

Мощные высоковольтные тиристоры с оптическим управлением

Валентин Мартыненко, Геннадий Чумаков,
Алексей Хапугин (г. Саранск), Андрей Конюхов,
Инна Веселова, Алексей Сурма (Москва)

В статье представлены результаты разработки отечественных фототиристоров, предназначенных для широкого применения.

Мощные высоковольтные фототиристоры, или тиристоры с оптическим управлением (Light-Triggered Thyristors, LTT), являются важнейшими компонентами современной элементной базы преобразовательной техники. Они применяются в высоковольтных преобразовательных устройствах линий электропередач постоянного тока (HVDC), компенсаторах реактивной мощности (SVC), высоковольтных электроприводах (IDCD), мощных им-



Рис. 1. Фототиристор ТФ253-630

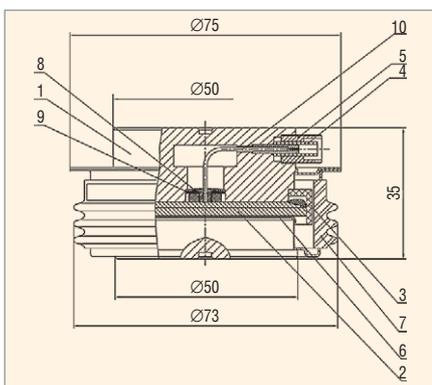


Рис. 2. Конструкция фототиристора

1 – крышка; 2 – элемент полупроводниковый;
3 – кольцо фторопластовое; 4 – втулка фторопластовая; 5 – втулка; 6 – прокладка;
7 – корпус; 8 – шайба пружинная; 9 – шайба фторопластовая; 10 – вывод оптический

пульсных генераторах (PP), различных силовых установках постоянного и переменного тока.

Преимуществами использования тиристоров с прямым управлением импульсами света по оптоволоконному каналу являются:

- точный временной контроль включения группы тиристоров;
- высоковольтная гальваническая развязка цепи управления с силовой цепью;
- отсутствие влияния электромагнитных помех;
- компактное расположение оптоволоконного кабеля в устройстве;
- сокращение количества элементов в схеме преобразователя.

В Российской Федерации мощные высоковольтные фототиристоры ранее не производились. В номенклатуре силовых полупроводниковых приборов тиристоры с оптическим управлением были представлены только оптронными тиристорами и модулями на относительно малые токи и напряжения (100 А/1200 В).

В 2006 г. ОАО «Электровыпрямитель» и ФГУП ВЭИ начали разработку мощных высоковольтных фототи-

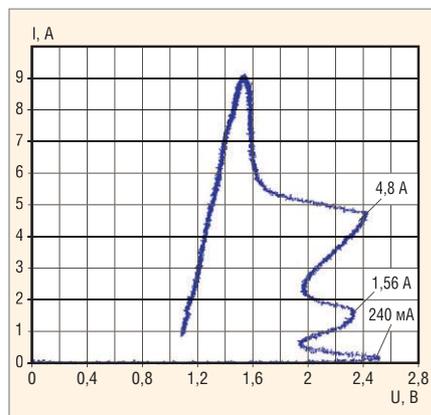


Рис. 3. Процесс включения регенеративных ступеней фототиристора ТФ253-630 на малых токах

ристоров. Первый отечественный LTT типа ТФ253-630-60 с диаметром Si-структуры 56 мм показан на рисунке 1. Основные параметры фототиристора ТФ253-630-60:

- допустимый средний прямой ток ($I_{T(AV)}$) 630 А;
- рабочее блокирующее напряжение (U_{DRM} , U_{RRM}) 6000 В;
- оптическая мощность управления (P_{LM}) 40 мВт;
- тепловое сопротивление переход-корпус (R_{thjc}) 0,021°C/Вт.

Фототиристор управляется световым импульсом ИК-диапазона с длиной волны 940...980 нм. Управляющий импульс передается к светочувствительной области кремниевой структуры через оптоволоконный кабель, который соединяется оптическими разъемами с корпусом фототиристора и с излучающим лазерным диодом. Длина кабеля практически не ограничена, поскольку затухание сигнала управления в световоде очень мало (порядка 1 дБ на 1 км). Лазерный диод преобразовывает электрический сигнал, поступающий от драйвера управления, в световой импульс, который по форме и длительности практически повторяет электрический импульс.

Внутренняя конструкция фототиристора показана на рисунке 2. Оптический сигнал внутри корпуса передается по отрезку световода 10 в зону фотоокна кремниевой структуры 2.

Известно, что включение мощного тиристора малым сигналом управления может привести к повреждению кремниевой структуры, поскольку площадь первоначально включенного канала пропорциональна сигналу управления.

В случае фототиристора, при ограниченных значениях мощности светового сигнала и размеров фотоокна, площадь первоначально включенного канала очень мала. В этой локальной зоне при включении выделяется огромная энергия (сотни киловатт), и если не принять специальных мер, она может привести к пробое фототиристора. Поэтому зона управления Si-структуры

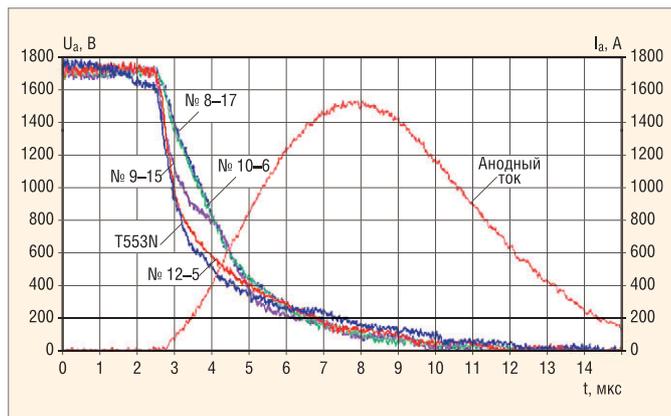


Рис. 4. Характеристики включения фототиристоров с различной конструкцией светочувствительной области

выбрана такой, чтобы при включении фототиристора выделяемая энергия распределялась по большой площади, не достигая критических значений.

Зона управления фототиристора состоит из нескольких регенеративных ступеней, выполняющих задачу усиления коллекторного тока фотоответа, который возникает при облучении светочувствительной области внешним источником оптической энергии. Такое конструктивное решение обеспечивает безопасное включения мощного ЛТТ фототоком, по порядку величины сравнимым с сигналом электрической помехи (10...25 мА) в цепи управления обычного тиристора.

На рисунке 3 показана осциллограмма прямой ВАХ фототиристора при малых токах нагрузки, демонстрирующая процесс включения регенеративных ступеней и силовой области прибора вблизи последней ступени регенерации.

На рисунке 4 приведены переходные характеристики включения фототиристоров с различной топологией светочувствительной области при прохождении короткого импульса тока синусоидальной формы. Графики демонстрируют, что первые образцы фототиристоров (образцы №№ 8-17, 10-6, 9-15) обеспечивали достаточно медленное включение по сравнению с зарубежными аналогами. После проведения конструкторской и технологической оптимизации структур время включения фототиристора значительно уменьшилось (образец № 12-5).

На рисунке 5 представлены осциллограммы токов и напряжения при включении фототиристора сигналом управления с различной оптической мощностью. Видно, что включение тиристора происходит при оптической мощности $P_{LM} = 17$ мВт.

Анализ мирового опыта показывает, что для мощных силовых полупровод-

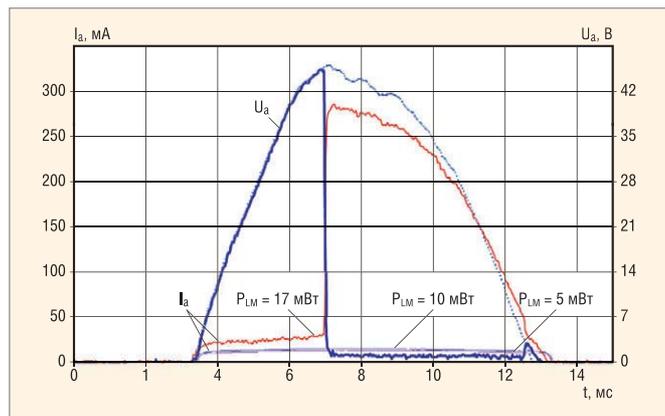


Рис. 5. Осциллограммы анодного тока и напряжения при различной оптической мощности управления фототиристором

никовых ключей, работающих в крупных энергетических объектах, одним из важных факторов является обеспечение работоспособности системы при возникновении в ней несанкционированных экстремальных режимов, приводящих к выходу приборов из строя.

Поэтому первоочередной задачей является создание фототиристоров с интегрированными в Si-структуру элементами, защищающими прибор от пробоя при перенапряжениях, высоких скоростях нарастания анодного напряжения (превышающих критические значения) и при подаче прямого повторного напряжения в режиме неполного восстановления.

Разрабатываются также ЛТТ с диаметром Si-структуры 76 и 90 мм на токи до 2000 А и напряжение до 7500...8000 В. Эти приборы планируется использовать в отечественных проектах, связанных с преобразованием и передачей электрической энергии.