

УДК 621.316

## О КЛАССИФИКАЦИИ УСТРОЙСТВ D-STATCOM

Хасанова А.С., студент гр. ЭПм-191, I курс

Научный руководитель: Воронин В.А., старший преподаватель  
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

**Благодарности:** Работа выполнена при поддержке Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых №МК-236.2020.8 по теме «Исследование и разработка энергоэффективных схем электроснабжения выемочных участков угольных шахт с применением технологий интеллектуального управления потоками электроэнергии и мощности».

Эффективность производственной деятельности зависит от качества используемой электроэнергии. Отклонения показателей качества энергии могут повлиять на современное оборудование. Например, электромагнитные возмущения в распределительной системе являются проблемой для потребителей, колебания напряжения могут влиять не только на эффективность оборудования, но и могут вызвать негативные последствия. Уровень показателей качества электроэнергии должен находиться в пределах, соответствующих принятым стандартам. Поэтому необходимо принимать решения по ограничению электромагнитных помех [3].

FACTS (Flexible Alternative Current Transmission System) представляет собой систему, используемую для передачи переменного тока, которая меняет характеристики передачи и преобразования электроэнергии для создания оптимальных режимов работы сети. Устройства FACTS оказывают воздействие на [1]:

- качество электроэнергии;
- технологические потери;
- распределение потоков мощности;
- устойчивость работы систем;
- пропускная способность линий.

Устройства FACTS можно разделить на несколько групп:

- статические преобразователи переменного тока;
- вставки постоянного тока;
- электрические машины переменного тока (устройства силовой электроники).

Рассмотрим статическое устройство из первой группы STATCOM – статический компенсатор реактивной мощности. Данное устройство используется в электрических сетях высокого и сверхвысокого классов напряжения и подключается к шинам узловых подстанций энергосистемы.

Основными задачами STATCOM является динамическая стабилизация напряжения, увеличение пропускной способности ЛЭП и повышение устойчивости электроэнергетической системы.

STATCOM – это преобразователь напряжения на управляемых силовых тиристорах (или транзисторах), включенный через трансформатор параллельно линии в узле сети. Принцип работы устройства STATCOM базируется на создании необходимых мгновенных значений напряжений и токов, которые потребляются на входе. STATCOM обладает достаточно высоким быстродействием (менее 1 мс), переход от максимальной выдачи реактивной мощности при ее управлении к максимальному потреблению занимает всего половину периода основной частоты. STATCOM регулирует значение выходного напряжения и его фазы. Это создается за счет изменения реактивной мощности, потребленной или выданной в сеть.

STATCOM, установленный в распределительных сетях среднего напряжения или вблизи нагрузок для улучшения коэффициента мощности и регулирования напряжения, называется Distributed STATCOM (D-STATCOM). Данные устройства имеют такую же структуру, что и STATCOM. Они могут выполнять коррекцию коэффициента мощности, фильтрацию высших гармоник, симметрирование токов нагрузки и т. д. Основной функцией D-STATCOM является подача реактивной мощности (согласно требованию) в систему для регулирования напряжения в точках общего присоединения.

D-STATCOM относится к группе устройств, называемых Distributed FACTS (D-FACTS) или Custom Power Devices (CPD). Среди CPD устройства шунтового подключения показали достаточно высокую экономическую эффективность при решении широкого круга проблем качества электроэнергии как в системах передачи, так и в системах распределения электрической энергии. Большинство исследователей отмечают следующие достоинства D-STATCOM по сравнению с другими устройствами CPD: габариты, вес, цена; высокое быстродействие; возможность активной фильтрации высших гармоник [2].

Основными компонентами D-STATCOM являются автономный инвертер напряжения (АИН), конденсатор звена постоянного тока и трансформатор связи [6, 7] (рис. 1).

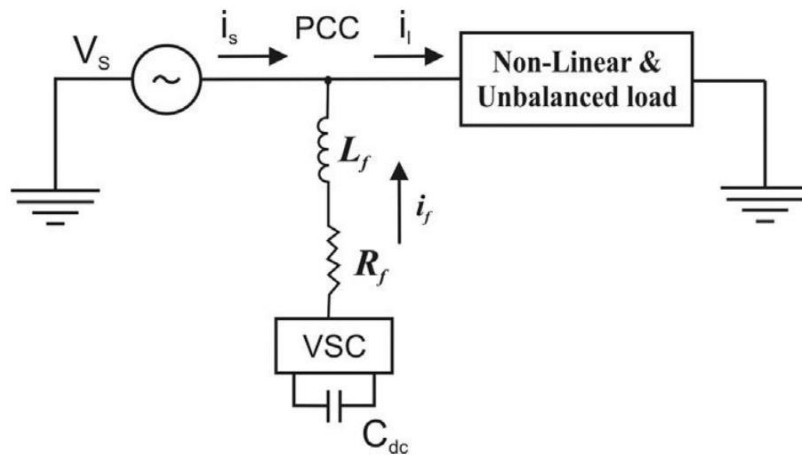


Рис. 1. Однолинейная схема D-STATCOM [2]

D-STATCOM использует либо автономный инвертор напряжения (АИН), либо автономный инвертор тока (АИТ). АИН использует емкостное накопление энергии, в то время как АИТ использует индуктивное накопление энергии в своих звеньях постоянного тока [3]. Чаще используются АИН из-за меньшего рассеиваемого тепла, меньшего размера и меньшей стоимости конденсатора по сравнению с индуктором, используемым в АИТ, для той же номинальной мощности [5]. АИН, связанный в шунт с системой переменного тока, используется для различных целей, таких как регулирование напряжения и компенсация реактивной мощности, коррекция коэффициента мощности и устранение гармоник тока. Система АИН популярна, потому что она может быть расширена до многоуровневой, что позволит повысить производительность при более низкой частоте переключения и увеличенной пропускной способности.

В устройствах D-STATCOM могут быть использованы следующие виды преобразователей [2]:

1) Многоуровневый инвертор с отсекающими диодами (рис. 2, а).

Данный вид преобразователей используется наиболее часто. При его применении улучшаются показатели качества выходного напряжения, и кривая напряжения принимает форму ближе к синусоидальной за счет увеличения количества уровней напряжения.

2) H-мостовой каскадный инвертер (рис. 2, б);

3) Многоуровневый инвертер с «плавающими» конденсаторами (рис. 2, в).

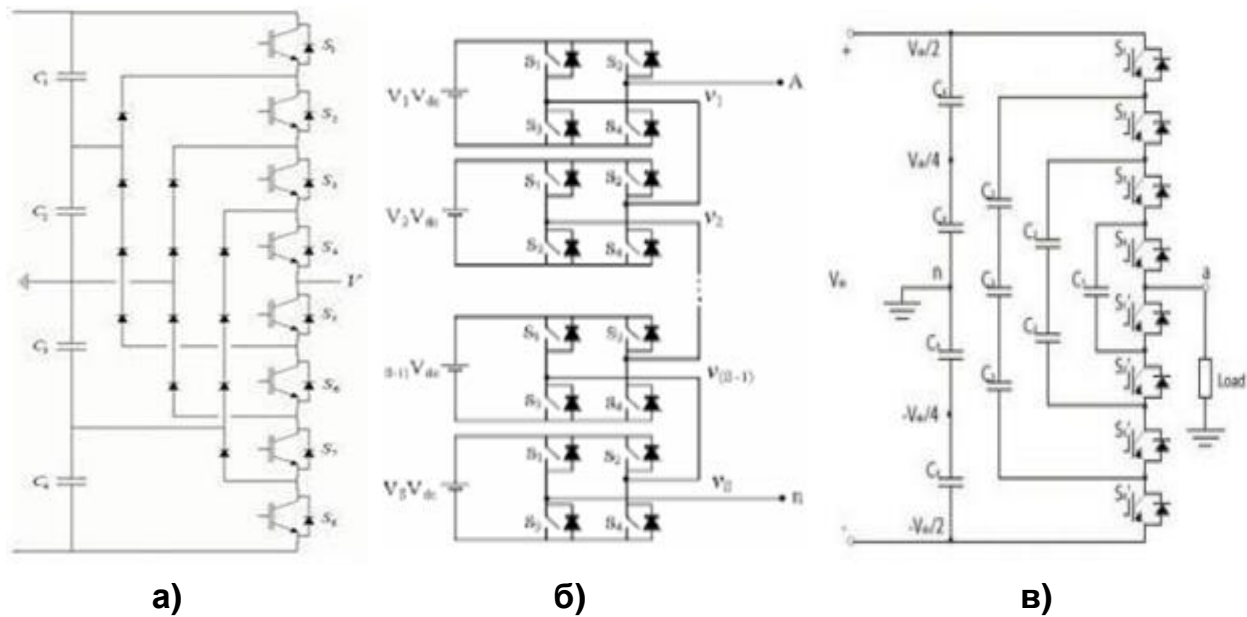


Рис. 2. Различные типы инверторов, используемые в D-STATCOM [2]

В зависимости от схемы АИН, используемого в D-STATCOM, они делятся на [2]:

1) Трехфазная трехпроводная система (рис. 3, а).

Трехфазный трехпроводной D-STATCOM используется для компенсации потребительской нагрузки путем улучшения качества электроэнергии в трехфазной трехпроводной распределительной системе. Для этой топологии сумма токов через три его ветви должна быть равна нулю [3]. D-STATCOM не компенсирует ток нулевой последовательности, который может протекать в нагрузку и при этом также устройство не компенсирует постоянный ток, протекающий из источника в нагрузку;

2) Н-мостовой АИН (рис. 3, б).

Такой преобразователь состоит из трех Н-мостовых АИН, которые присоединены к общему конденсатору звена постоянного тока;

3) Трехфазная АИН с фиксированной нейтралью (рис. 3, в);

4) АИН с нулевым проводом (рис. 3, г);

5) Трехфазная четырехпроводная система, соединенная по схеме звезды (рис. 3, д);

6) Трехфазный четырехпроводный АИН с двумя конденсаторами.

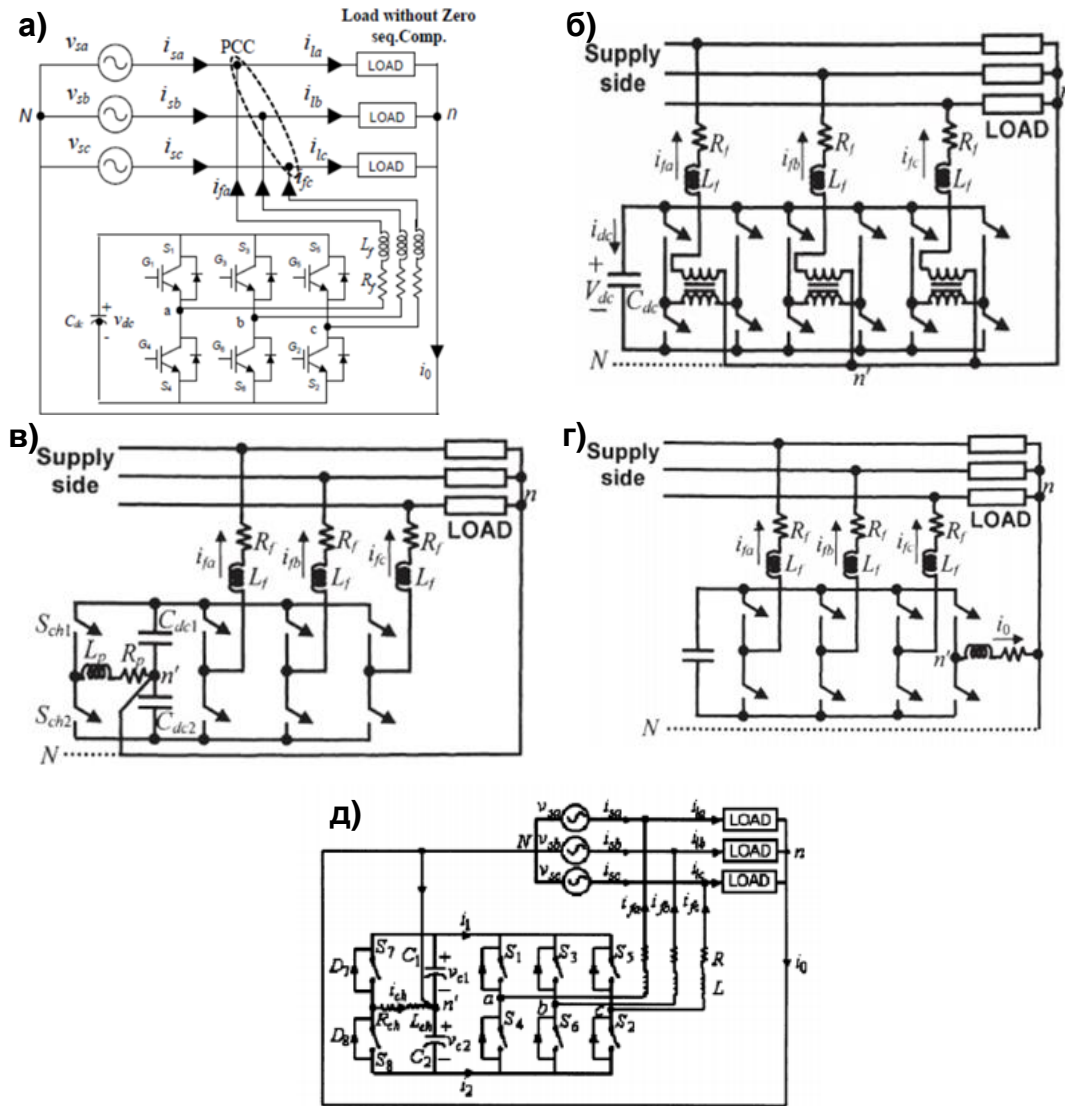


Рис. 3. Различные варианты топологии АИН [2]

На сегодняшний день D-STATCOM является одним из наиболее совершенных устройств FACTS, позволяющим превратить электрическую сеть из пассивного устройства транспорта электроэнергии в устройство, активно участвующее в управлении режимами работы электрических сетей. D-STATCOM эффективен для устранения проблем качества электроэнергии, связанных с током и напряжением, таких как выравнивание нагрузки, устранение высших гармоник, коррекция коэффициента мощности, регулирование напряжения и компенсация тока нулевой последовательности в распределительной системе [6].

### Список литературы:

1. Горожанкин, П.А. Управление напряжением и реактивной мощностью в электроэнергетических системах. Европейский опыт / П.А. Горожанкин, А.В. Майоров, С.Н. Макаровский, А.А. Рубцов // Электрические станции. – 2008.
2. Pankaj Negi. A Review of Various Topologies and Control Schemes of DSTATCOM Implemented on Distribution Systems / Pankaj Negi , Yash Pal , G. Leena// Majlesi Journal of Electrical Engineering. – 2017. – № 1 (11).
3. Eldery M, El-Saadany E, Salama M. Dstatcom effect on the adjustable speeddrive stability boundaries, IEEE Trans Power Deliv. – 2007. – Vol. 22(2). – pp.1202.
4. Ананичева, С.С. Качество электроэнергии. Регулирование напряжения и частоты в энергосистемах: учебное пособие / С. С. Ананичева, А. А. Алексеев, А. Л. Мызин.; 3-е изд., испр. Екатеринбург: УрФУ. – 2012. – 93 с.
5. Ghosh A, Joshi A. The concept and operating principles of a mini custompower park, IEEE Trans Power Deliv. – 2004. – Vol. 19(4). – pp. 1766–1774.
6. Плотников, М. П. Компенсация реактивной мощности в районных сетях / М. П. Плотников // Молодой ученый. – 2011. – №12. – С. 37-39.