

УДК 621.316

**АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ****В. Е. Шушпанов**

Донской государственной технической университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Рассматриваются способы и установки для компенсации реактивной мощности, применяемые совместно с устройствами автоматического изменения установок, которые настраиваются исходя из параметров сети. Автоматически регулируемые устройства позволяют обеспечить самостоятельную работу компенсирующих устройств с минимальным участием человека. Данные способы и установки широко применяются как на территории РФ, так и за рубежом.

**Ключевые слова:** автоматическое регулирование, реактивная мощность, АРКОН, СТАТКОМ, электрооборудование, компенсирующее устройство, конденсаторная установка.

**AUTOMATIC CONTROL OF REACTIVE POWER****V. E. Shushpanov**

Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

The paper discusses the methods and equipment for compensating reactive power, used in conjunction with automatic adjustment devices, the settings of which are configured based on various parameters of the power grid. These automatically adjustable devices allow for independent operation of compensating devices with minimal human involvement. These methods and installations are widely used both in the Russian Federation and abroad.

**Keywords:** automatic control, reactive power, ARCAP, STATCOM, electrical equipment, compensating device, condenser unit.

**Введение.** Рациональная компенсация реактивной мощности (КРМ) является одним из эффективных методов рационального использования электроэнергии, повышения пропускной способности электрической сети, повышения технико-экономических показателей электрооборудования и качества электроэнергии. Однако, с помощью КРМ не всегда возможно в достаточной степени улучшить качество электроэнергии или работы электроустановок, а в ряде случаев это может привести к отрицательному эффекту, например, к перекомпенсации. Процессы рациональной КРМ включают в себя:

- выбор места установки компенсирующих устройств (КУ);
- безопасное обслуживание и эксплуатация КУ;
- расчет и выбор мощности КУ согласно поставленным задачам энергосистемы;
- автоматическое регулирование реактивной мощности в распределительных электросетях с минимальным участием персонала.

**Конденсаторные установки.** В настоящее время в распределительных электросетях для КРМ широкое применение нашли конденсаторные установки или батареи статических конденсаторов, применение которых объясняется рядом значительных преимуществ относительно других КУ, а именно:

- малые удельные потери активной мощности;
- простота монтажа и обслуживания;
- низкий уровень цен;
- отсутствие вращающихся и трущихся частей;
- отсутствие необходимости больших территорий для размещения;

- широкий спектр выбора мощности конденсаторов;
- отсутствие шума во время работы.

Автоматическое регулирование мощности КУ может осуществляться исходя из различных параметров сети, а именно:  $\cos \phi$ , величины напряжения, уровня тока нагрузки, времени суток, характера реактивной нагрузки (индуктивная или емкостная) и т. д. Таким образом, от выбора функции регулирования, а также от числа регулируемых секций блоков конденсаторов (БК) зависит эффективность работы управляемой конденсаторной установки.

**Автоматический регулятор конденсаторов АРКОН.** Поскольку автоматическое регулирование реактивной мощности в высоковольтных сетях стало острой необходимостью, электропромышленность осваивает способы и устройства автоматического управления. Одним из таких устройств является автоматический регулятор конденсаторов АРКОН. Данный тип устройства предназначен для работы совместно с комплектными конденсаторными установками или с отдельными конденсаторными батареями в электросетях с напряжением как выше, так и ниже 1 кВ. Как правило, АРКОН комплектуется автоматическим выключателем конденсаторов ВАКО, т. к. данные устройства производит один и тот же завод-изготовитель. ВАКО работает при усредненном значении полного или скомпенсированного тока нагрузки. Одними из достоинств ВАКО является его способность регулировать реактивную мощность по току нагрузки и осуществлять аварийный контроль по напряжению с отключением или блокировкой включения БК, если напряжение сети превышает номинальное значение более чем на 10–15 %. Эти функции устройство ВАКО выполняет без участия персонала, т. е. автоматически.

Устройство АРКОН осуществляет автоматическое регулирование по напряжению с коррекцией или без коррекции тока. Устройство способно выполнять свои функции в диапазоне температуры окружающего воздуха от  $-40$  до  $+40$  °С и относительной влажности воздуха до 85 % при 20 °С. Установка отключения варьируется от  $0,89U_{\text{ном}}$  до  $1,25U_{\text{ном}}$ , а пределы регулирования установки включения составляют  $(0,93 \dots 0,995)U_{\text{откл}}$ , где  $U_{\text{ном}}$  — номинальное напряжение, а  $U_{\text{откл}}$  — напряжение установки на отключение. Установка форсировки регулируется в пределах  $(0,69 \dots 0,9)U_{\text{откл}}$ .

На рис. 1 продемонстрирована структура устройства АРКОН, которое имеет командный блок и программный блок, управляемый от командного.

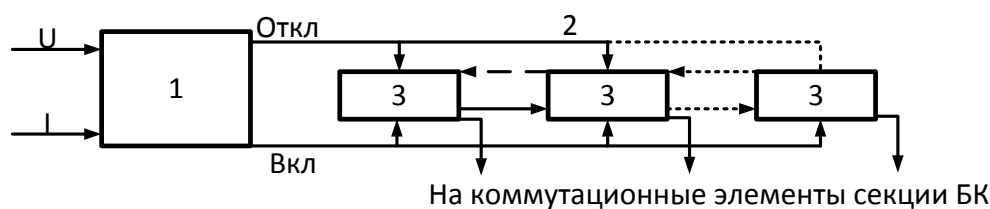


Рис. 1. Структура устройства АРКОН: 1 — командный блок;  
2 — программный блок; 3 — приставки

Командный блок посылает команды на включение или отключение программному блоку. Выдаваемая команда зависит от величины входного сигнала на командном блоке. Программный блок, в свою очередь, выполняет последовательное включение или отключение отдельных секций БК и представляет собой набор однотипных приставок, число которых равно числу подключаемых секций БК. Максимально возможное число ступеней регулирования устройства — 15. Регулирование осуществляется по программному единичному или двоичному коду.

Автоматическое регулирование секциями БК при помощи устройства АРКОН в значительной мере зависит от связи между напряжением и нагрузкой. При выборе установок

используется диаграмма работы АРКОН, представляющая собой зависимость напряжения на измерительном органе (ИО) устройства от нагрузки и напряжения сети.

На рис. 2 отображен один из возможных вариантов управления тремя секциями БК при взаимосогласованном изменении нагрузки и напряжения. В случае изменения нагрузки при постоянном напряжении сети изменения напряжения на ИО устройства отображаются в виде наклонных прямых, а установки включения и отключения устройства АРКОН представляются в виде горизонтальных прямых. Смещения наклонных линий соответствуют изменениям напряжения в сети. Режимы в момент переключения секций БК — это точки пересечения наклонных и горизонтальных прямых. Следовательно, отключение секций БК происходит в области выше линии  $U_{\text{откл}}$ , а в области ниже  $U_{\text{вкл}}$  происходит включение секций.

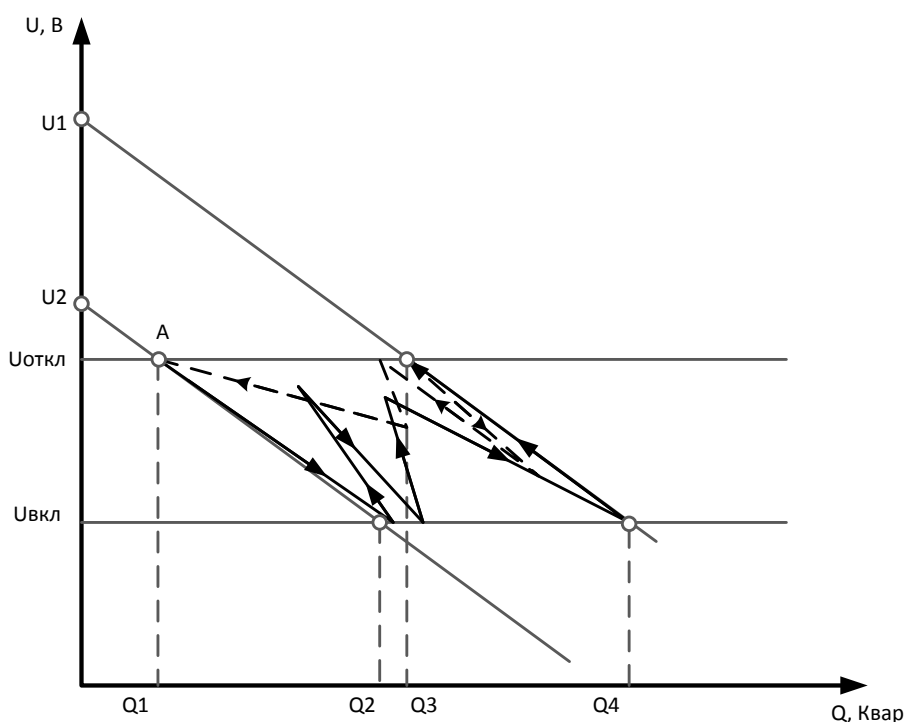


Рис. 2. График регулирования мощности трех секций БК по напряжению ИО устройства АРКОН

От точки А начинаются изменения нагрузки и напряжения. Снижение напряжения на ИО происходит при росте нагрузки. По достижению напряжением значения установки включения  $U_{\text{вкл}}$ , происходит подключение одной из секций БК, что способствует мгновенному повышению напряжения на ИО. Если нагрузка продолжает увеличиваться, напряжение на ИО будет вновь понижаться до значения  $U_{\text{вкл}}$ , вследствие чего происходит подключение второй секции БК и т. д. Если же нагрузка будет понижаться, напряжение на ИО устройства повысится до установки  $U_{\text{откл}}$  и произойдет отключение соответствующей секции БК [1]. На рис. 2 этот режим отображается пунктирными линиями.

**Статические тиристорные компенсаторы реактивной мощности.** Еще одними из устройств, которые могут обеспечить повышение эффективности работы и энергосбережения в электроэнергетических системах являются статические тиристорные компенсаторы реактивной мощности. Они реализуют следующие функции [2]:

— фильтрация токов высших гармоник;

- стабилизация напряжения в пределах номинального;
- повышение статической и динамической устойчивости передачи;
- увеличение пропускной способности электропередачи из-за повышения предела устойчивости при большой передаваемой мощности;
- снижение отклонений напряжения при больших возмущениях в системе.

Помимо повышения качества электроэнергии статические тиристорные компенсаторы способны разгружать трансформаторы и ЛЭП от реактивной мощности, при этом снижая активные потери и действующий ток, что позволяет увеличить пропускную способность сети без установки нового оборудования. Срок окупаемости может составлять от 1 до 3 лет.

Основу статических тиристорных компенсаторов составляют фильтры высших гармоник — фильтрокомпенсирующие цепи, которые подключаются к сети напрямую либо через коммутируемые выключатели. Параллельно фильтрокомпенсирующим цепям подключается по схеме треугольника тиристорно-реакторная группа, регулирующая потребление реактивного тока компенсирующими реакторами. Ток в реакторе отслеживает изменение тока нагрузки или реактивной мощности в узле электрической сети, при этом меняя угол включения тиристорной тиристорно-реакторной группы.

Система защиты и управления статических тиристорных компенсаторов реактивной мощности обеспечивает поддержание регулируемого параметра, соответствующего заданной установке, контроль и соответствующую сигнализацию. Эти компенсаторы имеют систему автоматизации, обеспечивающую выполнение их задач без постоянного контроля со стороны персонала. Управление статическими тиристорными компенсаторами реактивной мощности выполняется через внешний интерфейс либо с пульта дистанционного управления, либо от АСУ.

**Устройство СТАТКОМ.** С появлением мощных высоковольтных полупроводниковых устройств с полным управлением, таких как IGCT и IGBT, стало возможным реализовывать новые типы КРМ. Одним из таких устройств является СТАТКОМ (статический компенсатор синхронный), который является новым шагом на пути развития электрооборудования и имеет широкое применение в отечественной и зарубежной энергетике. СТАТКОМ обладает всеми преимуществами стандартного оборудования, но за счет быстродействия превосходит его по многим характеристикам. Назначение СТАТКОМ аналогично назначению традиционных статических тиристорных компенсаторов.

Устройство СТАТКОМ во многом превосходит аналоги оборудования в своем классе, при этом фундаментально решает проблему повышения качества электроэнергии в электрических системах. Области применения данного оборудования различны: электроснабжение электрифицированного железнодорожного транспорта; металлургическая и нефтехимическая отрасли; альтернативная энергетика, связанная с использованием энергии солнца и ветра.

Для динамической КРМ применяется полностью управляемый инвертор. Его структура построена на базе биполярных транзисторов с управляемым затвором (IGBT), как проиллюстрировано на рис. 3.

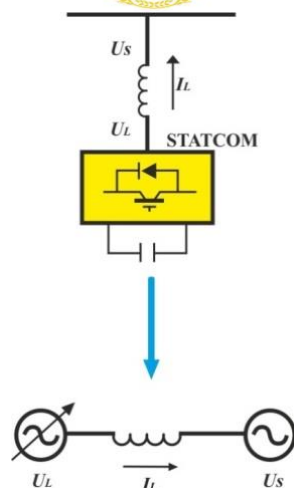


Рис. 3. Структурная схема устройства СТАТКОМ

Здесь величина  $U_s$  является напряжением сети,  $U_L$  — это прикладываемое к реактору выходное напряжение СТАТКОМ, а  $I_L$  является током реактора, который возникает как разность  $U_s$  и  $U_L$  и впоследствии регулируется устройством. Когда выполняется условие равенства напряжений  $U_s$  и  $U_L$  и впоследствии регулируется устройством. Когда выполняется условие равенства напряжений  $U_s$  и  $U_L$ , ток, протекающий через реактор, равен нулю, при этом компенсация не выполняется. Если  $U_s$  меньше  $U_L$ , тогда ток  $I_L$  опережает напряжение сети, следовательно, происходит генерация в сеть емкостной составляющей мощности. Если  $U_s$  больше  $U_L$ , тогда темп изменения  $I_L$  будет отставать от темпа изменения напряжения сети, что позволит генерировать в сеть индуктивную составляющую мощности. Для того чтобы снизить искажения при КРМ на выходе, СТАТКОМ генерирует соответствующее гармоническое напряжение.

Основные преимущества СТАТКОМ:

- возможность компенсации как емкостной, так и индуктивной составляющей мощности;
- при запуске оказывает минимальное воздействие на питающую сеть;
- высокие быстродействие (около 10 мс) и скорость отклика системы автоматического управления;
- небольшие габариты по сравнению с аналогами;
- возможность контроля напряжения в реальном времени благодаря функции мульти-компенсации;
- улучшенная фильтрация гармоник;
- при повреждении последовательного модуля осуществляется его автоматическое шунтирование, что повышает надежность работы устройства.

**Заключение (выводы).** Батареи статических конденсаторов чувствительны к токам высших гармоник, что приводит к выводу конденсаторов из строя. В современном мире электропотребление стремительно растет, поэтому рекомендуется использовать статические тиристорные компенсаторы, т. к. они устойчивы к токам высших гармоник и имеют ряд преимуществ по сравнению с батареями статических конденсаторов, в том числе не только оптимизируют напряжение в сети, но и разгружают электрооборудование по току, что приводит к увеличению пропускной способности.

**Библиографический список**

1.Электрические сети. Автоматические устройства по компенсации реактивной мощности [Электронный ресурс]. URL:<https://leg.co.ua/knigi/oborudovanie/avtomaticheskie-ustroystva-po-kompensacii-eaktivnoy-moschnosti-11.html> (Дата обращения : 03.03.2020 )

2.Усть-Каменогорский конденсаторный завод. Статические конденсаторы реактивной мощности [Электронный ресурс]. URL:<https://www.ukkz.com/ru/catalog/staticheskie-tiristornye-kompensatory-reaktivnoj-moshchnosti.html> (Дата обращения 8.04.2020)

*Об авторе:*

**Шушпанов Владислав Евгеньевич**, магистрант кафедры «Интеллектуальные электрические сети» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [vlad.shushpanov@mail.ru](mailto:vlad.shushpanov@mail.ru)

*Author:*

**Shushpanov, Vladislav E.**, Master's degree student, Department of Intelligent Electric Networks, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, RF, 344003), [vlad.shushpanov@mail.ru](mailto:vlad.shushpanov@mail.ru)