаемое при соответствующих значениях входного напряжения, номинального постоянного тока и полного угла управления для открытого состояния п/п ключей.

- Постоянный ток (для силовых сборок выпрямителей). Максимальное среднее значение тока сборки в проводящем состоянии силовых п/п приборов. Данное значение рассчитывается на основе максимальных средних значений тока в проводящем состоянии самих п/п приборов и тока, обусловленного силовой цепью. Во избежание перегрева силовой сборки необходимо обеспечивать беспрепятственное прохождение охлаждающего воздуха между входом и выходом системы охлаждения. Максимальное среднее значение тока в проводящем состоянии п/п приборов в полностью управляемых выпрямителях является действительным для рабочих условий сборки, при которых силовые п/п приборы полностью открыты и нагружены на активную нагрузку. Данный постоянный ток может протекать через управляемые выпрямители сколь угодно долго — при условии, что этот ток будет достаточно отфильтрован.

Если в технической спецификации будет идти речь о переменном токе (в случае преобразователей переменного тока), то все вышесказанное про постоянный ток справедливо и для переменного тока за исключением того, что будет приводиться действующее значение тока и ток может протекать при различных углах открывания силовых п/п приборов.

- Допустимый ток нагрузки во время возникновения перегрузок по току. Это такое значение тока, которое не приводит к превышению максимально допустимой температуры нагрева силовых п/п приборов.

- Потери мощности в силовой сборке при номинальных рабочих условиях. При расчете во внимание принимаются только статические потери мощности в проводящем состоянии. Динамические потери не учитываются.

Несколько слов стоит сказать о способах охлаждения силовых биполярных сборок VipSTACK. Для этой цели используются воздушные и водяные радиаторы. В зависимости от рабочих условий сборки VipSTACK выбирается один из типов радиаторов, технические параметры которого находят свое отражение в технической спецификации на сборку. При превышении входных температур воздуха или воды номинальный ток силовой сборки должен быть заново рассчитан, а точнее — пересчитано значение его снижения.

Возможные топологии электрических цепей силовых сборок VipSTACK

Ниже будут описаны наиболее важные топологии силовых электрических цепей, предлагаемые фирмой Infineon в исполнениях силовых биполярных сборок VipSTACK.

В-конфигурация

Электрические цепи конфигурации В (например, B2U, B6U, B6C) являются мостовыми электрическими цепями для выпрямления переменного тока (рис. 2, 3). Такие цепи наиболее часто используются для решения задач в области выпрямления переменного тока, так как они требуют наименьшего преобразования энергии из всех известных разновидностей схем. Поочередно соединяя конфигурации 3-фазных полностью управляемых тиристорных выпрямителей (B6C) или включая их антипараллельно ((B6C)A(B6C)), можно получить инвертор.

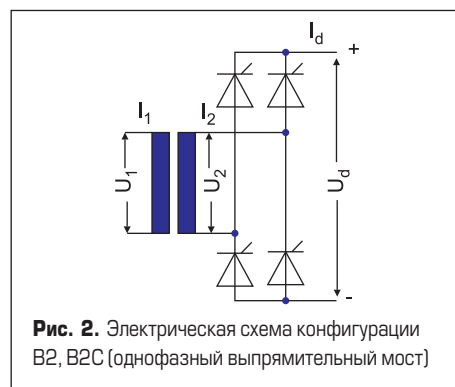


Рис. 2. Электрическая схема конфигурации B2, B2C (однофазный выпрямительный мост)

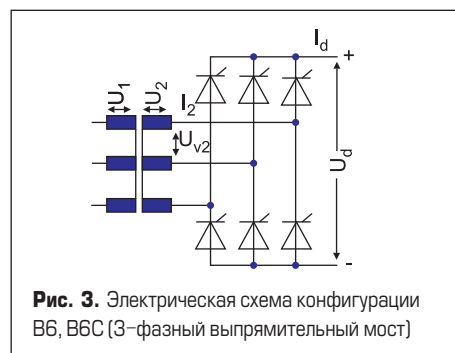


Рис. 3. Электрическая схема конфигурации B6, B6C (3-фазный выпрямительный мост)

М-конфигурация

Цепи конфигурации М (например, M3U, M3C) являются электрическими цепями со средней точкой (рис. 4–8). Они нашли гораздо меньшее применение, чем схемы с В-конфигурацией, и, как правило, используются там, где приходится работать с низкими значениями входного напряжения.

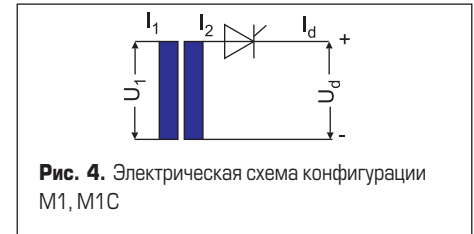


Рис. 4. Электрическая схема конфигурации M1, M1C

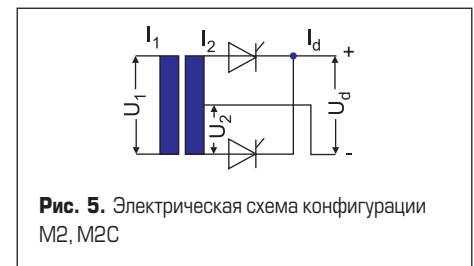


Рис. 5. Электрическая схема конфигурации M2, M2C

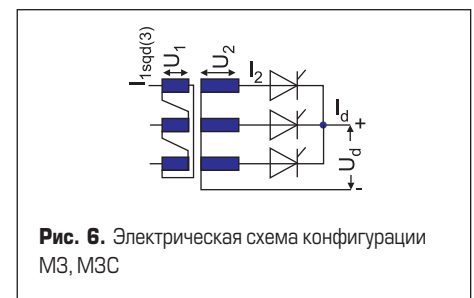


Рис. 6. Электрическая схема конфигурации M3, M3C

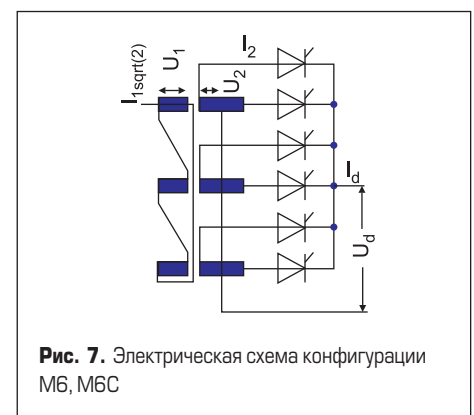


Рис. 7. Электрическая схема конфигурации M6, M6C

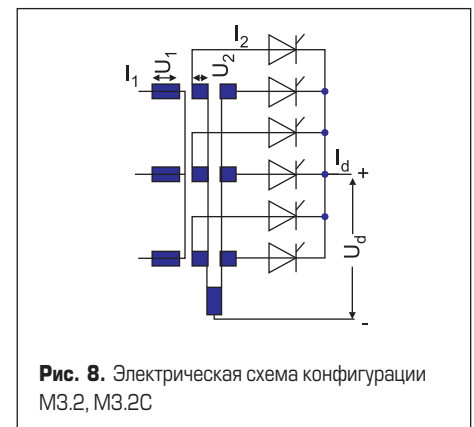


Рис. 8. Электрическая схема конфигурации M3.2, M3.2C

W-конфигурация

Электрические цепи конфигурации W (например, W1C, W3C) используются для построения преобразователей переменного тока, которые позволяют регулировать действующее значение напряжения переменного тока в соответствии с техническими требованиями конкретного применения или кратковременно переходить в режим перегрузки по току (рис. 9). Такие цепи очень широко используются для реализации устройств плавного пуска.

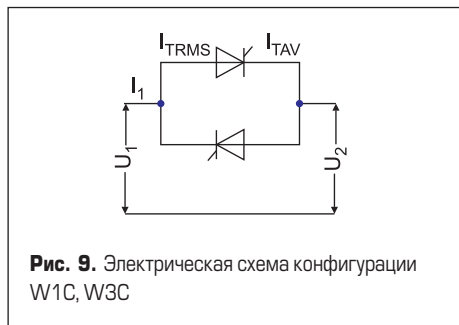


Рис. 9. Электрическая схема конфигурации W1C, W3C

Цепи для обработки импульсной мощности

Данные цепи нельзя как-либо классифицировать. Основное их предназначение — обеспечить потребителя импульсами тока или напряжения высокой мощности, обычно в диапазоне свыше 1 кА и 1 кВ.

Компоненты управления и защиты силовых сборок BipSTACK

Для защиты силовых п/п приборов от перенапряжений служат снабберные цепи. Здесь обычно различают два типа защиты: защита от перенапряжений по входу (SEB) и индивидуальная защита цепей от импульсных перенапряжений (TSE).

Так как защитные цепи от перенапряжений являются дополнительными компонентами, то при заказе сборок необходимо точно указывать их тип, а если защитная цепь уже встроена в стандартную сборку BipSTACK, то ее разновидность можно узнать из типообозначения.

При расчете и проектировании снабберных цепей используются следующие допущения:

- Номинальные рабочие условия соответствуют стандарту DIN 57558.
- Номинальная мощность трансформатора выпрямителя примерно равна мощности подключаемой выпрямительной сборки. Напряжение короткого замыкания трансформатора приблизительно 4%.
- Для регуляторов переменного тока снабберная цепь назначается по отношению к одной нагрузочной цепи с углом сдвига по фазе $\varphi \leq 30^\circ$ ($\cos \varphi \geq 0,866$).

Снабберная индивидуальная защитная цепь от импульсных перенапряжений (TSE)

Параметры данной снабберной цепи зависят от применяемых силовых п/п приборов.

При таком виде защиты от перенапряжений каждый силовой компонент, входящий в состав сборки BipSTACK, имеет отдельную собственную снабберную цепь. TSE-снаббер представляет собой RC-цепочку, которая включается параллельно силовому п/п прибору (рис. 10). Выбор такой снабберной цепи основывается на электрических параметрах силового компонента, таких как:

- обратное рабочее напряжение V_{RRM} ;
- коммутлируемое напряжение (обычно им является сетевое напряжение);
- заряд обратного восстановления Q_R ;

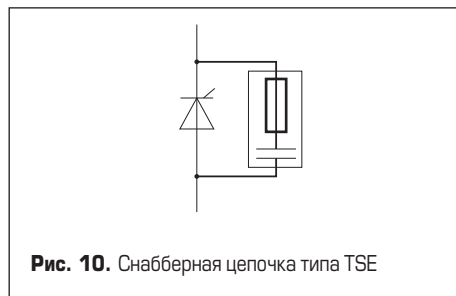


Рис. 10. Снабберная цепочка типа TSE

Защита от перенапряжений по входу (SEB)

Характер данной защитной цепи зависит от типа биполярной сборки. Для одной 3-фазной сборки требуется одна такая снабберная цепь. Как и предполагает ее название, в случае применения этой защитной цепи совместно с выпрямителем она подключается к силовым клеммам по стороне переменного тока.

В защитную цепь такого типа входит вспомогательный выпрямитель (B6U), который подключается к 3-фазному входу сборки и заряжает конденсатор (рис. 11). Снабберная цепь включается между основным выпрямителем и сетью и с помощью конденсатора подавляет перенапряжения, возникающие при номинальном режиме работы. Конденсатор, в свою очередь, разряжается посредством резистора, включенного параллельно ему, тем самым обеспечивая готовность к ограничению следующего импульса перенапряжения.

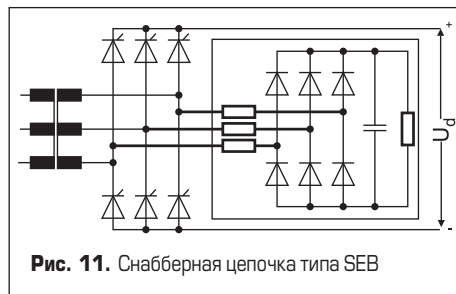


Рис. 11. Снабберная цепочка типа SEB

Температурное реле

Температурное реле в данном случае служит для контроля работы вентилятора. Оно реализуется на основе температурного датчика, который срабатывает при достижении определенной предварительно заданной температуры: замыкает вспомогательную электрическую цепь, если он находился в нормально-разомкнутом состоянии, и раз-

мыкает ее, если он находился в нормально-замкнутом состоянии. Контакты вспомогательной цепи делаются доступными для пользователя, чтобы он мог наблюдать за их состоянием и вовремя предпринять соответствующие действия. В данном случае текущее значение температуры нагрева радиатора силовой сборки отдельно не выводится.

Пороговое значение температуры нагрева для срабатывания реле задается в зависимости от рабочих условий силовой сборки. Температурное реле используется только в силовых биполярных сборках с принудительным воздушным охлаждением, а в случае водяного охлаждения целесообразно следить за потоком протекания воды. Температурное реле служит для предотвращения перегрева силового п/п прибора при его работе на низкие нагрузки без участия вентилятора в охлаждении, например при выходе его из строя. Наблюдая за замыканием или размыканием электрических контактов температурного реле, пользователь получает только лишь уведомление о том, что возросла температура нагрева силового п/п прибора или силовой сборки BipSTACK в целом и что предельные температурные характеристики, регламентируемые технической спецификацией на силовую сборку, будут нарушены.

Температурные датчики реле устанавливаются непосредственно на радиатор или возле силового п/п прибора. Они удовлетворяют требованиям по изоляции и индивидуально испытываются в соответствии с этими требованиями. Температурные реле являются дополнительными комплектующими для стандартных силовых сборок BipSTACK и поэтому должны отдельно и точно оговариваться при их заказе, за исключением тех случаев, когда они уже встроены в силовую биполярную сборку, например при исполнении сборки BipSTACK с принудительным воздушным охлаждением.

Предохранители

Предохранители служат для защиты силовых сборок BipSTACK от коротких замыканий по току. Они рассчитываются и выбираются, исходя из номинальных электрических характеристик силовых п/п приборов.

Следует различать предохранители, которые защищают отдельные компоненты и ветви силовой электрической цепи. Предохранители ветвей электрических цепей защищают, как правило, соответствующую полумостовую схему и включаются непосредственно в участок цепи по переменной стороне. В основном они используются в сборках BipSTACK на основе силовых биполярных модулей. Такие предохранители не защищают силовую сборку от внутренних коротких замыканий.

Наоборот, предохранители для отдельных компонентов подключаются непосредственно к силовому п/п прибору. Они обычно используются с силовыми дисковыми биполярными п/п приборами.

При проектировании предохранительных цепей защиты сборок BipSTACK должны

учитываться следующие наиболее важные критерии:

- напряжение возникновения дуги в предохранителе не должно превышать амплитуду максимальнодопустимого напряжения обратного восстановления силовых п/п приборов;
- при длительной работе сборки через силовые компоненты протекает номинальный ток;
- напряжение короткого замыкания питающей сети или трансформатора $\geq 2\%$;
- поправочные коэффициенты (например, по температуре окружающей среды и т. д.).

Предохранители являются дополнительными комплектующими для стандартных версий силовых сборок BipSTACK, поэтому при заказе они должны оговариваться отдельно, за исключением тех случаев, когда предохранители уже встроены в силовые сборки.

Силовые сборки на основе силовых дисковых биполярных п/п приборов, снабженные предохранителями, как правило, обеспечиваются возможностью контроля за ними путем коммутации специально установленного микропереключателя через механическое устройство контроля.

Импульсные трансформаторы

Импульсные трансформаторы используются в силовых тиристорных сборках. Их основное предназначение — обеспечение гальванической развязки между управляющим выводом силового тиристора и его драйвером.

Импульсные трансформаторы являются дополнительными комплектующими для

силовых сборок BipSTACK, их заказ всегда оговаривается отдельно.

Механическая конструкция силовых биполярных сборок BipSTACK

По механической конструкции силовые сборки BipSTACK условно можно разделить на две большие группы:

- сборки BipSTACK с модульными силовыми п/п приборами, которые используются в области низких токов и напряжений;
- сборки BipSTACK с дисковыми силовыми п/п приборами, которые используются в области низких и высоких напряжений среднего мощностного диапазона, а также в диапазоне очень больших мощностей и областях применения со сверхмощными пределами по току и напряжению, таких как, например, импульсная преобразовательная техника большой мощности.

Внутри этих двух основных групп силовые сборки можно подразделить на сборки с воздушным, водяным и масляным охлаждением. В конечном итоге выбор силового п/п прибора будет определять область применения сборки, а по нему уже, в свою очередь, будет подбираться подходящий радиатор охлаждения. Пример механической конструкции высоковольтной силовой биполярной сборки приведен на рис. 12.

Сборки BipSTACK с модульными силовыми п/п приборами

Модульные силовые п/п приборы имеют корпуса, у которых для электрических соединений предусмотрены силовые контактные клеммы, а для обеспечения надежного теплового контакта с радиатором установлено металлическое основание. Силовые клеммы и основание модуля электрически между собой никак не связаны, следовательно, электрический потенциал радиатора не зависит от потенциала силовых клемм и лежит в пределах допустимого регламента по изоляционным свойствам модуля.

Сборки BipSTACK на основе модульных силовых п/п приборов позиционируются на применение в диапазоне мощности в несколько сотен киловатт. При хорошем охлаждении максимальное действующее значение тока в проводящем состоянии ограничивает скорее не сам полупроводник, а внутренняя конструкция его модульного корпуса. Превышение максимального действующего значения тока в проводящем состоянии, даже при достаточно эффективном охлаждении, приводит к тому, что в модульном п/п приборе выделяется настолько большая мощность потерь, что тепло может передаваться обратно в п/п кристалл прибора.

Сборки BipSTACK с дисковыми силовыми п/п приборами

Силовые дисковые п/п приборы, в отличие от модульных, имеют двусторонний контакт



Рис. 12. Пример механической конструкции высоковольтной силовой биполярной сборки (30 кВ, 40 кА, длительность рабочего импульса 10 мс) на основе высоковольтных силовых оптотиристоров для преобразователя импульсной мощности

для охлаждения. Такие п/п приборы могут быть установлены в радиатор охлаждения между двумя его половинками. В зависимости от типа радиатора и размера дискового п/п прибора в радиатор охлаждения может быть установлено несколько силовых п/п приборов.

Заключение

В заключение можно отметить, что фирма Infineon предлагает разработчикам устройств силовой электроники широкие возможности в области решения вопросов по расчету и проектированию силовых биполярных сборок. Семейство BipSTACK, несмотря на функциональную простоту, за счет электрической конфигурируемости и конструктивной гибкости практически полностью покрывает все технические потребности, имеющиеся у заказчиков. Для расчета силовых биполярных сборок BipSTACK инженеру необходимо просто заполнить несложный опросный технический лист, предоставляемый фирмой Infineon, и отправить его в адрес фирмы-изготовителя.

Литература

1. Копылов А. Силовые сборки фирмы Infineon. Часть 1 // Силавая электроника. 2010. № 2.
2. Копылов А. Силовые сборки фирмы Infineon. Часть 2 // Силавая электроника. 2010. № 3.
3. www.infineon.com.
4. BipSTACK. Rectifiers and AC-Controllers. Documentation and Operating Instructions. Infineon Technologies AG. March, 2009.