



УДК 621.316.722.076.12

## УСТРОЙСТВО ТРЕХФАЗНОГО СТАТИЧЕСКОГО КОМПЕНСАТОРА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

### DEVICE OF THREE-PHASE STATIC REACTIVE POWER COMPENSATOR

**Николаев С.А.**

бакалавр,  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
sergey\_nikolayev\_98@mail.ru

**Рябишина Л.А.**

кандидат технических наук,  
доцент кафедры электротехники и  
электрооборудования предприятий,  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
ryabli@yandex.ru

**Аннотация.** Актуальной задачей при разработке устройств компенсации реактивной мощности является упрощение конструкции и компоновки. Автором ведутся исследования по известной методике с помощью моделирования, которое позволяет расширить диапазон регулирования реактивной мощности.

**Ключевые слова:** компенсация реактивной мощности, трехфазный компенсатор реактивной мощности, тиристорный вентиль, диапазон регулирования.

**Nikolaev S.A.**

Bachelor,  
Ufa State Petroleum Technical University  
sergey\_nikolayev\_98@mail.ru

**Ryabishina L.A.**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor of Electrical Engineering  
and Electrical Equipment of Enterprises,  
Ufa State Petroleum Technical University  
ryabli@yandex.ru

**Annotation.** An urgent task in the when developing the devices of reactive power compensation is to simplification of design and layout. The author conducts research on a well-known method using modeling, which allows you to expand the range of reactive power regulation.

**Keywords:** reactive power compensation, three-phase reactive power compensator, thyristor valve, regulation range.

**Д**ля устройств компенсации реактивной мощности (УКРМ) – актуальной научно-технической задачей является расширить диапазон регулирования реактивной мощности. В совокупности с данным вопросом необходимо принять решения по упрощению конструкции и компоновки.

Предшествующий уровень техники не предполагал использование тиристорного вентиля, позволяющего выполнять непосредственное соединение с передающей сетью. Следовательно, тиристорный вентиль, содержащий множество тиристоров соединенных последовательно, позволяет исключить трансформатор. Тиристорный вентиль может содержать симметричные управляемые тиристоры.

Использование трансформатора, в свою очередь, имело некоторые недостатки в отношении надежности и производительности, таких как насыщение трансформатора при высоком емкостном питании или при высоком напряжении сети, потребление реактивной мощности в трансформаторе и избыточные номинальные вторичные токи, и очень высокие токи короткого замыкания.

Поэтому существует необходимость в улучшении применения шунтирующих компенсаторов.

Кроме того, отсутствие трансформатора обеспечивает ряд преимуществ, таких как отсутствие звукового шума от трансформатора и более экологичная, безмасляная установка без необходимости иметь масло-герметичные компоновки [1].

Устройство однофазного статического компенсатора реактивной мощности содержит компенсаторную цепь, состоящую из статического компенсатора реактивной мощности, соединенного последовательно с тиристорным вентиляем, который параллельно соединен с реактором.

Представленная конденсаторная установка с фильтрами гармоник предназначена для эксплуатации в электроустановках с большим количеством нелинейных нагрузок, генерирующих высшие гармоники. Специально подобранные дроссели препятствуют возникновению резонанса в системе и разрушению электроустановки предприятия.

Устройство позволяет уменьшать уровень гармоник в электрической сети, помимо этого, увеличивая КПД силового трансформатора, асинхронных электродвигателей, пускорегулирующей аппаратуры светильников [2].

Таким образом, устройство трехфазного статического компенсатора реактивной мощности, содержащее три однофазных устройства, приведено на рисунке 1, причем каждое из однофазных



устройств выполнено с возможностью соединения с соответствующей одной фазой трехфазной передающей сети.

Компенсаторная цепь может быть выполнена с возможностью соединения на ее первом конце с соответствующей фазой, а на втором конце – с нейтральной точкой, образуя соединение звездой. Число полупроводниковых устройств в соединении звездой значительно ниже, чем если используется соединение треугольником для полного напряжения передающей сети.

Данные технические решения дают возможность использовать указанное устройство в зависимости от типа исполнения установки в различном конструктивном исполнении и комплектации. Конструктивное исполнение может быть модульное и моноблочное. Моноблочные конденсаторные установки применяются для компенсации реактивной мощности в групповых сетях небольших предприятий и для компенсации реактивной мощности отдельных электроприемников и групповых сетей крупных предприятий.

Конденсаторные установки модульной конструкции применяются для компенсации реактивной мощности в групповых сетях электроснабжения. Применяются на крупных и средних предприятиях. Состоят из отдельных, взаимозаменяемых и дополняемых модулей, что позволяет изменять их характеристики по усмотрению службы эксплуатации и силами ее сотрудников [2].

Вышеуказанные технические решения предоставляют возможность упростить конструкцию и компоновку.

В свою очередь, уже были известны компенсаторы реактивной мощности из последовательно соединенных управляемого реактора и емкости. Однако недостатком известного устройства является осуществление регулирования величин индуктивности реактора с изменением числа витков путем их переключения механическим устройством.

Этих недостатков лишены тиристорные конденсаторные установки. Применение конденсаторных установок в задачах быстродействующего регулирования реактивной мощности, частого переключения секций конденсаторных батарей практически невозможно из-за бросков тока и перенапряжений, возникающих при их коммутации обычными выключателями. Тиристорные конденсаторные установки – лучшее, а иногда и единственное решение, когда необходимо осуществлять компенсацию реактивной мощности нагрузке в короткий период времени.

На предыдущем уровне развития технологии реактор подключался с помощью выключателя или отделителя непосредственно на шины электропередачи или к третичной обмотке трансформатора [3].

Тиристорные ключи состоят из двух включенных встречно-параллельно тиристорам. Замена обычных выключателей тиристорными ключами, обеспечивающих коммутацию конденсаторных батарей в определенный момент времени, позволяет снизить броски тока при включении батарей и перенапряжения при их отключении, снять ограничения по частоте коммутаций конденсаторных батарей и придать устройствам свойства, при которых они могут применяться в задачах компенсации реактивной мощности, в том числе и в сетях с резкопеременной нагрузкой [2].

Для ограничения бросков тока тиристор следует открывать в тот момент времени, когда мгновенное значение напряжения сети и напряжение на конденсаторной батарее равны (идеальный случай) или близки. Для ограничения перенапряжений при отключении конденсаторной батареи тиристор следует закрывать при переходе тока в нем через нулевое значение.

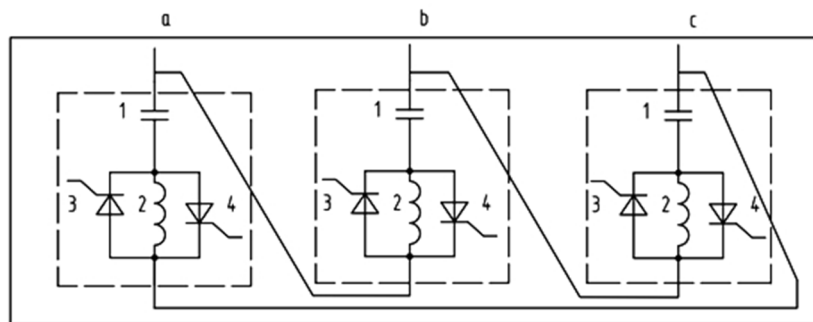
Следуя этому принципу, можно практически исключить броски тока и перенапряжения, сняв таким образом ограничение на частоту переключения конденсаторной батареи. Работа устройства в установившемся режиме, который наступает после открытия тиристора через 0,01–0,02 с, не сопровождается ни бросками тока, ни перенапряжениями.

Кроме того, в отличие от установок с контакторами тиристорные конденсаторные установки обладают быстродействием на 2 порядка выше, так как не требуется задержка срабатывания на время разряда конденсатора. При этом следует отметить, что конденсаторы подключаются без пусковых токов. Это продлевает срок службы конденсаторов.

Описание работы схемы на рисунке 1. Напряжение на реакторе 2 при закрытых тиристорах 3 и 4 имеет синусоидальную форму. При включении тиристора напряжение на нем и на реакторе 2 уменьшаются до величины падения, и через него будет протекать ток конденсатора и ток реактора. Следует отметить, что ток конденсатора 1 через тиристор существенно превышает ток реактора. Затем напряжение на этом тиристоре и на реакторе 2 меняет знак, тиристор 3 закрывается. В следующий момент времени оба тиристора 3 и 4 закрыты и ток от сети проходит через реактор 2 и конденсатор 1. Далее управляющим сигналом открывается тиристор 4, и ток от сети проходит через конденсатор 1. Вслед за этим цикл повторяется. Регулирование реактивной мощности производится с помощью тиристорам 3 и 4 описанным выше способом изменения фазы управляющих импульсов.

Таким образом, меняя момент времени включения тиристора 3 и симметрично тиристора 4, можно менять действующее значение тока конденсатора 1, потребляемого из сети, то есть регулировать величину реактивной мощности [4].

В рассмотренном ранее устройстве реактивная мощность изменяется за счет изменения фазы управляющих импульсов тиристорам. По сравнению с устройствами предыдущего уровня, использование тиристорам позволяет расширить диапазон регулирования реактивной мощности.



**Рисунок 1** – Устройство трехфазного статического компенсатора реактивной мощности

Предложенная автором модель трехфазного статического компенсатора реактивной мощности дает возможность упростить конструкцию и компоновку, а также расширить диапазон регулирования реактивной мощности.

**Литература:**

1. Пат. 2844401, Российская Федерация. Устройство статического компенсатора реактивной мощности. Опубл. 20.02.2013. – 5 с.
2. Анчарова Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: учебник – 2-е изд. – М. : ФОРУМ: ИНФРА-М, 2020. – 188 с.
3. Кабышев А.В. Компенсация реактивной мощности в электроустановках промышленных предприятий: учебное пособие // Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 60 с.
4. Пат. 2475916, Российская Федерация. Устройство статического компенсатора реактивной мощности. Опубл. 20.04.2012. – 5 с.

**References:**

1. Pat. 2844401, Russian Federation. Device for static reactive power compensator. Published on February 20, 2013. – 5 p.
2. Ancharova T.V. Electric power supply and electrical equipment of buildings and structures: textbook – 2nd ed. – M. : FORUM: INFRA-M, 2020. – 188 p.
3. Kabyshev A.V. Reactive power compensation in electrical installations of industrial enterprises: a training manual // Tomsk Polytechnic University. – Tomsk : Tomsk Polytechnic University Publisher, 2012. – 60 p.
4. Pat. 2475916, Russian Federation. Device of static reactive power compensator. Published on April 20, 2012. – 5 p.