УДК 621.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ШАГОВОГО МЕТОДА КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

В. Д. Федоров, В. В. Теребаев
Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

В качестве главной идеи по улучшению показателей качества электроэнергии предложено использование компенсации реактивной мощности, при этом предлагается как централизованная компенсация на стороне высшего и низшего напряжения, так и групповая и индивидуальная компенсации. Определена схема компенсации посредством конденсаторов, используемая на участках ПАО «Россети Юг» с подстанцией, работающей при напряжении 110 кВ (ПС 110 кВ). Также по нормальной электрической схеме установлена величина мощности питания от шин номинальным напряжением и номинальным током, когда подключена конденсаторная батарея для компенсации реактивной мощности. Выполнен расчет прогнозируемых снижений активных потерь электроэнергии в распределительных сетях при передаче и потреблении реактивной мощности.

Ключевые слова: реактивная мощность, компенсация реактивной мощности, централизованная компенсация, групповая компенсация, индивидуальная компенсация, батареи статической компенсации, коэффициент мощности, коррекция коэффициента мощности.

RESEARCH ON THE APPLICATION OF THE REACTIVE POWER COMPENSATION STEP METHOD TO IMPROVE POWER QUALITY IN DISTRIBUTION NETWORKS

V. D. Fedorov, V. V. Terebaev
Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

The use of reactive power compensation is proposed as the main idea for improving the quality of electricity, while both centralized compensation on the side of higher and lower voltage, and group and individual compensations are proposed. The scheme of compensation by means of capacitors used in the sections of PJSC Rosseti Yug with a substation operating at a voltage of 110 kV (110 kV SS) is determined. Also, according to the normal electrical scheme, the value of the power supply from the buses with rated voltage and rated current is set when a capacitor bank is connected to compensate for reactive power. The calculation of the predicted reductions in active power losses in distribution networks during transmission and consumption of reactive power is performed.

Keywords: reactive power, reactive power compensation, centralized compensation, group compensation, individual compensation, static compensation batteries, power factor, power factor correction.

Введение. В настоящее время в связи с ростом числа потребителей, избытком реактивной мощности в трехфазной системе и многими другими факторами уделяют внимание качеству электроэнергии, которое в случае значительных отклонений может повлиять на продолжительность эксплуатации электрических устройств, на сбои в работе систем защиты, на финансовые расходы, связанные с потерями при транспортировке энергии. Чтобы избежать негативных последствий с учетом воздействия минимальных факторов на качество электрической энергии требуется изменять реактивные нагрузки сети [1]. В любой системе переменного тока часть энергии уходит обратно в сеть (генератор), то есть реактивный характер нагрузок вызывает дополнительные токи, а значит и создает дополнительное падение напряжения в сетях.

Компенсация реактивной мощности позволяет управлять реактивной составляющей полной мощности, а, следовательно, снижать потери электроэнергии, повышать ее качество у потребителей, что особенно важно для систем электроснабжения предприятий, агропромышленных комплексов, крупных городских жилых районов. Применение установок компенсации, метрологические поверки и калибровка приборов учета и контроля перетоков реактивной мощности способствуют решению данной проблемы.

Целью работы является исследование компенсации реактивной мощности для снижения потерь электроэнергии, повышения надежности системы электроснабжения без учета технических деталей. Для достижения этой цели определены следующие задачи:

— изучить основные методы и устройства компенсации реактивной мощности;

— определить вид схемы компенсации на участках ПАО «Россети Юг» ПС 110 кВ;

— рассчитать прогнозируемые активные потери электроэнергии при передаче и потреблении реактивной мощности в зависимости от коэффициента мощности распределительной сети;

— проанализировать результаты отпуска электрической энергии при коррекции коэффициента мощности и установить преимущества использования конденсаторов.

Основные методы и устройства компенсации реактивной мощности. Полная мощность во всех системах переменного тока состоит из активной и реактивной составляющих, которые могут выражаться комплексными числами как в тригонометрической, так и в показательной форме. Активная мощность в сети используется потребителями и необратимо превращается из электрической в другие виды энергии, т. е. выполняет полезную работу. Определенная часть мощности, запасаемая в нагрузке, из-за индуктивных и емкостных составляющих отдается полупериодами обратно в сеть (источник) колебательным контуром. То есть потребляется для создания электромагнитных полей. Эту составляющую называют реактивной мощностью (РМ). Она является отрицательным фактором для емкостной нагрузки и положительным — для индуктивной. Реактивная мощность сама по себе не выполняет работу, однако она необходима для функционирования асинхронного двигателя, трансформатора, генератора переменного тока. В связи с возвратным характером действия емкостного и индуктивного сопротивлений цепи происходит циркуляция реактивных токов между источником и нагрузкой, нагружая линии электропередач, а значит ухудшается пропускная способность сети [2, 3]. Экономически нецелесообразно повышать напряжение и ток с помощью генераторов электростанций, а также затраты на увеличение площади сечения кабелей. Поэтому для достижения максимальной эффективности и рационального использования энергии в распределительных сетях необходимо генерировать реактивную мощность в узлах нагрузки, а не на удаленных электрических станциях, что снижает потери напряжения и мощности в системе электроснабжения. Установка конденсаторных батарей на подстанциях является одним из важных мероприятий по компенсации реактивной мощности и снижению потерь электрической энергии в сетях [3–5].

Батареи статической компенсации (БСК) представляют собой группу конденсаторов параллельно-последовательного соединения. В отличие от синхронного компенсатора, обладающего положительным регулирующим эффектом, конденсаторные установки обладают малыми потерями активной мощности, просты в эксплуатации и в производстве монтажных работ. Для покрытия реактивной мощности в электрических сетях получили широкое распространение

индивидуальная, групповая и централизованная компенсация. Все виды компенсации РМ должны реализовываться синхронно с регулированием напряжения в сети 0,22–10 кВ [6].

Централизованная компенсация на стороне низшего напряжения связана с шинами под напряжением 0,4 кВ трансформаторной подстанции, а по реактивной мощности разгрузка происходит не только в вышерасположенных сетях с напряжением 6/10 кВ, но и в трансформаторах на подстанции. При этом внутризаводские распределительные сети с напряжением 0,38 кВ остаются неразгруженными. Соответственно при компенсации повышается надежность сети, электрооборудования и коммуникаций за счет снижения нагрузки и потребления электроэнергии. Конденсаторные установки с напряжением 0,4 кВ рассчитаны на потребительские сети сельских, поселковых, городских и промышленных объектов [6].

Что касается централизованной компенсации на стороне высшего напряжения, то конденсаторная установка по схеме связана с шинами под напряжением 6/10 кВ трансформаторной подстанции и не разгружает сеть промышленного предприятия и подстанции от реактивных токов. Однако загружаются от реактивной мощности только расположенные выше звенья энергосистемы: питающие сети с напряжением 6/10 кВ, трансформаторы главных подстанций с напряжением 110/6 кВ, питающие линии электропередачи с напряжением 110 кВ и генераторы электрических станций. При такой компенсации можно эффективно использовать кабели базового сечения и мощность в трансформаторах и питающих линиях. Централизованная компенсация ориентирована на конечного потребителя электроэнергии, а именно на промышленные объекты: порты, теплосети, нефтехимические организации, где используются нагрузки при напряжениях 6 и 10 кВ, а также на объекты со стихийно сложившимся условным делением потребительских сетей на сети низкого (до 0,4 кВ) и высокого (6 и 10 кВ) напряжения [6].

Индивидуальная компенсация применяется для подключения конденсаторной установки к зажимам электроприемников, постоянно потребляющих реактивную мощность. Отсюда следует, что такой способ эффективен для разгрузки от реактивных токов подводящих проводов к каждому конкретному потребителю и сетей высшего напряжения [6].

Групповая компенсация позволяет подключить общий постоянный конденсатор к нескольким одновременно работающим потребителям через распределительный пункт с напряжением 0,4 кВ. В этом случае разгружаются от реактивной мощности питательные сети с напряжением 0,4 кВ и трансформаторы на подстанциях кроме распределительных сетей к отдельным потребителям [6].

Схема компенсации на участках ПАО «Россети Юг» ПС 110 кВ. Предполагаемая схема централизованной компенсации реактивной мощности на участках ПАО «Россети Юг» ПС 110 кВ в районе ст. Пролетарская представлена на рис. 1. Такой способ компенсации позволяет сократить активные потери и увеличить пропускную способность воздушных линий электропередач. Временная нормальная электрическая схема электрических соединений ПС 110 кВ в районе ст. Пролетарская на 2020 г. представлена на рис. 2. БСК такой подстанции расчитаны на установленную мощность 12 МВАр при питании от шин с номинальным напряжением 10 кВ и номинальным током 190,58 А.

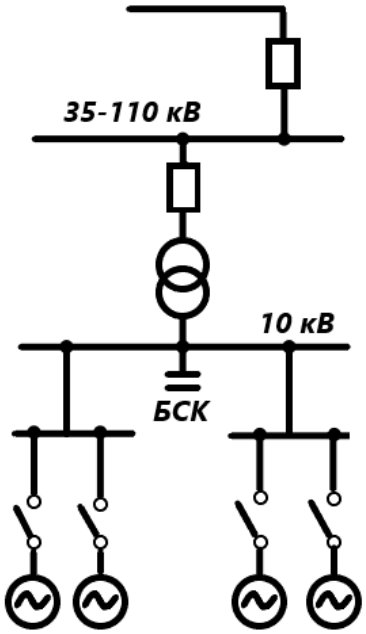


Рис. 1. Схема централизованной компенсации на стороне высшего напряжения для ПС 110 кВ в районе ст. Пролетарская

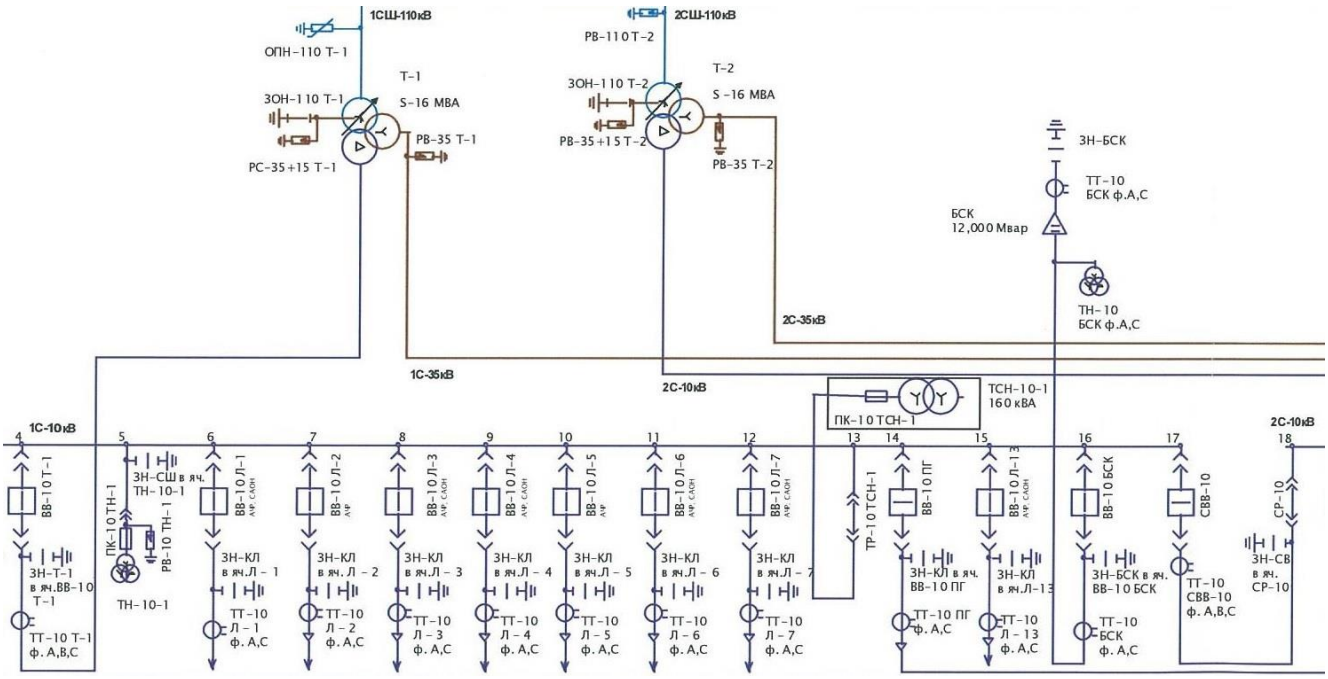


Рис. 2. Нормальная электрическая схема ПС 110 кВ в районе ст. Пролетарская

Применение того или иного способа компенсации реактивной мощности определяется на основании технико-экономических расчетов. Факторами, влияющими на выбор способа, являются количество источников РМ, режим их работы и коэффициент мощности cos φ. Здесь параметр φ — разность фаз между током и напряжением. Коэффициент мощности соответствует отношению активной мощности к полной мощности, которая потребляется нагрузкой. Он характеризует насколько эффективно используется электроэнергия. Высокие значения коэффициента мощности для всей распределительной сети соответствуют эффективному использованию электроэнергии, а низкие — неэффективному [7].

Расчет прогнозируемых активных потерь электроэнергии при передаче и потреблении реактивной мощности. Проведено исследование метода компенсации реактивной мощности. Для расчета прогнозируемых активных потерь электроэнергии при передаче и потреблении реактивной мощности целесообразно рассмотреть на примере сетей ПАО «Россети Юг». Среднее значение коэффициента мощности в распределительных сетях равно 0,8. Из доступной информации ПАО «Россети Юг» известно, что за 2019 г. отпуск электрической энергии в сеть составляет 25973,529 млн. кВт·ч. Так как отпуск электрической энергии из сети — 23649,693 млн. кВт·ч, то потери составили 2323,836 млн. кВт·ч, и это составляет 8,94 % от отпуска электрической энергии в сеть. Допустим, что при коррекции реактивной мощности в сети повышен коэффициент мощности на 0,01, тогда снижение потерь можно определить следующим образом:

$$W_{\text{факт}} - W_{\text{факт}} \cdot \frac{\cos(\varphi_1)^2}{\cos(\varphi_2)^2} = 2323{,}836 - 2323{,}836 \cdot \frac{0{,}8^2}{0{,}81^2} = 57{,}024 \text{ млн. кВт} \cdot \text{ч}.$$

Соответственно, при повышении коэффициента мощности на 0,01 фактические потери равны 2266,812 млн. кВт·ч, а экономия электрической энергии для ПАО «Россети Юг» составляет 57,075 млн. кВт·ч. Снижение потерь в процентном отношении определяется следующим образом:

$$W_{\text{факт}}(100\ \%) - W_{\text{факт}}(100\ \%) \cdot \frac{\cos(\varphi_1)^2}{\cos(\varphi_2)^2} = 100 - 100 \cdot \frac{0{,}8^2}{0{,}81^2} = 2{,}46\ \%.$$

Этот расчет показывает, что можно снизить потери за счет коррекции коэффициента мощности путем включения в цепь батарей статической компенсации, что и является важным мероприятием по повышению качества электроэнергии в распределительных сетях [7].

Заключение. Таким образом, конденсаторная установка для компенсации реактивной мощности на подстанциях, а именно БСК, дают ряд преимуществ:

— снижение потребления реактивной энергии из мощных сетей;
— применение линий электропередач с меньшей площадью поперечного сечения провода;
— уменьшение потерь активной составляющей полной мощности;
— увеличение пропускной способности электрической сети;
— повышение качества электрической энергии у потребителей;
— удобство обслуживания и эксплуатации БСК.

Библиографический список

1. Качество электроэнергии. Показатели и характеристики. Факторы / Информационно-познавательный сайт. Электрика и электрооборудование, электротехника и электроника. — Режим доступа: https://electrosam.ru/glavnaja/jelektrooborudovanie/jelektropitanie/kachestvo-elektroenergii/ (дата обращения: 12.04.2020).

2. Теория компенсации реактивной мощности / ООО «ЭнергоГарант». — Режим доступа: http://es-ekb.ru/uslugi/ustanovka-kompensacii-reaktivmoshhnosti/teoriya-kompensacii-reaktivnoj-moshhnosti.html (дата обращения: 12.04.2020).

3. Теория реактивной мощности / Конденсаторный завод «Нюкон». — Режим доступа: https://www.nucon.ru/reactive-power/theory-of-reactive-power.php (дата обращения: 12.04.2020).

4. Батареи статических конденсаторов / ТОО Усть-Каменогорский конденсаторный завод. — Режим доступа: https://www.ukkz.com/ru/catalog/batarei-staticheskikh-kodensatorov.html (дата обращения: 12.04.2020).

5. Для чего нужна компенсация реактивной мощности / Школа для Электрика. — Режим доступа: http://electricalschool.info/main/elsnabg/14-dlja-chego-nuzhna-kompensacija.html (дата обращения: 12.04.2020).

6. Установки компенсации реактивной мощности / ПрофСектор. — Режим доступа: https://profsector.com/publication/1/ustanovki-kompensatsii-reaktivnoy-moshhnosti (дата обращения: 12.04.2020).

7. Компенсация реактивной мощности и треугольник мощностей, теория и практика / «Хомов электро». — Режим доступа: http://khomovelectro.ru/articles/kompensatsiya-reaktivnoy-moshchnosti-i-treugolnik-moshchnostey-teoriya-i-praktika.html (дата обращения: 12.04.2020).

Об авторах:

Теребаев Валерий Владимирович, доцент кафедры «Интеллектуальные электрические сети» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, vant@novoch.ru

Федоров Владимир Дмитриевич, магистрант кафедры «Интеллектуальные электрические сети» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), fedorovvd96@rambler.ru

Authors:

Terebaev, Valeriy V., Associate professor, Department of Intelligent Electric Networks, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, RF, 344003), Cand.Sci., Associate professor, vant@novoch.ru

Fedorov, Vladimir D., Master's degree student, Department of Intelligent Electric Networks, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, RF, 344003), fedorovvd96@rambler.ru