

УДК 621.316.727

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И СОКРАЩЕНИЯ ПОТЕРЬ НА ПРИМЕРЕ ДАННЫХ «МРСК СИБИРИ»

Тарабин И.В., Скоков Р.Б., Терехин И.А., Горбачев С.А.

ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»,

Омск, e-mail: igor_tarabin@mail.ru

В последние годы повышению качества электрической энергии уделяют большое внимание, т.к. качество электроэнергии может существенно влиять на расход электроэнергии, надежность систем электроснабжения, технологический процесс производства. Одним из основных вопросов, связанных с повышением качества электроэнергии в районных сетях, является вопрос о компенсации реактивной мощности, включающий выбор целесообразных источников, расчет и регулирование их мощности, размещение источников в системе электроснабжения. В распределительных сетях коммунально-бытовых потребителей, содержащих преимущественно однофазную, изменяющуюся по индивидуальному режиму нагрузку, устройства компенсации реактивной мощности применяются крайне редко, однако за последнее десятилетие расход электроэнергии на 1 м² городского жилищного сектора увеличился втрое, необходимость применения компенсаторов реактивной мощности становится очевидной. На примере электрических сетей ОАО «МРСК Сибири» было рассчитано экономическое значение активных потерь при передаче и потреблении реактивной мощности, а также были даны мероприятия по оптимизации потоков реактивной мощности.

Ключевые слова: блоки статических конденсаторов, линия электропередачи, реактивная мощность, потери электрической энергии

COMPENSATION OF REACTIVE POWER AS METHOD OF IMPROVEMENT OF QUALITY OF ELECTRIC ENERGY AND REDUCTION OF LOSSES ON THE EXAMPLE OF DATA OF «MRSK OF SIBERIA»

Tarabin I.V., Skokov R.B., Terekhin I.A., Gorbachev S.A.

FGBOU VPO «Omsk State Transport University», Omsk, e-mail: igor_tarabin@mail.ru

In recent years, improvement of the quality of electrical energy are paying a lot of attention, because power quality can significantly affect the power consumption, reliability of power supply systems, manufacturing process. One of the major issues related to improving the quality of electricity in regional networks is the issue of compensation of reactive power, including the selection of appropriate sources, the calculation and regulation of power sources in the placement of the power supply system. The distribution networks of household consumers, containing mostly single-phase, varying according to individual load mode, reactive power compensation devices is rarely used, but in the last decade energy consumption per 1 m² of urban housing has tripled, the need for reactive power compensators becomes apparent. For example, the electric grids of «MRSK of Siberia», was calculated the economic value of the resistive losses in the transmission and consumption of reactive power, and were given to measures to optimize the flow of reactive power.

Keywords: blocks of static condensers, power line, reactive power, losses electric energy

Реактивная мощность, не производит никакой работы, но без нее не может быть передана активная мощность ни по линиям электропередач (ЛЭП), ни между первичной и вторичной обмотками трансформатора и через зазоры между статором и ротором электродвигателей. Потребителями реактивной мощности, необходимой для создания магнитных (электростатических) полей, являются как отдельные звенья электропередачи, так и такие электроприемники, которые преобразуют электроэнергию в другой вид энергии, который по принципу своего действия использует магнитное поле (асинхронные двигатели (АД), преобразовательные устройства, электроосветительные установки с газоразрядными лампами).

Если большую часть активной мощности потребляют приемники и лишь не-

значительная теряется в элементах сети и электрооборудовании, то потери реактивной мощности в элементах сети могут быть соизмеримы с реактивной мощностью, потребляемой приемниками электроэнергии.

Производство значительного количества реактивной мощности генераторами электростанций во многих случаях экономически нецелесообразно.

Мероприятия, проводимые по компенсации реактивной мощности, могут быть разделены на связанные со снижением потребления реактивной мощности приемниками электроэнергии и требующие установки компенсирующих устройств (КУ) в соответствующих точках системы электроснабжения.

Для компенсации реактивной мощности, потребляемой электроустановками

промышленного предприятия, используют генераторы электростанций и синхронные двигатели, а также дополнительно устанавливаемые компенсирующие устройства синхронные компенсаторы, батареи конденсаторов и специальные статические источники реактивной мощности.

Синхронные компенсаторы являются синхронными двигателями облегченной конструкции без нагрузки на валу. Они могут работать в режиме как генерации реактивной мощности (при перевозбуждении компенсатора), так и ее потребления (при недо возбуждении). Изменение генерируемой или потребляемой реактивной мощности компенсатора осуществляют регулированием его возбуждения. В настоящее время отечественная промышленность изготавливает синхронные компенсаторы мощностью от 5 до 160 МВ·А. Достоинствами синхронных компенсаторов как источников реактивной мощности являются: положительный регулирующий эффект, который заключается в том, что при уменьшении напряжения в сети генерируемая мощность компенсатора увеличивается; возможность плавного и автоматического регулирования генерируемой реактивной мощности; достаточная термическая и электродинамическая стойкость обмоток компенсаторов во время КЗ; возможность восстановления поврежденных синхронных компенсаторов путем проведения ремонтных работ.

К недостаткам синхронных компенсаторов следует отнести удорожание и усложнение эксплуатации (в сравнении, например, с конденсаторными батареями) и значительный шум во время работы. Потери активной мощности в синхронных компенсаторах

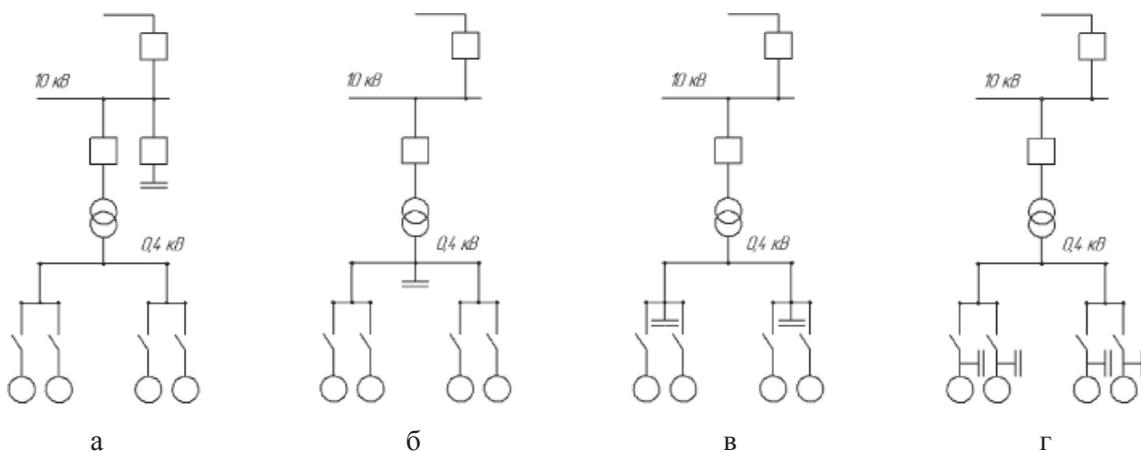
при их полной нагрузке довольно значительны и в зависимости от номинальной мощности находятся в пределах от 0,011 до 0,03 кВт/квар. Удельная стоимость синхронных компенсаторов и потери активной мощности значительно увеличиваются при уменьшении их номинальной мощности.

Синхронные двигатели в основном изготавливают с коэффициентом мощности 0,9 при опережающем токе. Они являются эффективным средством компенсации реактивной мощности. Наибольший верхний предел возбуждения синхронного двигателя определяется допустимой температурой обмотки ротора с выдержкой, достаточной для форсировки возбуждения при кратковременных снижениях напряжения.

Конденсаторы – специальные емкости, предназначенные для выработки реактивной мощности. По своему действию они эквивалентны перевозбужденному синхронному компенсатору и могут работать лишь как генераторы реактивной мощности.

Конденсаторы по сравнению с другими источниками реактивной мощности обладают малыми потерями активной мощности (0,0025-0,005 кВт/квар), простотой эксплуатации (ввиду отсутствия вращающихся и трущихся частей), простотой производства монтажных работ (малой массой, отсутствием фундаментов), возможностью использования для установки конденсаторов любого сухого помещения.

Для покрытия реактивной мощности косинусными конденсаторами в электрических сетях предприятий получили распространение централизованная, групповая и индивидуальная компенсации (рисунок).



Способы компенсации реактивной мощности в сетях предприятий:
 а, б, г – способы компенсации реактивной мощности в сетях предприятий;
 в – предлагаемая схема компенсации реактивной мощности
 на участке «МРСК Сибири» подстанции № 3214

При централизованной компенсации на стороне высшего напряжения (рисунок, а), когда конденсаторная установка подсоединяется к шинам 6/10 кВ трансформаторной подстанции, получается хорошее использование конденсаторов, их требуется меньше и стоимость 1 квар получается минимальной по сравнению с другими способами. При компенсации по этой схеме загружаются от реактивной мощности только расположенные выше звенья энергосистемы: питающие сети 6/10 кВ, трансформаторы главных подстанций 110/6 кВ, питающие линии электропередачи 110 кВ и генераторы электрических станций. Распределительные же сети питающих трансформаторов не загружаются, а следовательно, потери электроэнергии в них не уменьшаются и мощности трансформаторов на подстанции не могут быть уменьшены.

При централизованной компенсации на стороне низшего напряжения (рисунок, б), когда конденсаторная установка подсоединяется к шинам 0,4 кВ трансформаторной подстанции, от реактивной мощности разгружаются не только сети 10 кВ, но и трансформаторы на подстанции, а внутризаводские распределительные сети 0,4 кВ остаются неразгруженными. При групповой компенсации (рисунок, в), когда конденсаторные установки устанавливаются на штреках и подсоединяются непосредственно к участковым распределительным пунктам (РП) 0,4 кВ, разгружаются от реактивной мощности и трансформаторы на подстанции, и питательные сети 0,4 кВ. Неразгруженными остаются только распределительные сети к отдельным электроприемникам.

В целях равномерного распределения компенсирующих устройств целесообразно подключать конденсаторную установку к шинам РП таким образом, чтобы реактивная нагрузка этого РП составляла более половины мощности подключаемой конденсаторной установки.

При индивидуальной компенсации (рисунок, г), когда конденсаторная установка подключается непосредственно к зажимам потребляющего реактивную мощность электроприемника, такой способ является наиболее эффективным в отношении разгрузки от реактивной мощности питательной и распределительной сетей трансформаторов и сетей высшего напряжения, но при этом получается относительно недостаточное использование конденсаторных установок, так как при отключении электроприемника отключается и его конденсаторная установка. В целом по всей шахте потребуется большая установленная мощность конденсаторов. Индиви-

дуальная компенсация целесообразна при высоком коэффициенте одновременности для некоторых видов электроприемников, являющихся постоянными потребителями реактивной мощности.

Преимуществом индивидуальной компенсации является и то, что для конденсаторной установки используется то же пусковое устройство, что и для электроприемника, а разрядным сопротивлением служит электроприемник. Возможны также варианты комбинированного размещения конденсаторных установок. Все рассмотренные выше способы компенсации имеют положительные стороны, благодаря чему каждый из них находит свое применение.

Определение наиболее выгодных решений выбора способа компенсации реактивной мощности производится на основании технико-экономических расчетов, тщательных исследований производственных условий, факторов конструктивного характера и т.д. При выборе места размещения конденсаторной установки в распределительной сети необходимо учитывать ее влияние на режим напряжения и величину потерь энергии в сети.

В распределительных сетях коммунально-бытовых потребителей, содержащих преимущественно однофазную, изменяющуюся по индивидуальному режиму нагрузку, устройства компенсации реактивной мощности (КРМ) применяются крайне редко. Но принимая во внимание, что за последнее десятилетие расход электроэнергии на 1 м² городского жилищного сектора увеличился втрое, средняя статистическая мощность силовых трансформаторов сетей городской инфраструктуры достигла 325 кВ·А, а зона использования их трансформаторной мощности сместилась в сторону увеличения и находится в пределах 250–400 кВ·А, то необходимость применения КРМ становится очевидной.

Рассмотрим потери, связанные с повышенным $\cos \varphi$, и возможные выгоды при его повышении.

Экономическое значение активных потерь электроэнергии при передаче и потреблении РМ рассмотрим на примере сетей ОАО «МРСК Сибири». Примем наиболее характерный, средневзвешенный $\cos \varphi = 0,85$ в распределительных электрических сетях. Согласно сведениям об объемах переданной электроэнергии по сетям ОАО «МРСК Сибири» за 2014 год, отпуск электроэнергии в сети составил 78955,089 млн кВт·ч. Потери электроэнергии в сетях по оценке на 2011 г. составили 8,71 %:

$$\Delta W_{\text{факт}} = 78955,089 \cdot 0,0871 = 6876,99 \text{ млн кВт}\cdot\text{ч.}$$

Примем, что за счет мероприятий по оптимизации балансов РМ в сети, описанных выше, $\cos \varphi$ повышен на 0,01. Тогда прогнозируемые потери электроэнергии уменьшатся до величины

$$\Delta W_{\text{факт}} = 6876,99 \cdot \frac{0,85^2}{0,86^2} = 6252,15 \text{ млн кВт} \cdot \text{ч.}$$

Следовательно, можно ориентировочно считать, что повышение коэффициента мощности в целом в электрических сетях ОАО «МРСК Сибири» на 0,01 экономии 624,83 млн кВт·ч электроэнергии. Повышение коэффициента мощности на 0,01 в сетях высвобождает мощности генераторов на электростанциях. Если учесть, что для производства такого количества электроэнергии нужно иметь немалое количество топлива, которое необходимо получить из недр земли, затратить большой труд на добычу и доставку к электростанции, обеспечив выработку электроэнергии, то можно представить всю экономическую выгоду в экономике от уменьшения потребления РМ. Повышенное потребление РМ из сети при низких значениях $\cos \varphi$ вызывает необходимость увеличения сечений проводов и кабелей в электрических сетях для уменьшения потерь. При $\cos \varphi \leq 0,7$ вызываемый перерасход цветных металлов (меди и алюминия) составит более 50 %.

Низкий $\cos \varphi$ приводит к излишней нагрузке передачей РМ понижающих подстанций, поэтому необходимо увеличивать мощность трансформаторов или их количество. Повышенная нагрузка сетей реактивным током вызывает понижение напряжения в сети, а резкие колебания значения РМ – колебания напряжения в сети и, как следствие, ухудшение качества электроэнергии, отпускаемой потребителям.

Итак, подведем итог. Установки по компенсации реактивной мощности приносят ощутимые финансовые выгоды. Они также позволяют дольше сохранять оборудование в рабочем состоянии.

После реализации мероприятий по оптимизации потоков реактивной мощности на участке «МРСК Сибири» подстанции № 3214 будет достигнуто следующее:

1. Уменьшение нагрузки на силовые трансформаторы, увеличение в связи с этим срока их службы.

2. Уменьшение нагрузки на провода и кабели, возможность использования кабелей меньшего сечения.

3. Улучшение качества электроэнергии у электроприемников.

4. Ликвидация возможности штрафов за снижение $\cos \varphi$.

5. Уменьшение уровня высших гармоник в сети.

Список литературы

1. Правила устройства энергоустановок / Минэнерго. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 640 с.
2. Решение задач по нормализации потоков реактивной мощности в распределительных электрических сетях // Энергоэксперт. – 2007. – № 2.
3. Справочник по электропотреблению в промышленности / под ред. Г.П. Минина и Ю.В. Копытова. – М.: Энергия, 1978.
4. Тарабин И. В. Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Электроснабжение предприятий и электропривод». Часть 1 / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2011. – 44 с.
5. Федоров А.А. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию. – М.: Недра, 1975. – 475 с.: ил.

References

1. Pravila ustrojstva jenergoustanovok / Minjenergo. 6-e izd., pererab. i dop. M.: Jenergoatomizdat, 1985. 640 p.
2. Reshenie zadach po normalizacii potokov reaktivnoj moshhnosti v raspredelitelnyh jelektricheskikh setjah // Jenergojekspt. 2007. no. 2.
3. Spravochnik po jelektropotrebleniju v promyshlennosti / pod red. G.P. Minina i Ju.V. Kopytova. M.: Jenergija, 1978.
4. Tarabin I.V. Metodicheskie ukazanija k vypolneniju kursovogo proekta po discipline «Jelektrosnabzhenie predprijatij i jelektroprivod». Chast 1 / Omskij gos. un-t putej soobshhenija. Omsk, 2011. 44 p.
5. Fedorov A.A. Spravochnik po jelektrosnabzheniju i jelektro-oborudovaniju. M.: Nedra, 1975. 475 p.: il.

Рецензенты:

Сидоров О.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Электроснабжение железнодорожного транспорта», ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения», г. Омск;

Кузнецов А.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая электротехника», ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения», г. Омск.