

ЗАПИРАЕМЫЕ ТИРИСТОРЫ

Вячеслав Смердов, к.т.н, доцент филиала МЭИ, г. Смоленск
Максим Ковнерев, студент филиала МЭИ, г. Смоленск

В статье приводятся сведения о структурах и технологии производства запираемых тиристорov: GTO, GST, IGCT и MCT, выпускаемых ведущими зарубежными производителями электронных компонентов. Подробно описываются их достоинства и недостатки, дается сравнительный анализ, показываються основные области применения.

В настоящее время основными ключевыми элементами, используемыми в силовой электронике в области коммутируемых токов свыше 100 А являются однооперационные тиристоры, запираемые тиристоры и силовые модули на основе различных полупроводниковых приборов.

Однооперационные тиристоры (SCR – Silicon Controlled Rectifier) обладают такими достоинствами как: низкое падение напряжения на приборе в открытом состоянии, высокая допустимая плотность тока, высокое коммутируемое напряжение, стойкость к перегрузкам по току, высокая надежность, наивысшие значения показателей «коммутируемая мощность/площадь кристалла» и «коммутируемая мощность/цена». Однако относительно низкое быстродействие, большие коммутационные потери и ограниченная управляемость – невоз-

можность выключения по управляющему электроду резко сужают области их применения. В настоящее время они в основном используются в сверхмощных преобразователях с естественной коммутацией в высоковольтных линиях передачи постоянного тока, в компенсаторах реактивной мощности и выпрямителях для химической промышленности (нанесение гальванических покрытий) и металлургии.

Силовые модули различаются по типу используемых полупроводниковых приборов (MOSFET, IGBT и др.), а также их функциональному назначению. Большое распространение получили модули на основе биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT – Insulated Gate Bipolar Transistor). IGBT объединили положительные качества как биполярных (малое падение напряжения в открытом состоянии, высокие

коммутируемые напряжения), так и МДП-транзисторов (малая мощность управления, высокие скорости коммутации). Сейчас IGBT способны обеспечить коммутацию токов свыше 2000 А и напряжений до 6,5 кВ при этом время переключения приборов лежит в диапазоне 50...1000 нс. Это позволяет строить высоковольтные силовые преобразователи, работающие на достаточно больших частотах с хорошими энергетическими показателями.

Запираемые тиристоры (GTO, GST и др.) успешно конкурируют с IGBT приборами в преобразовательных устройствах с мощностью свыше 1 МВт и напряжением более 3,5 кВ благодаря малым падениям напряжения в открытом состоянии и приемлемой скорости переключения. На рисунке 1 показаны диапазоны коммутируемых напряжений, токов и рабочих частот в которых целесообразно использовать запираемые тиристоры.

ТИРИСТОРЫ GTO (GATE TURN OFF)

Запираемый тиристор GTO – это полностью управляемый полупроводниковый прибор, на основе которого лежит классическая четырехслойная структура (см. рис. 2а). Его включение и выключение осуществляется подачей положительных и отрицательных импульсов тока на электрод управления.

Условие выключения тиристора по цепи управления находится из баланса зарядов в тонкой базе p_2 , которые определяются токами, переносящими эти заряды. Число дырок и электронов, поступающих в эту базу в единицу времени, очевидно, определяются токами:

$$I_{pp2} = \alpha_p \times I_a + I_{кор} - I_y$$

$$I_{np2} = (1 - \alpha_n) I_k - I_{кон}$$

Для выключения тиристора необходимо, чтобы $I_{pp2} < I_{np2}$.

Учитывая, что $I_a = I_k + I_y$, т.е. $I_k = I_a - I_y$, получаем условие выключения тиристора:

$$I_y > [(\alpha_n + \alpha_p - 1) \times I_a + I_{ko}] / \alpha_n,$$

где $I_{ko} = I_{кон} + I_{кор}$.

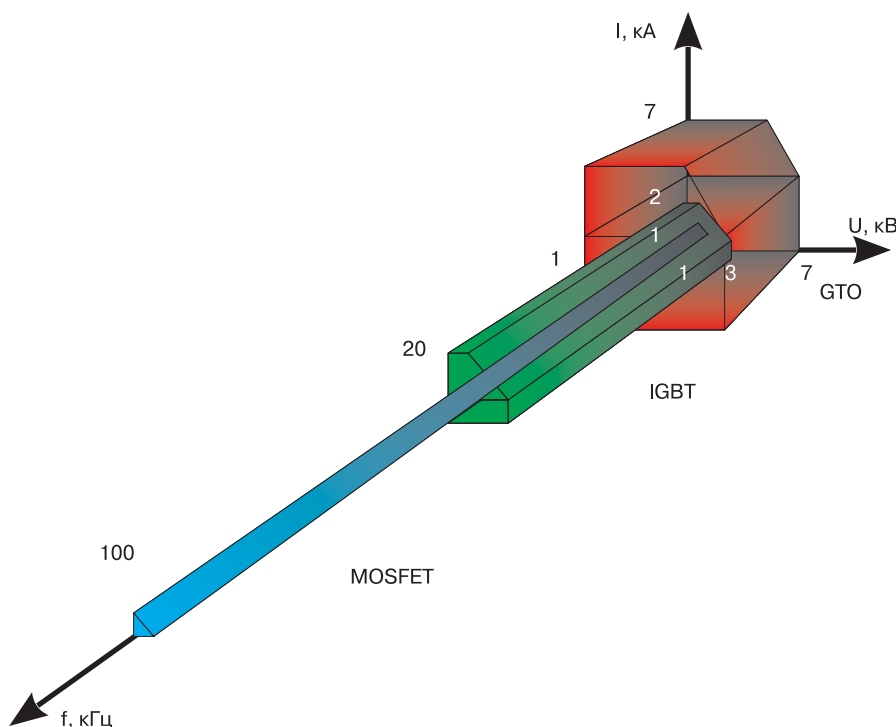


Рис. 1. Возможности применения MOSFET, IGBT и тиристорov GTO

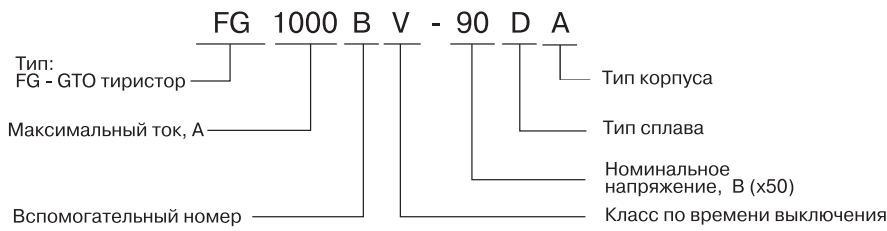


Рис. 6. Маркировка тиристоры GTO

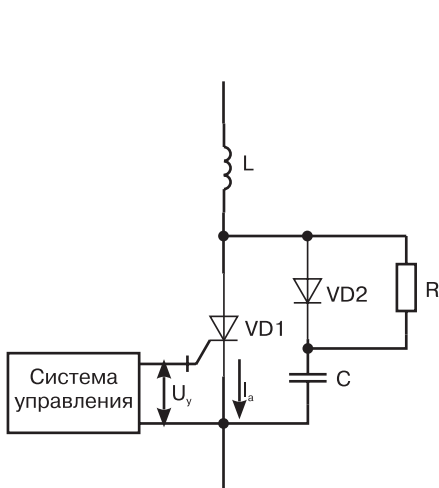


Рис. 7. Схема защитной цепи

Фирма Mitsubishi Electric, одна из крупнейших компаний по производству тиристоры GTO, постоянно расширяет свой ассортимент, повышает надежность и разрабатывает приборы с улучшенными параметрами. Маркировка тиристоры GTO этой компании приведена на рисунке 6.

Некоторые типы тиристоры GTO этой компании приведены в таблице 1.

Использование тиристоры GTO, требует применения специальных защитных цепей, которые ограничивают скорость нарастания прямого тока di/dt при включении прибора и ограничивают скорость нарастания прямого напряжения du/dt при его выключении. Значения du/dt и di/dt для каждого прибора нормированы, их указывают в справочниках и паспортных данных на приборы.

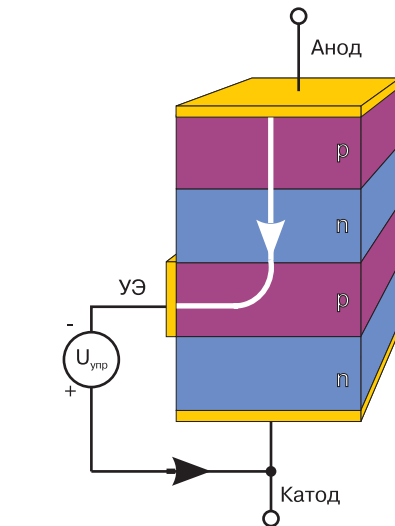


Рис. 8. Распределение токов в структуре тиристора GCT при выключении

Одна из возможных защитных цепей представлена на рисунке 7. Ограничение скорости нарастания анодного тока осуществляет дроссель L, а скорость изменения прямого напряжения определяет величина емкости конденсатора C. Следует отметить, что для запираемых тиристоры с допустимой скоростью изменения анодного тока в несколько сотен ампер на микросекунду функцию защитного дросселя могут выполнять паразитные индуктивности монтажа.

К дополнительным элементам относятся: резистор R, ограничивающий ток разряда конденсатора C при включении тиристора VD1, а также диод VD2, который шунтирует резистор R при выключении тиристора VD1 и заряде конденсатора C.

Основной недостаток GTO заключается в больших потерях мощности в защитных цепях прибора (особенно в сопротивлении R) при его коммутации. Очевидно, что повышение рабочей частоты увеличивает потери, поэтому на практике тиристоры GTO коммутируются с частотой не более 250...300 Гц. Кроме этого, такие цепи увеличивают массогабаритные показатели и стоимость преобразователей, в которых используются тиристоры, они иногда требуют дополнительных охлаждающих устройств, однако являются необходимыми для нормального функционирования GTO тиристоры.

У обыкновенных запираемых тиристоры время нарастания отрицательного управляющего тока, а, следовательно, и время выключения составляет несколько микросекунд. Увеличению скорости изменения запирающего тока препятствуют два фактора: резкое уменьшение коэффициента запираения всей структуры и относительно высокая суммарная паразитная индуктивность в цепи управляющего электрода (100...300 нГн).

Это не позволяет использовать стандартные GTO в схемах последовательного соединения при повышенных выходных напряжениях, так как невозможно обеспечить одновременное и быстрое запираение всех тиристоры. Решение проблемы стало возможным с появлением запираемых тиристоры с «жестким» принципом управления (hard drive).

ТИРИСТОРЫ GCT (GATE COMMUTATED THYRISTOR) И IGCT (INTEGRATED GATE COMMUTATED THYRISTOR)

В середине 90-х годов компаниями «ABB» и «Mitsubishi» был создан новый вид запираемых тиристоры с коммутацией по цепи управления — GCT. GCT разрабатывался как прибор, лишенный недостатков, характерных для тиристоры GTO. Разработка тиристора, не чувствительного к эффекту du/dt , дела-

Таблица 1. GTO тиристоры компании Mitsubishi Electric

Наименование	Средний ток в открытом состоянии, А	Максимальное напряжение, В	Максимальная скорость нарастания тока, А/мкс	Максимальная скорость нарастания напряжения, В/мкс	Падение напряжения во включенном состоянии, В
FG1000BV-90DA	400	4500	1000	1000	4,0
FG2000JV-90DA	600				3,5
FG3000DV-90DA	950	500	4,0		
FG6000AU-120D	1500		6,0		
FG4000CX-90DA	1200		4500		4,0

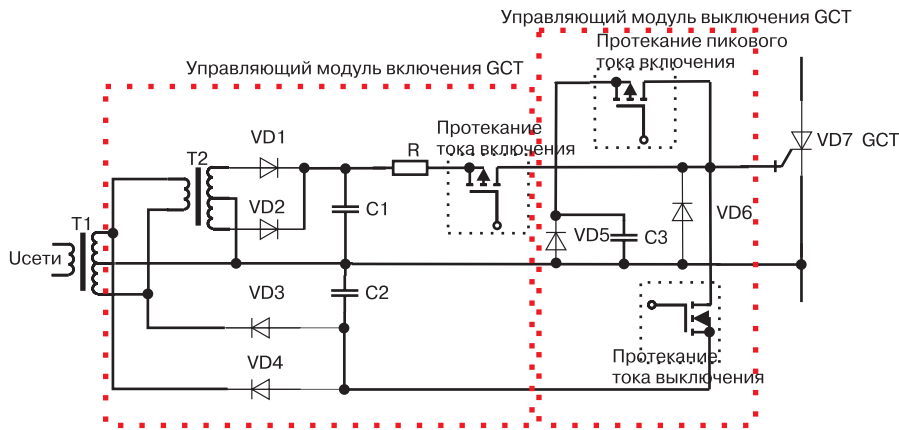


Рис. 9. Функциональная схема системы управления тиристором GCT

ет возможным отказ от снабберной цепи (цепи формирования траектории переключения), при этом можно ограничиться только схемой фиксации уровня.

Процесс включения GCT подобен включению тиристорных ГТО, а выключение происходит по-другому. На рисунке 8 показано распределение токов в структуре тиристора GCT при выключении прибора.

После подачи отрицательного импульса управления $-I_y$, равного по амплитуде величине анодного тока I_a , весь прямой ток, проходящий через прибор, отклоняется в систему управления и достигает катода, минуя переход ПЗ (между областями p и n). Переход ПЗ смещается в обратном направлении, и катодный транзистор p-n-p закрывается. При этом рабочая часть структуры из четырехслойной преобразуется в трехслойную, такую же, как у p-n-p транзистора. Дальнейшее выключение GCT аналогично выключению любого биполярного транзистора в режиме с оборванной базой. При этом не требуется внешнего ограничения скорости нарастания прямого напряжения du/dt и, следовательно, допускается отсутствие защитных цепей.

Основной проблемой при создании схем «жесткого» управления запираемыми тиристорами заключается в необходимости получения запирающих импульсов тока управления с высокой скоростью нарастания на переднем фронте в низковольтной цепи управления. Постоянное напряжение источника в цепи запирающего не может быть выше катодного эмиттерного p-n перехода запираемого тиристора, которое в свою очередь ограничено

технологическими факторами. Это напряжение находится в пределах 12...20 В практически для всех типов запираемых тиристорных устройств, независимо от компании-производителя.

С другой стороны, для осуществления «жесткого» выключения необходимо формировать импульсы тока управления с длительностью переднего фронта порядка одной микросекунды и менее. Это означает необходимость получения в цепи управления скорости нарастания тока управления 1000...4000 А/мкс при амплитуде тока управления, сравнимой с анодным током.

Таким образом, допустимая паразитная индуктивность в цепи управления не должна превышать 1...3 нГн, в то время как только паразитная индуктивность управляющего электрода для прибора «традиционной» таблеточной конструкции составляет 10...40 нГн.

Чтобы обеспечить высокую динамику коммутационных процессов, пришлось изменить конструкцию вывода управляющего электрода и соединение прибора с формирователем импульсов системы управления. Вывод выполнен кольцевым, опоясывающим прибор по окружности. Кольцо проходит сквозь керамический корпус тиристора и контактирует: внутри с ячейками управляющего электрода; снаружи — с пластиной, соединяющей управляющий электрод с формирователем импульсов.

Очевидно, чтобы получить столь высокие уровни токов в цепи электрода управления формирователь системы управления должен иметь быстродействующий ключ с максимально низким сопротивлением в открытом состоянии. Одна из возможных систем управления GCT показана на рисунке 9.



Рис. 10. Запираемые тиристоры с интегрированным блоком управления (IGCT)

Сочетание GCT с блоком формирования импульсов управления в единой конфигурации образует так называемый интегрированный GCT или IGCT. При интегрированном блоке управления катодный ток снижается до того, как анодное напряжение начинает увеличиваться. Это достигается за счет низкой индуктивности цепи управляющего электрода, реализуемой с помощью коаксиального соединения управляющего электрода в сочетании с многослойной платой блока управления (см. рис. 10).

Для максимальной помехоустойчивости и компактности блок управления окружает IGCT, формируя единую конструкцию с охладителем, и содержит только ту часть схемы, которая необходима для управления непосредственно IGCT. Как следствие, уменьшено число элементов управляющего блока, снижены параметры рассеяния тепла, электрических и тепловых перегрузок.

В результате стало возможным достигнуть значения скорости выключения тока 4 кА/мкс. При напряжении управления $U_y = 20$ В, когда катодный ток становится равным нулю, оставшийся анодный ток переходит в блок управления, который имеет в этот момент низкое сопротивление. За счет этого потребление энергии блоком управления минимизируется. Мощность, необходимая для управления, снижена в 5 раз по сравнению со стандартными ГТО.

Благодаря технологии жесткого управления равномерное переключение увеличивает область безопасной работы IGCT до пределов ограниченных лавинным пробоем, т.е. до физических возможностей кремния.

Кроме того, в IGCT имеется интегрированный на одном кристалле с

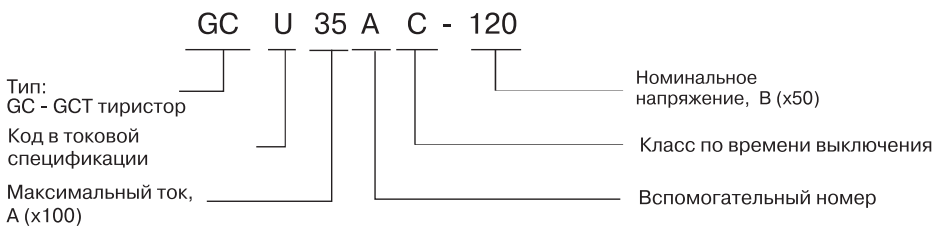


Рис. 11. Маркировка тиристоров GCT

тиристором обратный быстросовстнавливающийся диод. Введением дополнительного буферного слоя (pin-структура) а также «прозрачного» эмиттера (transparent emitter) достигнуто уменьшение на 40% толщины кремния. Это позволило значительно снизить прямое падение напряжения на приборе и уменьшить статические и динамические потери.

Тиристоры GCT выпускают компании «Mitsubishi» и «ABB». Маркировка тиристоров GCT компании «Mitsubishi» приведена на рисунке 11.

Некоторые типы тиристоров GCT, выпускаемые компанией Mitsubishi Electric приведены в таблице 2.

Основной производитель IGCT компания ABB. Некоторые типы тиристоров IGCT, выпускаемые этой компанией, приведены в таблице 3.

Однако, несмотря на все достоинства рассмотренных типов запираемых тиристоров наибольшие перспекти-

вы по созданию высокоэффективных силовоточных и высоковольтных ключей связаны с тиристорами с полевым управлением.

ТИРИСТОРЫ С ПОЛЕВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Одним из видов таких приборов является тиристор с интегрированным управляющим МДП транзистором. Выключение тиристора осуществляется прерыванием катодного тока полевым транзистором (см. рис. 12). По своим электрическим характеристикам коммутирующий МДП транзистор должен обладать способностью пропускать полный ток полупроводникового ключа, однако по рабочему напряжению он может быть низковольтным, а следовательно, его вклад в общее падение напряжения при открытом состоянии прибора может быть сведен к минимуму.

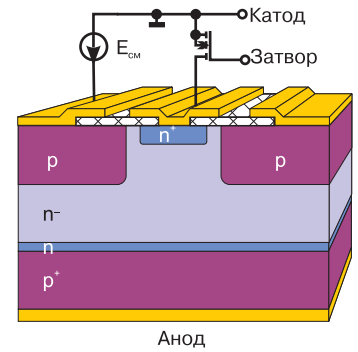


Рис. 12. Схема катодного управления тиристором

Качество современных низковольтных МДП-транзисторов позволяет изготовить достаточно дешевый и малогабаритный катодный прерыватель тока с допустимым напряжением в закрытом состоянии 50...100 В и сопротивлением в открытом состоянии – менее 1 мОм. Это позволяет осуществить «жесткое» управление запираемого тиристора с управляющим выводом «традиционной» конструкции. С другой стороны, схема достаточно проста, что позволяет рассчитывать на ее высокую надежность. Ключи с управлением запираемого тиристора за счет прерывания катодного тока называют ECT – Emitter Commutated Thyristor, а иногда MOS Composite Static Induction Thyristor – комбинированными тиристорами.

Основным достоинством таких ключей является низкая мощность источника питания управляющего драйвера, что облегчает соединение

Таблица 2. GCT тиристоры компании Mitsubishi Electric

Наименование	Средний ток в открытом состоянии, А	Максимальное напряжение, В	Максимальная скорость нарастания тока, А/мкс	Максимальная скорость нарастания напряжения, В/мкс	Падение напряжения во включенном состоянии, В	Рабочая частота, Гц
GCU35AC-120	1200	6000	1000	3000	3,8	1000
GCU40BC-90	1200	4500			4,0	1000
GCU04AA-130	180	6500			7,5	780
GCU08BA-130	330				5,5	
GCU15CA-130	500				6,0	

Таблица 3. IGCT компании ABB

Наименование	Средний ток в открытом состоянии, А	Максимальное напряжение, В	Максимальная скорость нарастания тока, А/мкс	Падение напряжения во включенном состоянии, В
5SHY 35L4510	2700	4500	200	2,7
5SHZ 08F6000	290	6000	1300	8,4
5SHX 19L6005	725	5500	510	3,45
5SHX04D4502	130	4500	130	3,4
5SHX03D6004	110	5500	90	3,95

приборов в последовательные цепи для получения высоковольтных устройств. Имеются сведения о том, что отечественная промышленность освоила выпуск ЕСТ на напряжения до 6000 В, которые соответствуют и даже превышают современный мировой уровень.

Другой разновидностью запираемых тиристоров с полевым управлением являются МСТ – MOS Controlled Thyristor. МСТ представляют собой новый класс силовых полупроводниковых приборов, по мощности и плотности тока соответствующий тиристорным аналогам и управляемый по изолированному поликремниевому затвору.

Существуют различные подклассы этих приборов: р- и п-канальные, с симметричной и ассиметричной блокирующей способностью, одно- или двусторонним затвором управления, с различными способами включения, например с помощью света. Но все эти приборы имеют одно общее свойство: выключение полупроводниковой структуры обеспечивается интегрированным МДП-транзистором, который при включении закорачивает один или оба эмиттерных перехода. Структуры элементарных ячеек п-канального и р-канального МСТ приведены на рисунках 13а и 14а.

Известно, что силовые полупроводниковые приборы выполняются, как правило, на основе п-канальных структур. Такие структуры в качестве основных носителей рабочего тока используют электроны, подвижность которых выше, чем у дырок. При равенстве геометрических размеров р-канальные приборы уступают п-канальным по динамическим характеристикам и потерям.

Однако при разработке тиристоров с полевым управлением интенсивнее развивается технология р-канальных МСТ. Особенностью использования р-канального прибора является то, что данная структура запирается п-канальным МДП-транзистором, который способен обеспечить плотность тока выключения с гораздо

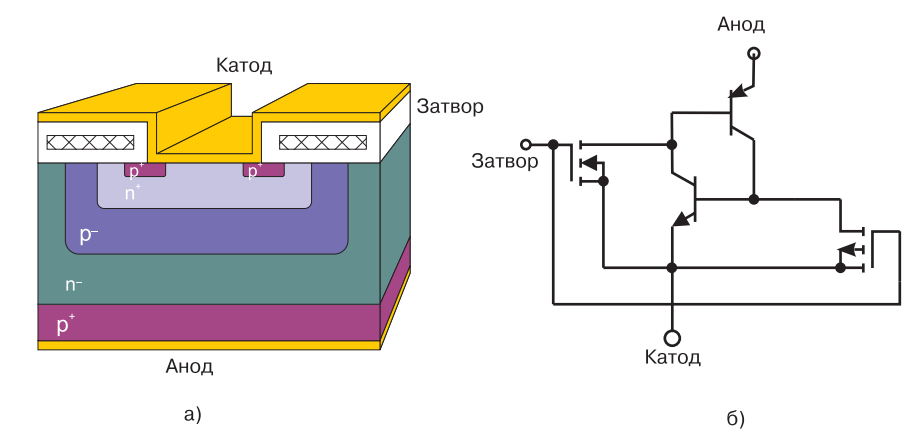


Рис. 13. Поперечное сечение базовой ячейки п-канального МСТ (а) и эквивалентная схема замещения (б)

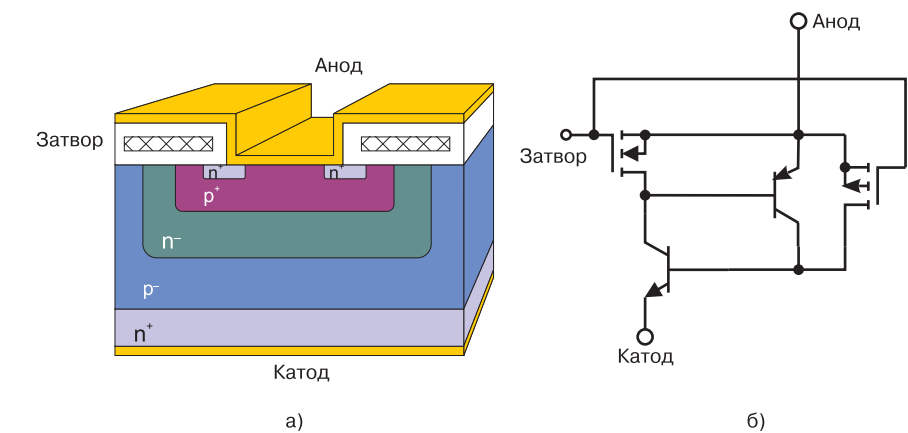


Рис. 14. Поперечное сечение базовой ячейки р-канального МСТ (а) и эквивалентная схема замещения (б)

большим перекрытием, чем р-канальный запирающий МДП-транзистор.

При подаче отрицательного напряжения во входную цепь управляющих транзисторов МСТ происходит включение МДП-транзистора с р-каналом (см. рис. 14б). При этом в р-п-р-п структуре развивается регенеративный процесс, приводящий к полному отпираанию структуры МСТ. Открытое состояние прибора будет сохраняться до тех пор, пока либо не изменится направление анодного тока, либо не произойдет включение запирающего п-канального МДП-транзистора. Его открывание обеспечивается поло-

жительным смещением во входной управляющей цепи. Чем выше это напряжение, тем большую амплитуду анодного тока может выключить управляющий транзистор, осуществляя закорачивание эмиттерного перехода верхнего р-п-р транзистора. При этом запирающий МДП-транзистор должен выдерживать полную амплитуду анодного тока тиристора, хотя и в кратковременном режиме.

Первая разработка МСТ была представлена в 90-е годы компанией Harris (см. рис. 15). Этот прибор был интересен из-за низкого падения прямого напряжения (приблизительно

Таблица 4. МСТ компании Harris

Наименование	Средний ток в открытом состоянии, А	Максимальное напряжение, В	Максимальная скорость нарастания тока, А/мкс	Падение напряжения во включенном состоянии, В	Частота, кГц
MCTG35P60F1	35	600	800	1,4	64
MCT3A65P100F2	65	1000	2000		56
MCTV65P100F1					58
MCT3D65P100F2					56
MCTV75P60E1	75	600			50



Рис. 15. Внешний вид тиристора MCT

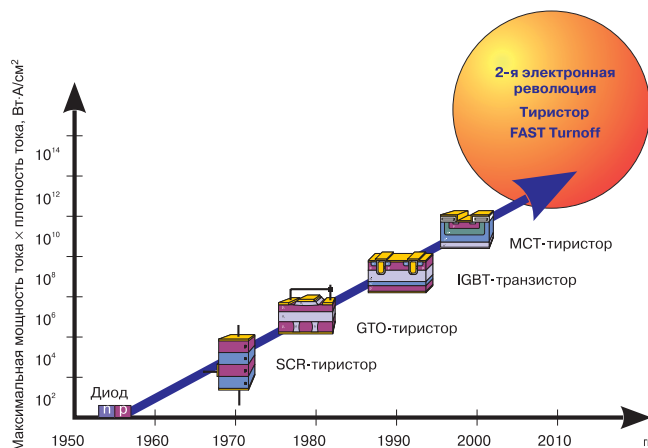


Рис. 16. Эволюция развития силовых коммутирующих приборов

Таблица 5. Характеристики современных мощных силовых ключей

Тип прибора	Достоинства	Недостатки	Области применения
SCR	Очень низкие потери во включенном состоянии. Очень высокая перегрузочная способность. Легко соединяются параллельно и последовательно.	Не способен к принудительному запираению по управляющему электроду. Низкая рабочая частота.	Высоковольтные линии передачи постоянного тока; компенсаторы реактивной мощности; выпрямители для гальваники и металлургии.
GTO	Способность к управляемому запираению. Сравнительно высокая перегрузочная способность.	Большие снабберные цепи. Сложные системы управления.	Электропривод; статические компенсаторы реактивной мощности; индукционный нагрев.
IGCT	Возможность работы без снаббера. Низкие статические и динамические потери. Интегрированный блок управления.	Необходимость разработки специальных корпусов.	Электропривод; мощные источники питания; инверторы напряжения для преобразователей частоты.
MCT	Низкое прямое остаточное падение напряжения. Стойкость к ударным токам и эффекту di/dt. Высокая рабочая частота.	Сложность изготовления. Высокая стоимость.	Электропривод; устройства защиты от импульсных перенапряжений.
IGBT	Простая система управления. Возможность развития «интеллектуальных» приборов» с встроенными функциями диагностики и защиты.	Относительно высокие статические потери во включенном состоянии.	Электропривод; системы бесперебойного питания; ключевые источники питания; активные фильтры.

1 В при плотности тока 100 А/см²) и быстрого включения.

В табл. 4 представлены параметры некоторых MCT тиристорov, выпускаемые этой компанией.

В настоящее время MCT выпускаются и корпорацией SPCO (Silikon

Power Corp.). Например, тиристор SDM170HK имеет средний ток 500 А, максимальное напряжение 4500 В и рабочую частоту более 2 кГц. Высокая скорость переключения и способность выдерживать большие пиковые токи делает его подходящим для использования в качестве устройства защиты от импульсных перенапряжений вызванных, например, ударами молнии.

Причинами задержки массового производства MCT являются:

- затруднение управления процессом включения из-за существования внутренней положительной обратной связи в тиристорном кристалле;
- отсутствие ограничения тока короткого замыкания;
- выход из строя MCT в случае слабого сигнала управления или случайных шумов в управляющей цепи.

В таблице 5 представлены достоинства, недостатки и предпочтительные области применения мощных силовых приборов, а на рисунке 16 показана эволюция их развития.

Более подробную информацию о запираемых тиристорах, можно найти на сайтах компаний производителей этих приборов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дьяконов В.П., Ремнев А.М., Смердов В.Ю. Энциклопедия устройств на полевых транзисторах. – М.: Солон-Р, 2002. 512 с.
2. Воронин П.А. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2001. 384 с.
3. www.abb.com
4. www.mitsubishichips.com
5. www.siliconpower.com

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

УСЛУГИ ПО СБОРКЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ МЕТОДОМ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА

Москва, Нижегородская ул., 31
 тел./факс: (095) 278-9660, 278-9674, 913-8421
 E-mail: sales@melit.com.ru
<http://www.melit.com.ru>

МИКРОЭЛЕКТРОНИКА И ТЕОРИЯ
МЭЛТ

SEMIPACK®6

Тиристоры: 850 А

Диоды: 1200 А

SEMIPACK®0



SEMIPACK®1



SEMIPACK®2



SEMIPACK®3



SEMIPACK®4



SEMIPACK®5



Каталог и CD
высылаются
по заявкам
предприятий

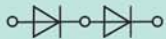


Технические характеристики модулей SEMIPACK® см. на обороте.

Семейство тиристорно-диодных модулей SEMIPACK®

Конфигурация

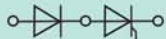
Описание/ типичное применение



SKKD/
Неуправляемые
выпрямители



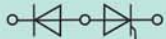
SKKE/
Неуправляемые
выпрямители



SKKH/
Полупроводящие
выпрямители

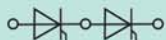


SKKL/
Полупроводящие
выпрямители



SKKNH/
Сварочные
аппараты

Развязка
источников
питания

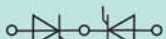


SKKT/
Полностью
управляемые
однофазные
и трехфазные
выпрямители

Устройства
плавного
пуска

Устройства
контроля
освещения и
температуры

Электронные
коммутаторы



SKMT/
Сварочные
аппараты

Развязка
источников
питания



SKET/
Управляемые
выпрямители

Система
предварительного
заряда силовых
конденсаторов

Тип	Максимальное пиковое обратное напряжение V_{RRM}^1 , V_{DRM}	Среднеквадратичное значение прямого тока I_{FRMS}^1 I_{TRMS}^2 А	Среднее значение прямого тока I_{TAV}^1 , I_{FAV}^2 А	Ударный ток I_{TSM}^1 , I_{FSM}^2 А	Рабочая температура T_{vj} °C
SKKD 15	600-1600	24	15	320	-40 ... +125
SKKD 26	1200-1600	60	26	550	-40 ... +125
SKKD 46	400-1800	90	45	700	-40 ... +125
SKKD 81	400-2200	140	80	2000	-40 ... +125
SKKD 100	400-1800	175	100	2500	-40 ... +125
SKKD 162	800-2200	310	160	6000	-40 ... +135
SKKD 260	800-2200	410	260	11000	-40 ... +130
SKKD 380	800-2200	600	380	11000	-40 ... +150
SKKD 700	800-2200	1100	700	25000	-40 ... +150
SKKE 15	600-1600	24	15	320	-40 ... +125
SKKE 81	400-2200	140	80	2000	-40 ... +125
SKKE 162	800-2200	310	160	6000	-40 ... +135
SKKE 600	1200-2200	930	600	22000	-40 ... +150
SKKE 1200	1800-2200	2000	1180	45000	-40 ... +160
SKKE 380	1200-1600	600	380	11000	-40 ... +150
SKMD 100	400-1800	175	100	2500	-40 ... +125
SKKH 15	600-1600	24	15	320	-40 ... +125
SKKH 27	800-1800	50	27	550	-40 ... +125
SKKH 42	800-1800	75	40	1000	-40 ... +125
SKKH 57	800-2200	95	55	1500	-40 ... +125
SKKH 72	800-2200	125	70	1600	-40 ... +125
SKKH 92	800-1800	150	95	2000	-40 ... +125
SKKH 106	800-1800	180	106	2250	-40 ... +130
SKKH 122	800-1800	195	122	3600	-40 ... +125
SKKH 132	800-1800	220	130	4700	-40 ... +125
SKKH 162	800-1800	250	160	5400	-40 ... +125
SKKH 213	800-1800	370	213	8500	-40 ... +130
SKKH 250	800-1800	420	250	9000	-40 ... +130
SKKH 253	800-1800	420	253	9000	-40 ... +130
SKKH 280	2000-2200	440	280	8500	-40 ... +125
SKKH 430	1600-2200	700	430	15000	-40 ... +125
SKKH 500	800-1800	920	500	17000	-40 ... +130
SKKH 132 H4	2000-2200	220	132	4500	-40 ... +125
SKKH 162 H4	2000-2200	250	162	5200	-40 ... +125
SKKH 330	800-1800	510	330	9500	-40 ... +130
SKKL 92	800-1800	150	95	2000	-40 ... +125
SKKT 15	600-1600	24	15	320	-40 ... +125
SKKT 20	800-1600	40	20	320	-40 ... +125
SKKT 27	800-1800	50	27	550	-40 ... +125
SKKT 42	800-1800	75	40	1000	-40 ... +125
SKKT 57	800-2200	95	55	1500	-40 ... +125
SKKT 72	800-2200	125	70	1600	-40 ... +125
SKKT 92	800-1800	150	95	2000	-40 ... +125
SKKT 106	800-1800	180	106	2250	-40 ... +130
SKKT 122	800-1800	195	122	3600	-40 ... +125
SKKT 132	800-1800	220	130	4700	-40 ... +125
SKKT 162	800-1800	250	160	5400	-40 ... +125
SKKT 213	800-1800	370	213	8500	-40 ... +130
SKKT 250	800-1800	420	250	9000	-40 ... +130
SKKT 253	800-1800	420	253	9000	-40 ... +130
SKKT 280	2000-2200	440	280	8500	-40 ... +125
SKKT 330	800-1800	510	330	9500	-40 ... +130
SKKT 430	1600-2200	700	430	15000	-40 ... +125
SKKT 500	800-1800	920	500	17000	-40 ... +130
SKKT 132 H4	2000-2200	220	132	4500	-40 ... +125
SKKT 162 H4	2000-2200	250	162	5200	-40 ... +125
SKKT 106B	800-1800	180	106	2250	-40 ... +130
SKKT 20B	800-1600	40	20	320	-40 ... +125
SKKT 27B	800-1800	50	27	550	-40 ... +125
SKKT 42B	800-1800	75	40	1000	-40 ... +125
SKKT 57B	800-2200	95	55	1500	-40 ... +125
SKKT 72B	800-2200	125	70	1600	-40 ... +125
SKKT 92B	800-1800	150	95	2000	-40 ... +125
SKMT 92	800-1800	150	95	2000	-40 ... +125
SKET 330	800-2200	600	330	9000	-40 ... +130
SKET 400	800-1800	700	400	14000	-40 ... +130
SKET 740	1800-2200	1500	740	38000	-40 ... +125
SKET 800	1400-1800	1500	805	40000	-40 ... +130
SKNH 56	1200-1800	95	50	1500	-40 ... +125
SKNH 91	1200-1800	150	95	2000	-40 ... +125
SKNH 132	800-1800	220	130	4700	-40 ... +125