

УДК 621.314.632

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ЗАПИРАЕМЫХ ТИРИСТОРОВ COMPARATIVE ANALYSIS OF MODERN BLOCKED THYRISTORS

О.В. Сарафанова, А.Г. Сошинов

O.V. Sarafanova, A.G. Soshinov

Камышинский технологический институт (филиал) ВолгГТУ  
Kamyshin Technological Institute (branch) Volgograd State Technical University

*The article presents a comparative analysis of blocked thyristors GTO, GCT, IGCT.*

Создание полупроводниковых приборов для силовой электроники началось в 1953 г. когда стало возможным получение кремния высокой чистоты и формирование кремниевых дисков больших размеров. В 1955 г. был впервые создан полупроводниковый управляемый прибор, имеющий четырёхслойную структуру и получивший название “тиристор”. В 1960 г. в США появились тиристоры, получившие название Gate Turn Off (GTO). В нашей стране они больше известны как запираемые или выключаемые тиристоры. В середине 90-х годов был разработан запираемый тиристор с кольцевым выводом управляющего электрода. Он получил название Gate Commutated Thyristor (GCT) и стал дальнейшим развитием GTO-технологии.

### Тиристоры GTO

Запираемый тиристор - полностью управляемый полупроводниковый прибор, в основе которого классическая четырёхслойная структура. Включают и выключают его подачей положительного и отрицательного импульсов тока на электрод управления. На рис. 1 приведена структурная схема выключаемого тиристора.

Катодный слой  $n$  разбит на несколько сотен элементарных ячеек, равномерно распределённых по площади и соединённых параллельно. Такое исполнение вызвано стремлением обеспечить равномерное снижение тока по всей площади полупроводниковой структуры при выключении прибора.

Базовый слой  $p$ , несмотря на то, что выполнен как единое целое, имеет большое число контактов управляющего электрода (примерно равное числу катодных ячеек), также равномерно распределённых по площади и соединённых параллельно. Базовый слой  $n$  выполнен аналогично соответствующему слою

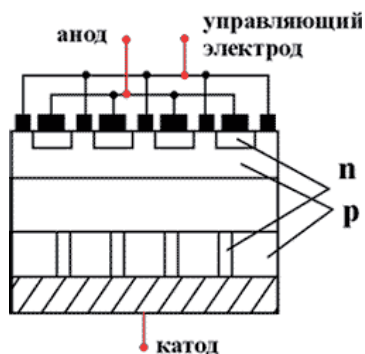


Рис. 1. Структурная схема запираемого тиристора

обычного тиристора.

Анодный слой р имеет шунты (зоны n), соединяющие n-базу с анодным контактом через небольшие распределённые сопротивления. Анодные шунты применяются в тиристорах, не обладающих обратной блокирующей способностью. Они предназначены для уменьшения времени выключения прибора за счёт улучшения условий извлечения зарядов из базовой области n.

#### Тиристоры GCT

В середине 90-х годов фирмами «ABB» и «Mitsubishi» был разработан новый вид тиристоров Gate Commutated Thyristor (GCT). GCT разрабатывался как прибор, лишённый недостатков, характерных для GTO.

Основной недостаток GTO заключается в больших потерях энергии в защитных цепях прибора при его коммутации. Повышение частоты увеличивает потери, поэтому на практике тиристоры GTO коммутируются с частотой не более 250-300 Гц.

Сделав тиристор не чувствительным к эффекту  $du/dt$  (нарастание прямого напряжения при выключении прибора), создали возможность отказаться от снабберной цепи (цепи формирования траектории переключения), что и было реализовано в конструкции GCT.

Основной особенностью тиристоров GCT, по сравнению с приборами GTO, является быстрое выключение, которое достигается как изменением принципа управления, так и совершенствованием конструкции прибора. Быстрое выключение реализуется превращением тиристорной структуры в транзисторную при запираии прибора.

GCT в фазах включения, проводящего и блокирующего состояния управляется также, как и GTO. При выключении управление GCT имеет две особенности:

- ток управления  $I_g$  равен или превосходит анодный ток  $I_a$  (для тиристоров GTO  $I_g$  меньше в 3 - 5 раз);
- управляющий электрод обладает низкой индуктивностью, что позволяет достичь скорости нарастания тока управления  $di_g/dt$ , равной 3000 А/мкс и более (для тиристоров GTO значение  $di_g/dt$  составляет 30-40 А/мкс);
- скорость нарастания тока управления при выключении GCT составляет 3000 А/мкс, GTO - не превышает 40 А/мкс.

Чтобы обеспечить высокую динамику коммутационных процессов, изменили конструкцию вывода управляющего электрода и соединение прибора с формирователем импульсов системы управления.

#### Тиристоры IGCT

Сейчас тиристоры GTO производят несколько крупных фирм Японии и Европы: «Toshiba», «Hitachi», «Mitsubishi», «ABB», «Eupec». Параметры приборов по напряжению UDRM : 2500 В, 4500 В, 6000 В; по току ITGQM (максимальный повторяющийся запираемый ток): 1000 А, 2000 А, 2500 А, 3000 А, 4000 А, 6000 А.

Тиристоры GCT выпускают фирмы «Mitsubishi» и «ABB». Приборы рассчитаны на напряжение UDRM до 4500 В и ток ITGQM до 4000 А.

В настоящее время тиристоры GCT и GTO освоены на российском пред-

приятии ОАО «Электровыпрямитель» (г. Саранск). Выпускаются тиристоры серий ТЗ-243, ТЗ-253, ТЗ-273, ЗТА-173, ЗТА-193, ЗТФ-193 (подобен GCT) и др. с диаметром кремниевой пластины до 125 мм и диапазоном напряжений UDRM 1200 - 6000 В и токов ITGQM 630 - 4000 А.

Следующим крупным достижением в технологии жёстко управляемых GTO (HD GTO) с точки зрения прибора, управления и применения стала идея управляемых приборов базирующихся на новом «запираемом тиристоре с интегрированным блоком управления (драйвером)» (англ. Integrated Gate-Commutated Thyristor (IGCT)). Благодаря технологии жёсткого управления равномерное переключение увеличивает область безопасной работы IGCT до пределов, ограниченных лавинным пробоем, т.е. до физических возможностей кремния. Не требуется никаких защитных цепей от превышения  $du/dt$ . Сочетание с улучшенными показателями потерь мощности позволило найти новые области применения в килогерцовом диапазоне. Мощность, необходимая для управления, снижена в 5 раз по сравнению со стандартными GTO, в основном за счёт прозрачной конструкции анода. При существующей технической возможности последовательного и параллельного соединения приборы IGCT позволяют наращивать уровень мощности до нескольких сотен мегавольт - ампер.

При интегрированном блоке управления катодный ток снижается до того, как анодное напряжение начинает увеличиваться. Это достигается за счёт очень низкой индуктивности цепи управляющего электрода, реализуемой за счёт коаксиального соединения управляющего электрода в сочетании с многослойной платой блока управления. В результате стало возможным достигнуть значения скорости выключаемого тока 4 кА/мкс. При напряжении управления UGK=20 В. когда катодный ток становится равным нулю, оставшийся анодный ток переходит

**Таблица 1. - Сравнительный анализ запираемых тиристоров**

Тип прибора	Преимущества	Недостатки
Традиционный тиристор (SCR)	Самые низкие потери во включённом состоянии. Самая высокая перегрузочная способность. Высокая надёжность. Легко соединяются параллельно и последовательно.	Не способен к принудительному запираению по управляющему электроду. Низкая рабочая частота.
GTO	Способность к управляемому запираению. Сравнительно высокая перегрузочная способность. Возможность последовательного соединения. Рабочие частоты до 250 Гц при напряжении до 4 кВ.	Высокие потери во включённом состоянии. Очень большие потери в системе управления. Сложные системы управления и подачи энергии на потенциал. Большие потери на переключение.
IGCT	Способность к управляемому запираению. Перегрузочная способность та же, что и у GTO. Низкие потери во включённом состоянии на переключение. Рабочая частота - до единиц, кГц. Встроенный блок управления (драйвер). Возможность последовательного соединения.	Не выявлены из-за отсутствия опыта эксплуатации

в блок управления, который имеет в этот момент низкое сопротивление. За счёт этого потребление энергии блоком управления минимизируется.

Работая при «жестком» управлении, тиристор переходит при запирации из р-п-р-п состояния в р-п-р режим за 1 мкс. Выключение происходит полностью в транзисторном режиме, устраняя всякую возможность возникновения триггерного эффекта.

Уменьшение толщины прибора достигается за счёт использования буферного слоя на стороне анода.

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. Поэтому, также существенно снижена стоимость блока управления и интенсивность отказов. IGCT, с его интегрированным управляющим блоком, легко фиксируется в модуле и точно соединяется с источником питания и источником управляющего сигнала через оптоволокно. Путём простого замыкания пружины, благодаря детально разработанной прижимной контактной системе, к IGCT прилагается правильно рассчитанное прижимное усилие, создающее электрический и тепловой контакт. Таким образом, достигается максимальное облегчение сборки и наибольшая надёжность.

Основной производитель IGCT фирма «ABB». Параметры тиристоры по напряжению  $U_{DRM}$ : 4500 В, 6000 В; по току ITGQM: 3000 А, 4000 А.

Из всего вышеперечисленного можно сделать следующий вывод: прибор IGCT сегодня - идеальное решение для применения в области силовой электроники среднего и высокого напряжений.

#### Литература:

1. Силовая электроника: учебник для вузов / Ю.К. Розанов, М.В. Рябчицкий, А.А. Кваснюк. - М.: Издательский дом МЭИ, 2007.-632с.;
- 2.Прянишников В.А. Электроника: полный курс лекций. - 7-е изд. - СПб.: КОРОНА-Век, 2010.-416с.