

# СИММЕТРИЧНЫЕ КОМПАНИИ АВВ

# ТИРИСТОРЫ

Многие силовые системы требуют применения встречно-параллельного включения тиристорov. При этом нередко приходится применять несколько антипараллельных тиристорov, каждый со своим монтажным креплением и охладителем. И, конечно, для таких систем проблема уменьшения площади силового устройства весьма актуальна. Она успешно решена компанией ABB Switzerland Ltd., Semiconductors, где в ходе совершенствования мощных тиристорov фазового управления (Phase Controlled Thyristors, PCT) был создан симметричный тиристор (Bi-directional Control Thyristor, BCT). Он представляет собой два встречно-параллельных тиристора, выполненных на одной пластине. Малая площадь прибора – не единственное достоинство BCT. Размещение двух встречно-параллельных тиристорov на одной пластине позволяет использовать более компактные снабберы и схемы управления. Это упрощает силовую систему и удешевляет ее на 30%. В результате разработчики компенсаторов реактивной мощности, статических переключателей, устройств плавного пуска и тяговых электроприводов получили возможность выполнять все более жесткие требования, предъявляемые к габаритам, компоновке, надежности и цене конечного продукта.

А.Чекмарев, И.Корзина  
chekmarev@fmccrustel.ru

## КОНСТРУКЦИЯ СИММЕТРИЧНОГО ТИРИСТОРА

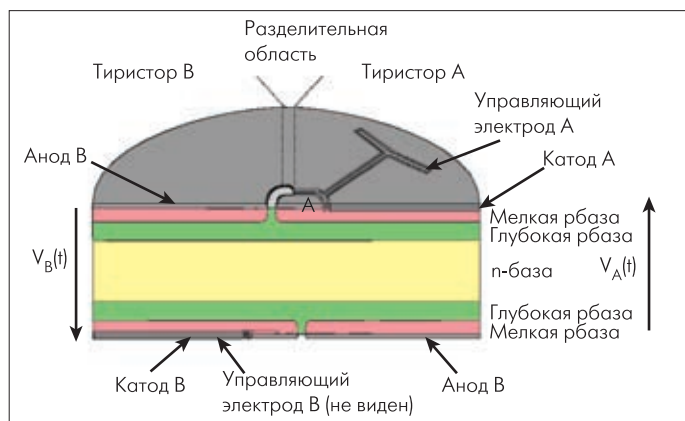
Симметричный тиристор – уникальный полупроводниковый прибор, предоставляющий пользователю возможность применять два встречно-параллельных тиристора, изготовленных на одной кремниевой пластине. Анодные и катодные области тиристорov (обозначаемых А или В) расположены с двух противоположных сторон (рис.1). При диаметре пластины 4" (~100 мм) площадь тиристора составляет ~27 см<sup>2</sup>. Каждый тиристор имеет управляющий электрод, который идентичен управляющему электроду стандартного PCT. Надежность прибора обеспечивается специальной обработкой фаски пластины и технологией плавающего кремния. Оба тиристора в статическом и динамическом режимах функционируют независимо друг от друга. При этом по своим характеристикам каждый тиристор не отличается от единичного PCT на тот же ток.

Сегодня компания ABB Semiconductors выпускает симметричные тиристоры с запирающим напряжением до 6,5 кВ (табл.1).

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ BCT

**Критерии разработки.** При конструировании нового BCT разработчики компании ABB исходили из требования обеспечения таких же статических и динамических характеристик каждой тиристорной структуры, что и у полноценного одночного тиристора. Основная проблема при интеграции двух тиристорov – их взаимное влияние при работе в динамическом режиме. Если расстояние между тиристорами мало, возможно разрушение антипараллельного прибора из-за неуправляемого включения при высокой скорости нарастания напряжения запираения. Для снижения степени взаимного влияния во всем рабочем диапазоне был изготовлен специальный комплект фотошаблонов, с помощью которых обеспечивалось достаточное разделение противоположно проводящих областей, расположенных на одной стороне пластины.

Еще одно условие, которое необходимо было выполнить при разработке симметричного тиристора, – обеспечить идентичность таких характеристик, как распределение заряда при обратном восстановлении и напряжение в открытом состоянии (рис.2).

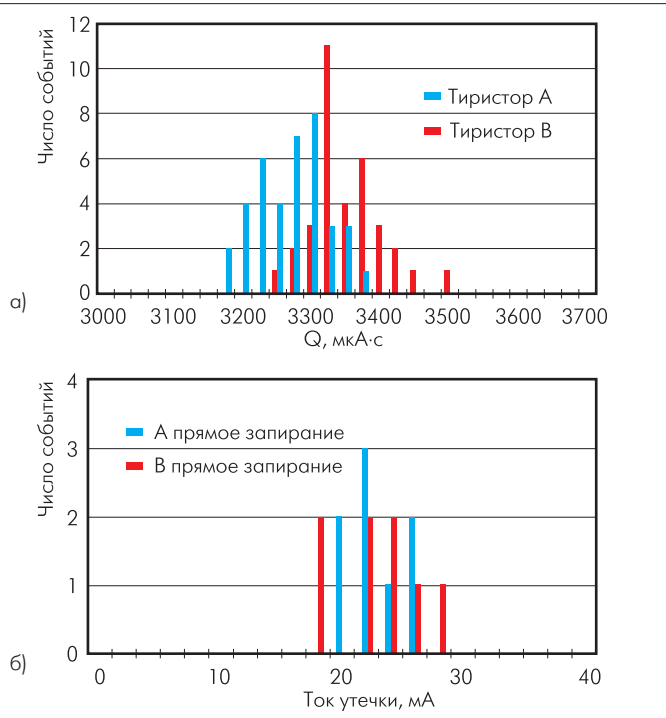


**Рис. 1. Структура симметричного тиристора**

**Особенности симметричного тиристора.** У ВСТ в закрытом состоянии не существует единого обратного напряжения. Подаваемое на ВСТ напряжение любой полярности соответствует напряжению запирающего тиристора А или В. Поэтому для этого прибора отсутствуют жесткие требования к заданию напряжения запирающего, как для обычного РСТ.

Корпуса симметричных тиристоров компании АВВ спроектированы так, чтобы ВСТ соответствовали по габаритам модельному ряду стандартных РСТ. Катод тиристора А расположен рядом с фланцевой стороной корпуса (сторона катода стандартных РСТ). Подсоединение к катоду тиристора В выполняется через ближайшую к бесфланцевой стороне корпуса керамическую стенку (сторона анода стандартных РСТ). Чтобы предотвратить неправильное подсоединение при установке и обслуживании, длина проводов к управляющим электродам тиристоров А и В, а также к катодам пары различна. Фиксированные токоотводы и специально обработанные молибденовые диски позволяют аккуратно и надежно центрировать прибор в корпусе без дополнительных центрирующих колец.

**Работа симметричного тиристора при ударном токе.** Максимально возможное значение ударного тока классического тиристора зависит от полярности его напряжения после броска тока. Худшая ситуация – прямое напряжение. Но в симметричном тиристоре обратное напряжение  $V_R$  тиристора А является прямым напряжением  $V_D$  тиристора В (рис.3б), и воздействие удара тока на тиристоры А и В раз-



**Рис.2. Гистограммы распределения зарядов Q при обратном восстановлении тиристоров А и В (для выборки из 33 приборов) (а) и токов утечки при напряжении 4400 В, температуре 110 °С и блокировке при прямом напряжении (выборка – восемь приборов) (б)**

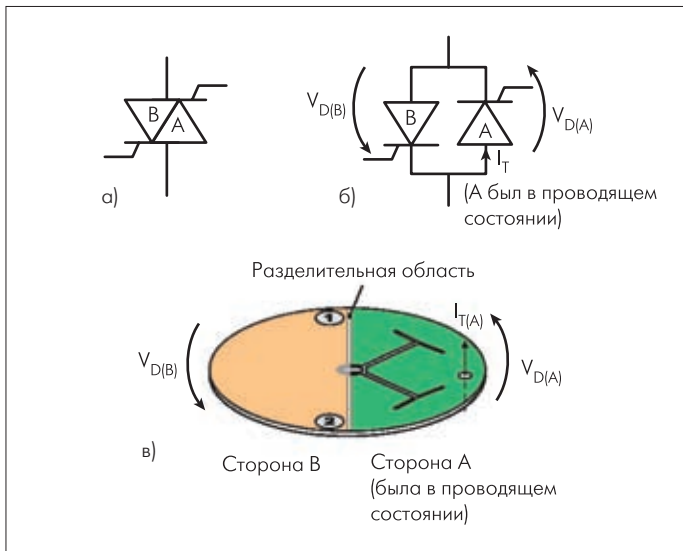
лично. При приложении повторного напряжения на тиристор, который до токового удара был открыт, максимальный бросок тока практически тот же, что и у классического тиристора такого же размера. Однако в статических компенсаторах реактивной мощности зачастую повторно приложенное к классическому тиристору напряжение оказывается противоположным по знаку действующему. При этом краевые области 1 и 2 (рис.3в) симметричного прибора, расположенные вблизи границы раздела, оказываются самыми чувствительными к ударному току. Чтобы избежать повреждения этих чувствительных областей, был спроектирован специальный шаблон, позволяющий сформировать достаточно прочную область раздела.

Поскольку, как указывалось ранее, обратное напряжение, необходимое для выключения одного тиристора, является положительным для другого (рис.4), возможно возникновение уникальной ситуации, когда при эксплуатации практически

**Таблица 1. Характеристики симметричных тиристоров компании АВВ Semiconductors\***

Тип	$V_{SM}$ , В	$V_{RM}$ , В	$I_{TAVM}$ при $T_c=70^\circ\text{C}$ , А	$I_{TSM}$ при 10 мс и $T_{vjм}$ , кА	$V_{TO}$ при $T_{vjм}$ , В	$G_t$ при $T_{vjм}$ , МОм	$T_{vjм}$ , °С	$R_{thJC}$ , К/Вт	$R_{thCH}$ , К/кВт	Усилие зажима кН
5STB 24Q2800	2800	2800	2630	43,0	0,85	0,16	125	10	2	90
5STB 24N2800	2800	2800	2430	43,0	0,85	0,16	125	11,4	2	90
5STB 18N4200	4200	4200	1920	32,0	0,96	0,285	125	11,4	2	90
5STB 17N5200	5200	4400	1800	29,0	1,02	0,32	125	11,4	2	90
5STB 13N6500	6500	5600	1405	22,0	1,20	0,60	125	11,4	2	90
5STB 25U5200	5200	4400	1980	42,0	1,06	0,22	110	8	1,6	135
5STB 18U6500	6500	5600	1580	30,0	1,20	0,458	110	8	1,6	135

\*Характеристики приведены для одной тиристорной структуры.



**Рис.3. Принципиальная схема ВСТ (а), разделение на два тиристора (б), вид пластины (в). Области 1 и 2 наиболее чувствительны к воздействию ударного тока (при повторном приложении обратного напряжения) и к параметру  $t_q$**

достигается предельное значение времени восстановления  $t_q$ . В результате также возможно повреждение участков 1 и 2 и их околосоединительных областей. Поэтому при разработке комплекта фотошаблонов особое внимание уделялось задаче обеспечения должного значения  $t_q$  для обоих независимых тиристоров.

### РУКОВОДСТВО ДЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Основные параметры симметричных тиристоров практически те же, что и у РСТ. Хотя существуют некоторые исключения, связанные с их особенностями\*.

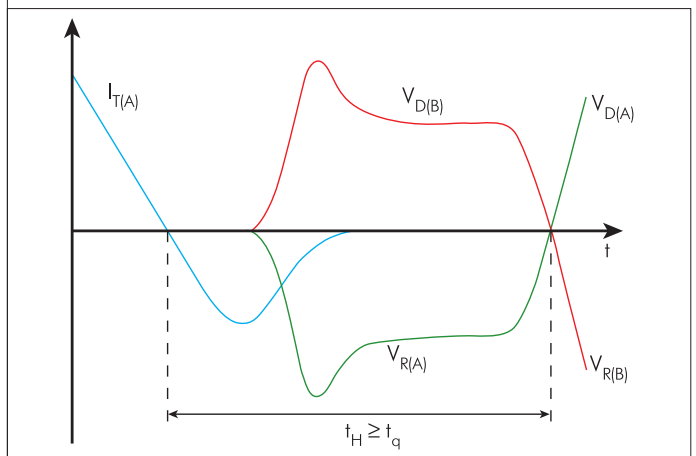
**Механическая конструкция.** Для минимизации проблем материально-технического обеспечения как для изготовителя, так и для заказчика, большинство деталей конструкции ВСТ и РСТ одинаковы. Благодаря этому по габаритам и усилию зажима корпусов симметричные тиристоры соответствуют модельному ряду РСТ компании ABB Semiconductors. Это позволяет пользователю применять одинаковые прижимные конструкции для обоих видов тиристоров. Благодаря этому снижается стоимость преобразовательных систем. Однако между механическими конструкциями тиристоров двух видов есть и существенная разница – у симметричного прибора два управляющих электрода и два дополнительных катодных вывода. Присоединение провода управляющего электрода тиристора А к тиристорам В и наоборот может привести к повреждению одного или нескольких элементов прибора. Поэтому катодный вывод со стороны А имеет соединитель размером 6,3×0,8 мм, а катодный вывод со стороны В – соединитель размером 4,8×0,8 мм (рис.5).

**Электрические параметры** симметричного тиристора в основном аналогичны параметрам стандартного РСТ. Поэтому

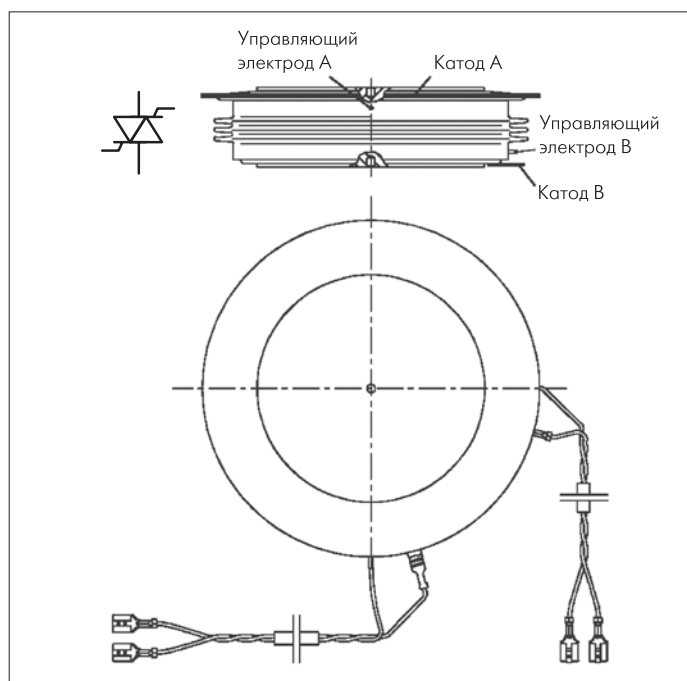
\*Справочник по РСТ компании ABB Semiconductors содержит полный перечень определений и параметров этих приборов. В справочнике также приведены данные по применению РСТ, которые приемлемы и для симметричных приборов.

пользователь приборов обоюбого вида может, например, применять идентичные элементы управления. Однако поскольку конструкции их различаются, различны и определения некоторых параметров. Вследствие отсутствия однозначного обратного режима работы ВСТ различие между прямым и обратным напряжением не имеет смысла: у симметричного прибора такой параметр, как прямое напряжение, в закрытом состоянии существует при любой полярности. ВСТ в состоянии запирающего характеризуются следующими параметрами:

- $V_{RM}$  – повторяющееся импульсное напряжение, которое симметричный тиристор способен выдержать при любой полярности. Задается для одного полупериода импульса сетевой частоты 50/60 Гц. Превышение значения  $V_{RM}$  может привести к неконтролируемому открытию тиристора или к росту его температуры, после чего прибор обычно выходит из строя;
- $I_{RM}$  – максимальный ток утечки при подаче напряжения  $V_{RM}$ . Измеряется за полупериод синусоидального напряжения на частоте 50 Гц при максимальной температуре перехода открытого тиристора  $T_{vjmax}$ . Уменьшение температуры перехода приводит к снижению тока утечки;
- $V_{SM}$  – максимальное ударное импульсное напряжение, которое способен выдерживать тиристор.  $V_{SM}$  характеризует способность прибора выдерживать кратковременные выбросы напряжения в переходном режиме длительностью до 10 мс. Превышение указанного для тиристора значения  $V_{SM}$  может привести к неконтролируемому пробое и выходу прибора из строя. В документах компании ABB для приборов с  $V_{RM} < 4400$  В значение  $V_{SM}$  не задается, так как для них  $V_{RM}$  и  $V_{SM}$  равны во всем диапазоне рабочих температур. Для приборов с  $V_{SM} > 4400$  В, значения  $V_{SM}$  и  $V_{RM}$  одинаковы при температуре до 110°C. К примеру, при  $T_{vj} < 110°C$  тиристор 5STB 13N6500 может работать при  $V_{RM} = V_{SM} = 6500$  В, в то время как при температуре  $T_{vj} = 125°C$   $V_{RM}$  не должно превышать 5600 В;



**Рис.4. Типичные кривые токов и напряжений после выключения тиристора А. Время удержания  $t_H$  должно быть больше или равно времени восстановления  $t_q$  тиристора**



**Рис.5. Внешний вид симметричного тиристора с контактами катодов и управляющих электродов**

- $I_{SM}$  – ток утечки при напряжении  $V_{SM}$ . Измеряется при  $T_{vjmax}$  и  $t_p = 10$  мс. Снижение температуры перехода приводит к уменьшению тока утечки;

В спецификациях параметры  $I_{TSM}$ ,  $Q$ ,  $t_q$ ,  $V_{GD}$ ,  $I_{GD}$ ,  $(di/dt)_{crit}$ ,  $(dv/dt)_{crit}$  и  $t_d$  задаются при значениях прямого напряжения ( $V_D$ ) тиристора, который будет или начнет проводить ток (для  $t_d$ ), или транзистора, который проводил ток (для  $Q$  и  $t_q$ ). Приводится и значение обратного напряжения ( $V_R$ ) тиристора, для которого указывается тот или иной параметр.

Конструкция и технология изготовления тиристорных приборов компании ABB Semiconductors пригодны для создания симметричных приборов с практически одинаковыми характеристиками обоих тиристорных элементов. Значения или зависимости электрических параметров в спецификациях приводятся только для одного тиристора. Комплекта графического или числового представления параметров одного тиристора достаточно для проектирования устройства, в котором будет использован ВСТ. С электротехнической точки зрения полярность включения симметричного тиристора не имеет принципиального значения.

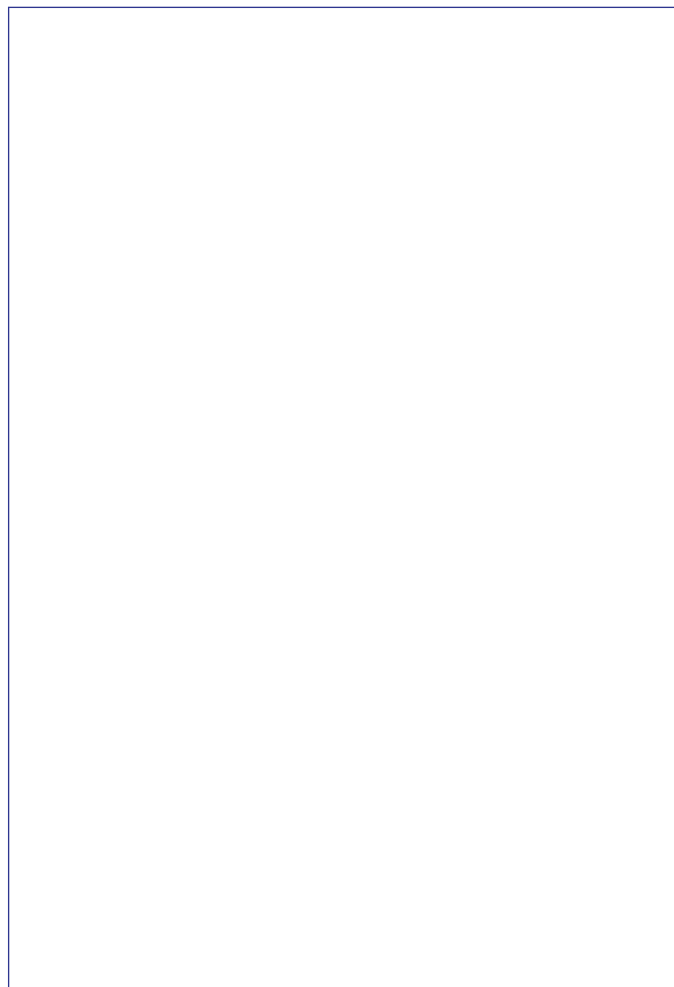
**Тепловые показатели.** Если в системе работают оба тиристора, например в статическом компенсаторе реактивной мощности или в устройстве плавного пуска, значение теплового сопротивления и кривая полного теплового сопротивления также приводятся для одного тиристора. Благодаря радиальному выделению тепла при поочередной работе тиристорных элементов, например в электроприводе двигателя постоянного тока, тепловые потери будут несколько меньше приводимых в спецификации. Это явление изучается и предполагается, что в новых спецификациях уже будут указаны два значения теплового сопротивления. Одно – для одно-

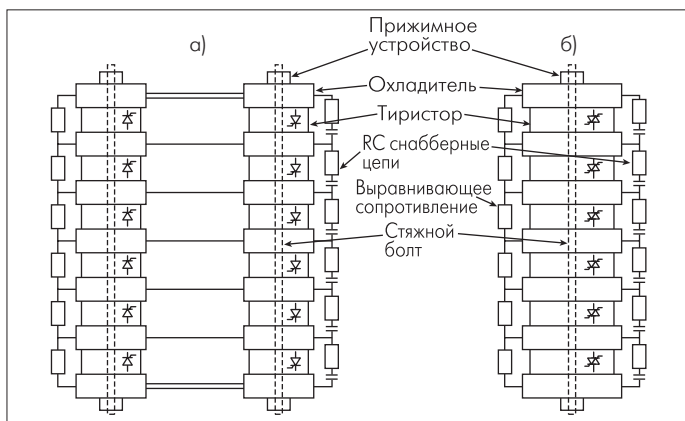
временной работы обоих тиристорных элементов, другое – для работы только одного тиристора.

**Промышленные испытания и квалификация ВСТ.** Принципы и последовательность испытаний ВСТ те же, что и РСТ. Так же, как и у РСТ, измеряются основные электрические параметры негерметизированного прибора на пластине (до и после электронного облучения), а затем характеристики прибора в корпусе (стандартная или специальная процедура окончательной проверки). Главное отличие – дублирование процессов измерения многих параметров – таких как заряд обратного восстановления ( $Q$ ) и значение максимального повторяющегося импульсного напряжения ( $V_{RM}$ ) с целью определения их значений для тиристорных элементов А и В.

Чтобы гарантировать и поддерживать долгосрочную стабильность по напряжению, в конце испытательного цикла восемь приборов из тестируемой партии в течение 24 ч проходят испытания при  $V_{DC A,B} = 2/3 V_{RM}$  ( $V_{DC A,B}$  – прямое постоянное напряжение на тиристорном элементе А или В,  $V_{RM}$  – максимальное прямое повторяющееся напряжение). Критерий отбраковки – отклонение значения тока утечки в пределах  $\leq 0,2$  мА.

В ходе квалификационных испытаний симметричного тиристора проводится дополнительная проверка отсутствия нежелательного взаимодействия двух независимых встречно-параллельных тиристорных элементов, расположенных на одной





**Рис. 6 .Сравнение тиристорных сборок для СКРМ на основе РСТ (а) и ВСТ (б)**

пластине. Это так называемый тест "взаимного влияния". Проверка эффекта взаимного влияния занимает значительную часть времени проведения квалификационных тестов.

По результатам квалификационных испытаний проверяются приводимые в спецификации на прибор данные, его качество и надежность. При этом большинство показателей качества симметричного тиристора те же, что у классического РСТ. Симметричные тиристоры, как и все силовые полупроводниковые приборы компании АВВ, внедряются в производство и выпускаются на рынок только после прохождения всех тестов.

Что дает разработчикам разнообразных систем замена обычных РСТ симметричными тиристорами?

**Системы статической компенсации реактивной мощности (СКРМ).** Реактивная мощность, потребляемая асинхронными двигателями или дугowymi печами, должна компенсироваться с тем, чтобы коэффициент мощности линии передачи был близок к единице, а ее КПД – высоким. Одно из средств решения этой задачи – статический компенсатор реактивной мощности. В состав СКРМ входят конденсаторы, катушки индуктивности и тиристорные сборки (стеки). Последние состоят из последовательно соединенных тиристоров, параллельно к которым обычно подключают дополнительные снабберные элементы. Эти элементы служат для уменьшения градиента напряжения при выключении тиристора и для равномерного распределения напряжения переходного процесса между тиристорами. В них обычно используются последовательно включенные резистор и конденсатор. Равномерное распределение напряжения между

**Таблица 2. Преимущества замены РСТ симметричными тиристорами**

Применение	Уровень мощности, кВт	Уменьшение габаритов*, %	Сокращение числа деталей*, %
Электропривод постоянного тока	800	30	30
	2000	30	25
Система плавного пуска	250	25	20
	450	30	20
СКРМ	50 МВА	35	35

\*Предполагаемое среднее значение по сравнению с показателем для РСТ.

приборами обеспечивается параллельным подключением к каждому тиристорному дополнительным резисторам.

Так как стандартные тиристоры, входящие в стек, могут проводить ток только в одном направлении, в системе необходимо использовать два параллельно включенных стека. Каждому из них нужны как механические элементы (охлаждатели, изоляторы, прижимные устройства и т.п.), так и электрические компоненты (рис.6). При использовании ВСТ вместо обычных РСТ требуется только один стек, и в зависимости от системного решения, число электрических и механических компонентов уменьшается на 10–30%. В результате снижается стоимость и уменьшаются габариты изделия, а следовательно, значительно повышается конкурентоспособность СКРМ.

Аналогичные результаты – уменьшение вдвое числа тиристоров, а следовательно, и числа механических и электрических компонентов, стоимости и габаритов изделия – достигнуты при замене РСТ в электроприводах, системах плавного пуска и др. (табл.2).

**ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА ЗАКАЗЧИКА**

Для большинства применений информации, содержащейся в спецификациях компании ABB Semiconductors, достаточно для проектирования мощных и конкурентоспособных электротехнических систем. Однако при разработке новых технологий и концепций систем часто требуются специфические данные и соотношения, которых нет в справочнике. Более того, заказчику может понадобиться помощь и поддержка при определении наиболее эффективного метода использования и управления полупроводниковым прибором в проектируемом устройстве. У компании ABB Semiconductors богатый опыт в оказании технической поддержки клиентам. Возможен расчет потерь мощности, температуры при переходных процессах или условий возбуждения управляющего электрода. Компания располагает мощными и универсальными средствами моделирования поведения прибора в оборудовании заказчика, а также средствами специального тестирования полупроводниковых приборов с учетом их будущего применения. Получить требуемую информацию и поддержку разработчики могут у ближайшего дистрибьютора компании ABB Semiconductors. В России – у компании ЦПМК РУСТЭЛ ([www.fmccrustel.ru](http://www.fmccrustel.ru)).

Статья подготовлена по материалам и с согласия компании ABB Switzerland Ltd Semiconductors.

**ЛИТЕРАТУРА**

**Baklund B., Boeris J-O., Thomas K et al.** ABB Semiconductors AG. Product Information, 1999.  
**Carroll E., Linder S., Blidberg I.** High power semiconductors in the World of Energy Management. PCIM magazine, 12–2003.  
 Short form catalogue. Edition 2007. ABB Switzerland Ltd Semiconductors, 2007.