

УДК 631.27

**СИЛОВЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ
НА ОБЪЕКТАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ
POWER SEMICONDUCTOR DEVICES USED IN ELECTRIC POWER FA-
CILITIES**

К. Д. Сырцов

Научный руководитель – Т. Е. Жуковская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

jte@tut.by

K. Sirtsov

Supervisor – T. Zhukovskaya, Senior Lecturer
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в данной работе рассматривается сферы применения полупроводников в энергетике и перспективы их развития.*

***Abstract:** this article examines the scope of application of semiconductors in the energy sector and the prospects for their development.*

***Ключевые слова:** силовое электрооборудование, полупроводники, передача постоянного тока, компенсация реактивной мощности, регулирование напряжения.*

***Key words:** power electrical equipment, semiconductors, direct current transmission, reactive power compensation, voltage regulation.*

Введение.

Полупроводниковые приборы с управляемыми ключами уже давно используются на объектах энергетики в таких устройствах, как статические системы возбуждения генераторов, серво-электроприводы клапанов паровых турбин и многих других. Стремительный рост силовых показателей полупроводниковых ключей позволяет все чаще их применять и в первичных цепях энергосистем для различных задач.

Основная часть.

В настоящее время, существуют три основные сферы применения силовых полупроводников, которые рассматриваются ниже.

1. Передачи (ППТ) и вставки постоянного тока (ВПТ).

Рассмотрим передачу постоянного тока, изображенную на рисунке 1.

Две электроэнергетические системы ЭЭС 1 и ЭЭС 2 могут быть связаны между собой передачей, состоящей из выпрямителя (В) и инвертора (И), преобразующих ток из постоянного в переменный и обратно. Роль преобразователей на схеме может меняться в зависимости от направления передачи электроэнергии. Электропередачи, в которых отсутствует связывающая системы линия с током I_d (электрические системы непосредственно примыкают друг к другу) называются вставками постоянного тока (ВПТ).

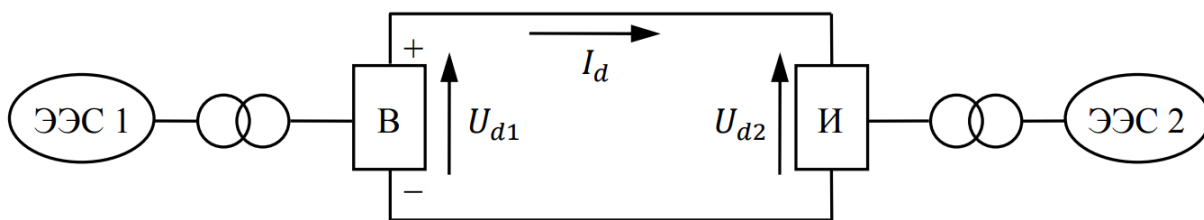


Рисунок 1 - Структурная схема передачи постоянного тока (ППТ)

В качестве преобразователей, используемых в ППТ и ВПТ, повсеместно применяют управляемые вентильные тиристорные преобразователи, которые соединяются по трехфазной мостовой схеме (рис. 2).

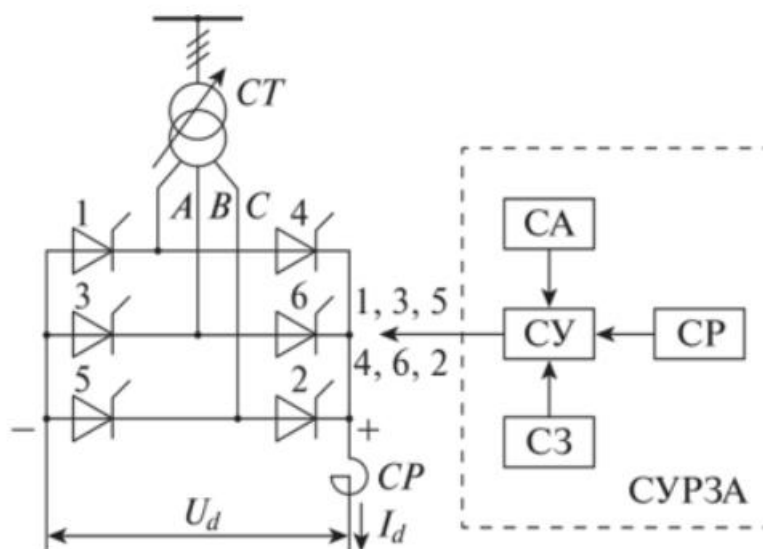


Рисунок 2 - Схема трехфазного мостового преобразователя на тиристорах

Основой такого преобразователя является трехфазный вентильный мост, составленный из высоковольтных тиристорных вентилей (ВТВ) 1, 2, 3, 4, 5 и 6, которые, в свою очередь, собираются из отдельных тиристорov, включенных последовательно. Нумерация ВТВ указывает на то, в каком порядке подаются отпирающие импульсы, формируемые системой управления, регулирования, защиты и автоматики (СУРЗА) на управляющие электроды ВТВ.

Функция силового трансформатора (СТ) заключается в создании необходимого выпрямленного напряжения, а также в электрическом отделении цепи выпрямленного тока от сети переменного тока, что важно для последовательного соединения вентильных мостов.

ВТВ открываются при подаче на управляющие электроды входящих в их состав тиристорov некоторого электрического импульса относительно небольшой мощности (например, светового импульса). Изменяя момент подачи этого импульса (т. е. изменяя сдвиг по фазе) относительно момента естественного отпираания вентилей, можно в широких пределах регулировать такие параметры режима работы моста, как мощность и напряжение, а также переводить мост из выпрямительного режима в инверторный и наоборот.

Управляющие импульсы генерируются системой управления (СУ). Помимо того, СУ отвечает за распределение данных импульсов по ВТВ согласно их нумерации и регулирует сдвиг управляющих импульсов по фазе относительно питающего напряжения.

Система автоматического регулирования (САР), система защиты (СЗ) и система автоматики (СА), изображенные на схеме, позволяют добиться слаженной работы элементов преобразователя. Так, функция САР заключается в поддержании неизменными параметров режима, функция СЗ и СА – прекращение подачи управляющих импульсов при аварийных ситуациях и ввод моста в работу после действия защиты соответственно.

Сглаживающий реактор (СР) обеспечивает работу линии в режиме непрерывного тока посредством сглаживания пульсаций выпрямленного тока и исключает проникновение переменных токов высших гармоник в линию. Кроме того, СР снижает скорость нарастания тока при авариях, что обеспечивает безопасную работу вентиля и защищает оборудование подстанции от волн перенапряжений, которые могут приходиться с линии.

Для передач постоянного тока существуют следующие приложения по основному назначению:

- 1) транзитная передача больших мощностей на большие расстояния (более 1000 км), что обусловлено более низкими потерями электроэнергии по сравнению с передачами переменного тока на тех же дистанциях;

- 2) межсистемная связь (взаимное согласование работы энергосистем переменного тока, имеющих разные технические параметры).

Максимальными техническими показателями, освоенными на сегодня, являются уровень напряжения 800 кВ, расстояние передачи порядка 2500 км и мощность электроэнергии 6400 МВт.

Для введения в эксплуатацию более высокого уровня напряжения необходимо выполнение повышенных требований к силовым устройствам. Повышение числа соединенных последовательно тиристорных устройств позволяет решить проблему построения мощных силовых преобразователей при условии обеспечения координации их работы. Современные тиристорные ключи имеют возможность коммутировать токи силой до 5 кА и обеспечивают передачу мощности до 10 МВт. Однако, тиристоры не являются ограничивающими компонентами в получении высоких показателей ЛЭП: главной проблемой является изоляция силовых компонентов высокого напряжения, таких как выключатели, конструктивные элементы и трансформаторы.

2. Устройства параллельной компенсации реактивной мощности.

Передача больших реактивных мощностей по ветвям электрической сети в общем случае является экономически нецелесообразной по нескольким причинам:

- 1) возникают дополнительные потери реактивной мощности в элементах цепи, обусловленные их загрузкой реактивной мощностью;

- 2) возникают дополнительные потери напряжения, особенно существенные в сетях районного значения;

3) Загрузка реактивной мощностью систем электроснабжения приводит к уменьшению их пропускной способности и, как следствие, требует увеличения сечений проводов линий, увеличения номинальной мощности оборудования, числа трансформаторов на подстанциях и т. д.

По данным причинам, в ряде случаев экономически выгодным является применение устройств компенсации реактивной мощности (УКРМ).

К одному из таких устройств относится полупроводниковый компенсатор реактивной мощности (ПКРМ), который представляет собой включаемый параллельно сети полупроводниковый преобразователь, главное назначение которого – генерация реактивной мощности в сеть. Непосредственно генерация при этом осуществляется с помощью батарей статических конденсаторов (БСК).

До недавнего времени регуляция мощности, генерируемой БСК производилась ступенчато за счет переключения отдельных конденсаторных секций. С введением в эксплуатацию ПКРМ появилась возможность плавных переключений. Таким образом, их применение позволяет избежать колебаний напряжения сети в условиях частых скачков нагрузки.

Для коммутации секций конденсаторных батарей (КБ) применяются вентильные ключи, которые выполняются на включенных встречнопараллельно тиристорах $VS1$ и $VS2$ (рис. 3, а). Секция КБ присоединяется к цепи с помощью токоограничивающего реактора $L_{тр}$.

Принцип работы ПКРМ заключается в том, что, прекращая подачу на тиристоры отпирающих импульсов, достигается оперативное отключение конденсатора от сети, напряжение на котором оказывается максимально положительным или отрицательным в момент отключения и остается таковым до момента включения, так как конденсаторная батарея не разряжается. Такой порядок переключений позволяет добиться наиболее благоприятного течения переходного процесса в сети и завершения его в течение короткого времени (0,01-0,02 с.), за счет чего и получается плавность переключений.

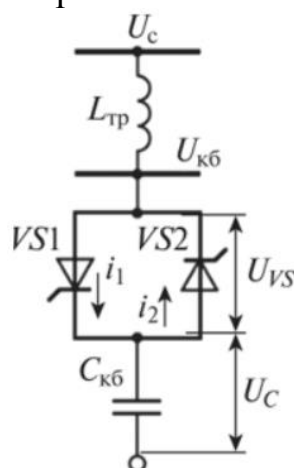


Рисунок 3 - Устройства компенсации реактивной мощности с применением тиристоров

По аналогичным методам (с использованием импульсно-фазового управления) происходит реализация других устройств компенсации реактивной мощности с тиристорным управлением: регулируемый реактор, комбинированные устройства и т. д.

3. Генераторы с меняющейся частотой вращения.

При грубом приближении, напряжение, вырабатываемое генератором, зависит от частоты вращения ротора (n) и от магнитного потока генератора (Φ) по формуле:

$$E = c \cdot n \cdot \Phi,$$

Где c – некоторый постоянный коэффициент.

Следовательно, для обеспечения постоянства напряжения при меняющейся частоте вращения требуется изменять магнитный поток Φ обратно пропорционально частоте. Так как магнитный поток зависит от тока возбуждения, то регулирование осуществляется при помощи периодического включения и отключения добавочного резистора определенного постоянного сопротивления в цепь возбуждения генератора. Для этой задачи могут применяться полупроводниковые регуляторы напряжения.

В общем случае, регулирование силы тока возбуждения в полупроводниковых регуляторах производится с помощью транзистора, эмиттерноколлекторная цепь которого подключается последовательно с обмоткой возбуждения генератора.

Когда напряжение генератора выше заданного уровня, транзистор переключается в закрытое состояние (контакты размыкаются и сопротивление транзистора имеет бесконечно большое значение). При понижении уровня регулируемого напряжения транзистор переключается в открытое состояние (контакты замыкаются и сопротивление составляет доли ома).

Таким образом, когда выдаваемое генератором напряжение достигает предельно допустимого, в цепь обмотки возбуждения включается резистор. В результате, резко уменьшается сила тока возбуждения и, как следствие падает напряжение на клеммах генератора. При предельно низком напряжении резистор отключается, сила тока возбуждения увеличивается и напряжение генератора вновь возрастает. Это происходит непрерывно, и тем самым на клеммах генератора поддерживается требуемое напряжение (рис. 4)

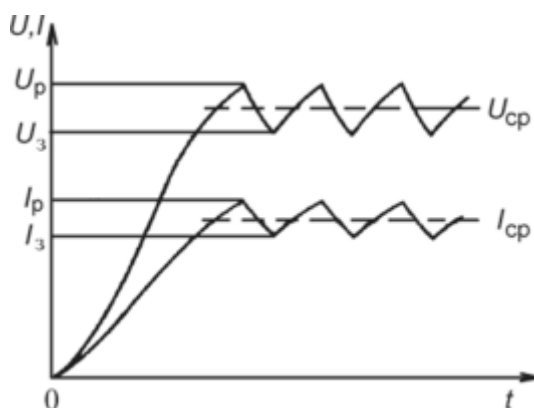


Рисунок 4 - Временные характеристики регулирования напряжения генератора

Данный тип регуляторов может выполняться контактно-транзисторными (для коммутаций в цепи применяется вибрационное реле) и бесконтактными (в функции контактов выполняет транзистор $VT1$, рис. 5).

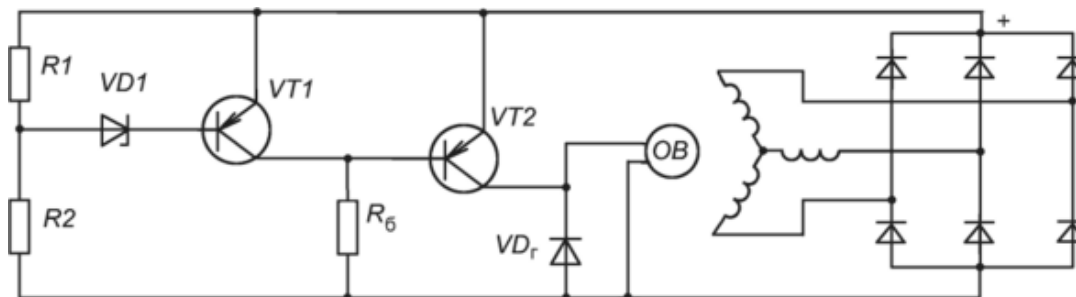


Рисунок 5 - Бесконтактный регулятор напряжения

Основными путями развития полупроводниковых ключей для более широкого их применения на объектах электроэнергетики являются следующие:

- снижение затрат на производства и цены устройств;
- увеличение быстродействия и мощности ключей;
- уменьшение габаритов;
- повышение надёжности;
- развитие изоляции преобразователей;
- развитие алгоритмов управления преобразователями;
- снижение влияния на преобразователи различного рода гармоник и помех;
- развитие испытательного оборудования.

Заключение

Полупроводниковые силовые устройства играют большую роль в сфере энергетики и помогают экономически выгодно решать ряд поставленных задач, среди которых основными являются передача энергии на большие расстояния, согласование энергосистем с различными параметрами, создание устройств компенсации реактивной мощности и поддержание постоянного напряжения на генераторах с переменной частотой вращения. В связи с развитием производства и внедрения новых технологий, в настоящее время наблюдается тенденция роста характеристик полупроводниковых элементов, и, как следствие, более частое их применение в энергетике.

Литература

1. Применение силовых устройств с управляемыми полупроводниковыми преобразователями на объектах электроэнергетики (электронный ресурс) / ENERГОSMI (ЭНЕРГОСМИ) –Режим доступа: <https://energосmi.ru/archives/9464>
2. Полупроводниковые компенсаторы реактивной мощности (электронный ресурс) / Studref: