

УДК 621.382.233

УСТРОЙСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ ЗАПИРАЕМЫХ ТИРИСТОРОВ

Ржеусская А.Д., Корнюшко О.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

Рассмотрим устройство тиристорв ГТО. Запираемый тиристор - полностью управляемый полупроводниковый прибор, в основе которого классическая четырёхслойная структура (Рисунок 1). Включают и выключают его подачей положительного и отрицательного импульсов тока на электрод управления. Различия в структурах приборов заключается в ином расположении горизонтальных и вертикальных слоёв с *n*- и *p*-проводимостями. Наибольшему изменению подверглось устройство катодного слоя *n* (Рисунок 2).



Рисунок 1 – Запираемый тиристор

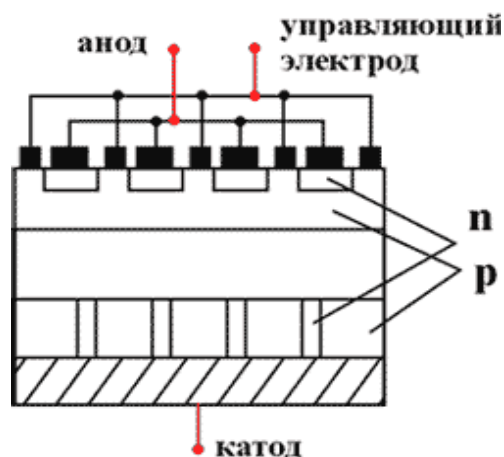


Рисунок 2 – Структура запираемого тиристора

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

Основное исполнение тиристорв ГТО таблеточное с четырёхслойной кремниевой пластиной, зажатой через термокомпенсирующие молибденовые диски между двумя медными основаниями, обладающими повышенной тепло- и электропроводностью. С кремниевой пластиной контактирует управляющий электрод, имеющий вывод в керамическом корпусе. Прибор зажимается контактными поверхностями между двумя половинами охладителей, изолированных друг от друга и имеющих конструкцию, определяемую типом системы охлаждения.

Управление запираемым ГТО тиристором от источника однополярного напряжения: Эта схема используется в преобразователе с внешним возбуждением на ГТО тиристоре мощностью 1200 Вт с частотой 20 кГц (Рисунок 3). При переключении транзистора Т1 из включенного состояния в выключенное и обратно, к управляющему электроду тиристора поступают как положительные (включающие) так и отрицательные (выключающие) импульсы. Амплитуда отрицательного импульса почти вдвое превышает напряжение

источника питания этого драйвера. К сожалению, для наших условий (малая длительность и частота повторения импульсов) КПД этой схемы низок, большую часть времени транзистор Т1 будет открыт рассеивая мощность на резисторе R3. Так же важным параметром для тиристорных ГТО является длительность включающего импульса. При некоторых условиях (слабая нагрузка, высокая температура) ГТО тиристор может испытывать трудности быстрого защёлкивания в состояние насыщения, если запускается очень короткими импульсами, при более длительных импульсах проблема исчезает. Более выгодным решением будет использование двухтактного выходного каскада на комплементарных парах транзисторов с двухполярным источником питания.

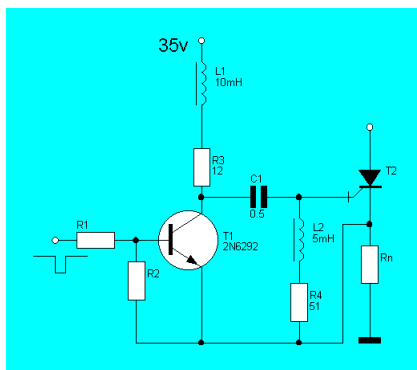


Рисунок 3 – Управление запираемым ГТО тиристором от источника однополярного напряжения

Принцип действия: В цикле работы тиристора ГТО различают четыре фазы: включение, проводящее состояние, выключение и блокирующее состояние.

Фаза 1 - включение. Переход тиристорной структуры из блокирующего состояния в проводящее (включение) возможен только при приложении прямого напряжения между анодом и катодом.

Фаза 2 - проводящее состояние. В режиме протекания прямого тока нет необходимости в токе управления, если ток в цепи анода превышает величину тока удержания.

Фаза 3 - выключение. Для выключения тиристора ГТО при неизменной полярности напряжения к управляющему электроду и катоду по цепи управления прикладывается напряжение отрицательной полярности UGR. Оно вызывает ток выключения, протекание которого ведёт к рассасыванию основных носителей заряда (дырок) в базовом слое p.

Фаза 4 - блокирующее состояние. В режиме блокирующего состояния к управляющему электроду и катоду остаётся приложенным напряжение отрицательной полярности от блока управления.

Всё время выключения и блокирующего состояния система управления формирует импульс отрицательной полярности.

Защитные цепи: Использование тиристорных ГТО, требует применения специальных защитных цепей. Назначение любой защитной цепи - ограничение скорости нарастания одного из двух параметров электрической энергии при коммутации полупроводникового прибора. При этом конденсаторы защитной цепи СВ подключают параллельно защищаемому прибору Т.

Дроссели LE устанавливаются последовательно с прибором Т. Они ограничивают скорость нарастания прямого тока dI/dt при включении тиристора. Значения dU/dt и dI/dt для каждого прибора нормированы, их указывают в справочниках и паспортных данных на приборы. Кроме конденсаторов и дросселей, в защитных цепях используют дополнительные элементы, обеспечивающие разряд и заряд реактивных элементов. К ним относятся: диод ДВ, который шунтирует резистор RB при выключении тиристора Т и заряде конденсатора СВ, резистор RB, ограничивающий ток разряда конденсатора СВ при включении тиристора Т (Рисунок 4).

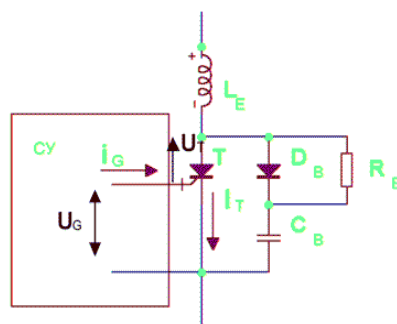


Рисунок 4 – Схема защитной цепи

Рассмотрим тиристоры GCT

В середине 90-х годов фирмами "ABB" и "Mitsubishi" был разработан новый вид тиристоров Gate Commutated Thyristor (GCT). Собственно, GCT является дальнейшим усовершенствованием GTO, или его модернизацией. Однако, принципиально новая конструкция управляющего электрода, а также заметно отличающиеся процессы, происходящие при выключении прибора, делают целесообразным его рассмотрение. GCT разрабатывался как прибор, лишённый недостатков, характерных для GTO, поэтому сначала необходимо остановиться на проблемах, возникающих при работе GTO.

Особенность управления и конструкции: 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.

Распределение токов в структуре тиристора GCT при выключении. На рисунке 5 показано распределение токов в структуре тиристора GCT при выключении прибора. Как указывалось, процесс включения подобен включению тиристоров GTO. Процесс выключения отличен. После подачи отрицательного импульса управления ($-I_g$) равного по амплитуде величине анодного тока (I_a), весь прямой ток, проходящий через прибор, отклоняется в систему управления и достигает катода, минуя переход j_3 (между областями p и n). Переход j_3 смещается в обратном направлении, и катодный транзистор при закрывается. Дальнейшее выключение GCT аналогично выключению любого биполярного транзистора, что не требует внешнего ограничения скорости нарастания прямого напряжения du/dt и, следовательно, допускает отсутствие снабберной цепочки.

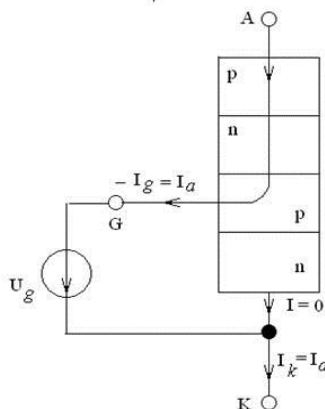


Рисунок 5 – Распределение токов в структуре тиристора GCT при выключении

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 предприятии 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.

Рассмотрим применение запираемых тиристоров. В целом применение тиристоров можно разделить на 4 группы:

- силовые ключи – переключатели переменного напряжения (Рисунок 6). Одним из определяющих моментов, влияющих на востребованность подобных схем, выступает низкая мощность, которая рассеивается тиристором в схемах переключения. В закрытом состоянии мощность практически не рассеивается из-за того, что ток практически равен нулю. А в открытом состоянии рассеиваемая мощность незначительна благодаря небольшим значениям напряжения;

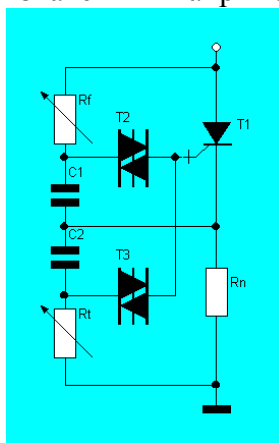


Рисунок 6 – Схема силового ключа

- пороговые устройства – в них задействовано основное свойство тиристора – открываться (пропускать ток) при достижении напряжением определенного значения. Эта группа схем особенно активно используется в фазовых регуляторах мощности и релаксационных генераторах;
- подключение постоянного тока – для прерывания, включения/выключения используются запирающие тиристоры;
- экспериментальные устройства – в них используется свойство тиристора иметь отрицательное сопротивление, пребывая в переходном режиме.

Литература

1. Электронный ресурс: <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/publ/igbt/tiristor.htm>
2. Электронный ресурс: http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/00_06/stat_40.htm
3. Электронный ресурс: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Тиристор>
4. Электронный ресурс: <http://electricalschool.info/main/electroshemy/455-tiristory-princip-dejjstvija.html>
5. Электронный ресурс: http://moskatov.narod.ru/Books/The_electronic_technics/Thyristors.html