

25.00.17 Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений (технические науки)

DOI: 10.31660/0445-0108-2019-6-176-183

УДК 621.31:622 (075)

Разработка модели автоматического регулирования компенсации реактивной мощности для нефтегазовой отрасли

Е. П. Власова*, А. Н. Боталов

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия

**e-mail: vlasovaep@tyuiu.ru*

Аннотация. Реактивная мощность оказывает существенное влияние на параметры системы электроснабжения нефтегазовой отрасли, вследствие этого происходит снижение качества работы электрической сети. Актуальность исследования обоснована задачами повышения качества электроэнергии в узлах нагрузки, состоящих из асинхронных двигателей, одним из которых является компенсация реактивной мощности, включающей расчет и автоматическое регулирование компенсирующих устройств. Цель работы — разработка и исследование системы управления компенсации реактивной мощности для улучшения качества электроэнергии. В работе предложено решение актуальной задачи компенсации реактивной мощности на основе предложенного алгоритма управления качеством электроэнергии. Разработанная в программном комплексе Matlab and Simulink система автоматического регулирования компенсации реактивной мощности позволяет формировать параметры по данным текущих измерений и регулировать напряжение при изменении режима работы нагрузки. Использование в системе управления MOSFET-транзисторов позволило создать необходимые токи компенсации с малым содержанием высших гармоник, которые создают искажения в напряжении питания и обеспечить высокое быстродействие работы установок компенсации реактивной мощности.

Ключевые слова: реактивная мощность; коэффициент мощности; компенсация реактивной мощности; компенсирующее устройство

Development of a model of automatic regulation of reactive power compensation for the oil and gas industry

Ekaterina P. Vlasova*, Aleksei N. Botalov

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

**e-mail: vlasovaep@tyuiu.ru*

Abstract. Reactive power has a significant impact on the parameters of the power supply system in the oil and gas industry; as a result, there is a decrease in the quality of the electric network. The relevance of the study is justified by the tasks of improving the quality of electricity in the load nodes consisting of asynchronous motors, one of which is the reactive power compensation, including the calculation and automatic regulation of compensating devices. The aim of the article is to design and research a reactive power compensation control system to improve the quality of electricity. The article proposes a solution to the actual problem of reactive power compensation based on the proposed power quality control algorithm. The system of automatic control of reactive power compensation developed in the Matlab and Simulink software package allows us to generate parameters according to current measurements and adjust the voltage when the load operation mode changes. The use of MOSFET transistors in the control system made it possible to create the necessary compensation currents with a low content of higher harmonics that create distortions in the supply voltage and ensure high speed of the reactive power compensation unit operation.

Key words: reactive power; power factor; reactive power compensation; compensating device

Введение

Обеспечение надежного электроснабжения объектов нефтегазодобычи является основной задачей электрической сети. Качество работы электрической сети — это ее свойство обеспечивать необходимую связь между узлами источника и потребителя электрической энергии для выполнения договорных обязательств сети по электроснабжению потребителей.

В данное время качеству электроэнергии уделяют особое внимание, потому что именно оно сильно влияет на надежность системы электроснабжения, также влияет на расходуемое количество электроэнергии и на технологический процесс производства¹.

Технологический процесс на предприятиях нефтегазодобычи является сложным, основная доля энергопотребления приходится на нелинейные и резко изменяющиеся нагрузки, которые потребляют большое количество реактивной энергии. Реактивная мощность требуется для создания переменных магнитных полей в нагрузках индуктивного типа. Однако непосредственно полезную работу реактивная мощность не выполняет. Особенностью потребителей реактивной энергии является то, что они оказывают значительное влияние на качество электрической энергии питающей сети. При этом нормальная работа потребителей электроэнергии как раз и зависит от качества электрической энергии, поступающей от питающей системы.

Реактивная мощность оказывает существенное влияние на параметры системы электроснабжения. В результате уменьшается пропускная способность линий электропередач, увеличиваются потери электроэнергии в проводниках из-за возрастания проходящего тока, происходят отклонения напряжения питающей сети.

В соответствии с приказом Министерства энергетики РФ максимальное значение коэффициента реактивной мощности², потребляемой в часы больших суточных нагрузок электрической сети напряжением 0,4 кВ, составляет 0,35.

¹ ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. 2014-07-01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 16 с.

² Приказ Министерства энергетики РФ № 380 «О Порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии». – Введ. 2015-06-23. – М.: Минэнерго, 2015. – 8 с.

С поставленной задачей справляются компенсирующие устройства — конденсаторные установки, главным элементом являются конденсаторы. Правильно подобранные компенсирующие устройства реактивной мощности позволяют:

- снизить нагрузку на линии электропередач, трансформаторы и другие распределительные устройства, продлевая срок их службы;
- снизить потери;
- уменьшить затраты на электрическую энергию;
- увеличить пропускную способность сети, что позволит увеличить нагрузку без увеличения стоимости самой сети;
- снизить расходы на обновление электрооборудования;
- убрать ненужную генерацию реактивной составляющей в часы минимума нагрузки;
- при создании новых сетей уменьшить сечение линий и мощность подстанции.

Регулирование мощности компенсирующего устройства в автоматическом режиме, в зависимости от количества потребляемой реактивной энергии, дает возможность снизить потери электрической энергии до минимальных показателей. При этом исключаются режимы перекомпенсации или недокомпенсации реактивной энергии [2, 3].

Объект и методы исследования

Для управления соотношением активной и реактивной мощности и повышения качества электроэнергии в электрической сети 0,4 кВ осуществляется компенсация реактивной мощности. Для этого производится параллельное подключение к нагрузке установки компенсации реактивной мощности (УКРМ) [4, 5]. После такой установки реактивная мощность не перетекает между нагрузкой и генератором, а совершает колебания между реактивными элементами потребителя и компенсирующим устройством [6, 7].

Объектом исследования является электрическая нагрузка, обладающая активно-индуктивным характером, в частности асинхронные двигатели, которые наряду с активной мощностью потребляют до 60–65 % всей реактивной мощности нагрузок энергосистемы [8, 9]. Параметры приведены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры электрической нагрузки на 0,4 кВ

Наименование	Номинальная мощность, кВт	Номинальный ток, А	Скольжение, %	Частота вращения, об/мин	КПД, %	cos φ
Электродвигатель АИММ280М6	90	169/97	1,8	1 000	93,7	0,864

Более эффективным способом снижения потребляемой из сети реактивной мощности является применение установок компенсации реактивной мощности. Для исследования работы УКРМ в данной статье разработана модель автоматического регулирования компенсации реактивной мощности в сети 0,4 кВ в программном комплексе Matlab and Simulink [10].

Экспериментальная часть/постановка эксперимента

На рисунке 1 показана разработанная функциональная схема автоматического регулирования компенсации реактивной мощности.

В блоке измерения, где происходит непрерывное измерение тока I и напряжения U сети, активной P и реактивной Q мощностей, формируется значение коэффициента реактивной мощности $tg\varphi$. При достижении коэффициентом реактивной мощности $tg\varphi$ предельного значения 0,5 блок управления вырабатывает сигнал Control для блока ключей, который производит подключение блока компенсации C к сети с помощью открытия ключей MOSFET.

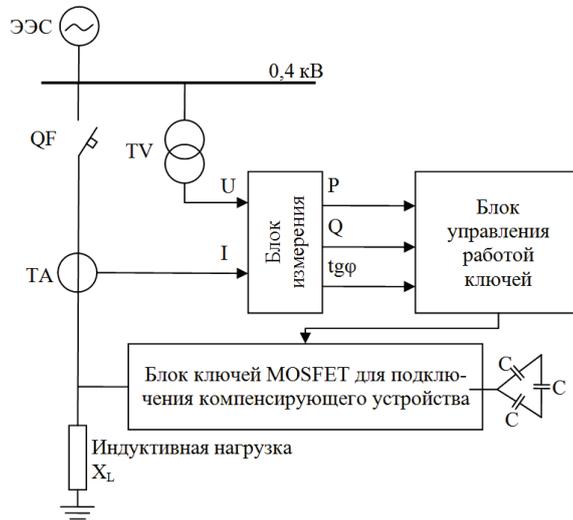


Рис. 1. Функциональная схема автоматической компенсации реактивной мощности

В модели блока измерения (рис. 2) используется пользовательский блок «MEASUREMENTUNIT», построенный на компонентах библиотеки Simulink, а также включающий пользовательский блок «ACTIVE/REACTIVE». Блоки измерения активной и реактивной мощности «Active & Reactive Power», «Active & Reactive Power 1», «Active & Reactive Power 2» из библиотеки «Sim Power Systems» обеспечивают измерение активной и реактивной мощности по каждой фазе трехфазной линии электрической сети.

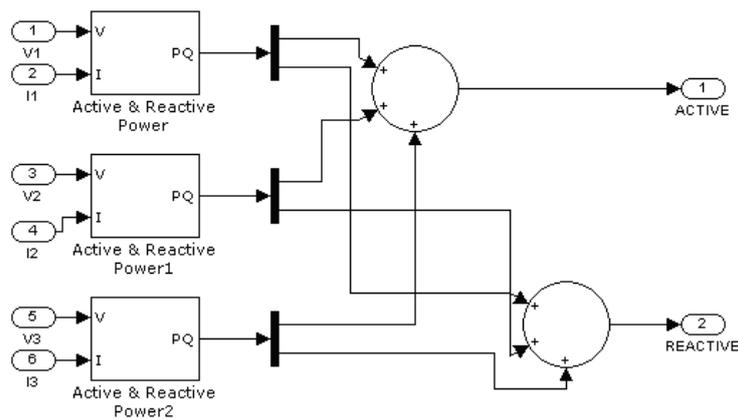


Рис. 2. Блок измерения

Модель компенсации реактивной мощности обеспечивает практическое совпадение активной и реактивной мощности к допустимым значениям и контролирует качество электроэнергии, причем время срабатывания этой модели очень мало. Параллельное подключение к нагрузке установки компенсации реактивной мощности, состоящей из блока конденсаторов, включаемого в сеть при помощи блока высокоскоростных ключей на основе MOSFET-транзисторов, позволяет создавать необходимые токи компенсации с малым содержанием высших гармоник. Ключи на основе MOSFET-транзисторов обеспечивают высокое быстродействие работы УКРМ [11, 12]. На рисунке 3 показана схема блока ключей и блока управления работой ключей с использованием блоков полевых транзисторов MOSET из библиотеки «Sim Power Systems». Для блока конденсаторов использовался компонент «Series RLC Branch» из библиотеки «Sim Power Systems».

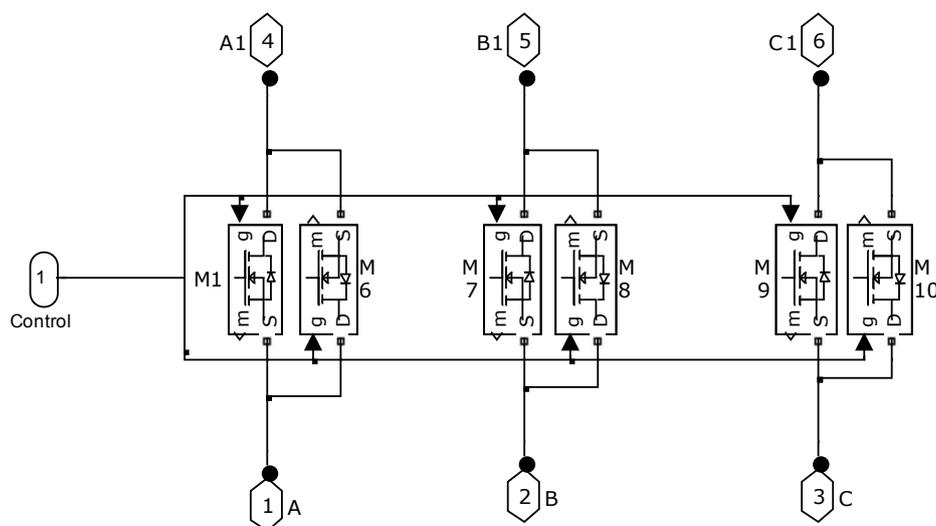


Рис. 3. Схема блока ключей и блока управления работой ключей с применением MOSFET-транзисторов

Расчет необходимой мощности установки УКРМ по формуле [13]

$$Q = P \cdot (tg\varphi1 - tg\varphi2), \quad (1)$$

где P — потребляемая активная мощность, кВт; $tg\varphi1$ — коэффициент мощности до установки УКРМ; $tg\varphi2$ — коэффициент мощности после установки УКРМ (требуемое значение).

По формуле (1) получим

$$Q = 90 \cdot (0,58 - 0,35) = 20,7 \text{ кВар.}$$

Зависимость емкости конденсаторов в мкФ от мощности УКРМ, кВар

$$C = \frac{Q \cdot 10^9 \cdot (tg\varphi1 - tg\varphi2)}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U^2}, \quad (2)$$

где C — емкость конденсатора, мкФ; Q — мощность УКРМ, кВАр; f — частота сети, Гц; U — напряжение, В.

По формуле (2) получим

$$C = \frac{20,7 \cdot 10^9 \cdot (0,58 - 0,35)}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 380^2} = 105 \text{ мкФ.}$$

Результаты

Исследование разработанной модели автоматической компенсации реактивной мощности в сетях 0,4 кВ в среде моделирования Matlab and Simulink при различной емкости конденсаторов компенсирующего устройства представлено на рисунках 4 и 5.

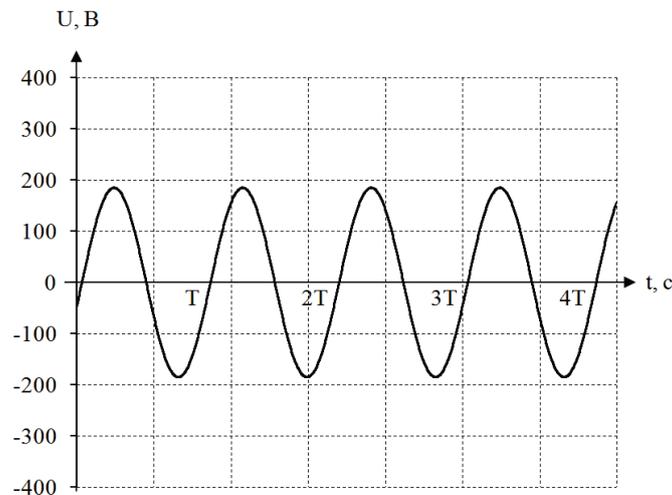


Рис. 4. Зависимость напряжения при емкости конденсаторов $C = 0$ мкФ

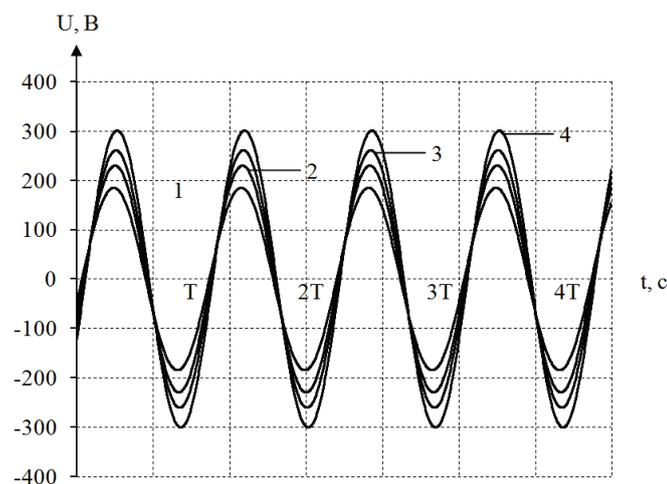


Рис. 5. Зависимости напряжения при разной емкости конденсаторов C :
1 — $C = 0$ мкФ; 2 — $C = 25$ мкФ; 3 — $C = 50$ мкФ; 4 — $C = 100$ мкФ

Выводы

Исследование разработанной модели показало, что усовершенствованная система автоматического управления компенсации реактивной мощности позволяет формировать сигналы, приемлемые для реализации как по техническим, так и по эксплуатационным показателям.

Предложенная модель компенсации реактивной мощности с применением MOSFET-транзисторов благодаря сниженному взаимному влиянию гармоник с подключенной системой многоуровневых преобразователей на преобразователях напряжения по сравнению с другими типами компенсаторов наиболее эффективна для использования в различных системах электроснабжения.

Библиографический список

1. Азаров М. С., Власова Е. П. Автоматическая компенсация реактивной мощности // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: материалы Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов. – Тюмень, 2018. – С. 232–234.
2. Бурман А. П., Розанок Ю. К., Шакарян Ю. Г. Управление потоками электроэнергии и повышение эффективности энергетических систем. – М.: Изд-во МЭИ, 2012. – 336 с.
3. Красник В. В. Автоматические устройства по компенсации реактивной мощности в электросетях предприятий. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 136 с.
4. Вагин Г. Я., Севостьянов А. А., Юртаев С. Н. К вопросу о выборе источников реактивной мощности на промышленных предприятиях // Промышленная энергетика. – 2012. – № 4. – С. 26–30.
5. Васюченко П. В., Кирисов И. Г., Овчаренко Т. И. Обоснование целесообразности компенсации реактивной мощности в условиях эксплуатации // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2013. – № 7 (113). – С. 24–28.
6. Радкевич В. Н., Тарасова М. Н. Оценка степени снижения потерь активной мощности в линиях электропередачи при компенсации реактивной мощности // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2016. – Т. 59, № 1. – С. 5–13. DOI: 10.21122/1029-7448-2016-59-1-5-13
7. Malyar V. S., Dobushovska I. A. Reactive power compensation in asynchronous electric drives // Electrical Engineering & Electromechanics. – 2013. – № 5. – P. 36–38.
8. Номае О., Zakariazadeh A., Jadid Sh. Real-time voltage control algorithm with switched capacitors in smart distribution system in presence of renewable generations // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. – 2014. – Vol. 54. – P. 187–197. DOI: 10.1016/j.ijepes.2013.07.010
9. Ajarapu V., Lau P. L., Battula S. An optimal reactive power planning strategy against voltage collapse // IEEE Transactions on Power Systems. – 1994. – Vol. 9, Issue 2. – P. 906–917. DOI: 10.1109/59.317656
10. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.
11. Chavez D., Espinosa S., Cazco D. A. Reactive Power Optimization of the Electric System based on Minimization of Losses // IEEE Transactions on Power Systems. – 2016. – Vol. 14. – P. 4540–4546. DOI: 10.1109/TLA.2016.7795826
12. Boudrias J.-G., Bannard J. Power factor correction and energy saving // Annual petroleum and chemical industry conference. – 2002. – Vol. 49. – P. 99–102.
13. Юртаев С. Н. Повышение эффективности средств компенсации реактивной мощности на предприятиях со специфическими электроприемниками: дис. ... канд. техн. наук. – Нижний Новгород, 2012. – 249 с.

References

1. Azarov, M. S., Vlasova, E. P. (2018). Avtomaticheskaya kompensatsiya reaktivnoy moshchnosti. Energoberezeniye i innovatsionnyye tekhnologii v toplivno-energeticheskom

комплексе: материалы Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov, molodykh uchenykh i spetsialistov. Tyumen, pp. 232-234. (In Russian).

2. Burman, A. P., Rozanok, Yu. K., & Shakaryan, Yu. G. (2012). Upravleniye potokami elektroenergii i povysheniye effektivnosti energeticheskikh sistem. Moscow, MEI Publ., 336 p. (In Russian).

3. Krasnik, V. V. (1983). Avtomaticheskkiye ustroystva po kompensatsii reaktivnoy moshchnosti v elektrosetyakh predpriyatiy. 2nd edition, revised and expanded. Moscow, Energoatomizdat Publ., 136 p. (In Russian).

4. Vagin, G. Ya., Sevost'yanov, A. A., & Yurtaev, S. N. (2012). K voprosu o vybore istochnikov re-aktivnoy moshchnosti na promyshlennyykh predpriyatiyakh. Industrial Power Engineering, (4), pp. 26-30. (In Russian).

5. Vasyuchenko, P. V., Kirisov, I. G., & Ovcharenko, T. I. (2013). Feasibility study of reactive power compensation under operation conditions. Energoberezeniye. Energetika. Energoaudit, (7(113)), pp. 24-28. (In Russian).

6. Radkevich, V. N., & Tarasova, M. N. (2016). Evaluating degree of active power losses reduction in the electric power lines with reactive power compensation. ENERGETIKA. Proceedings of CIS higher education institutions and power engineering associations, 59(1), pp. 5-13. (In Russian). DOI: 10.21122/1029-7448-2016-59-1-5-13

7. Malyar, V. S., & Dobushovska, I. A. (2013). Reactive power compensation in asynchronous electric drives. Electrical Engineering & Electromechanics, (5), pp. 36-38. (In English).

8. Homaei, O., Zakariazadeh, A., & Jadid, Sh. (2014). Real-time voltage control algorithm with switched capacitors in smart distribution system in presence of renewable generations // International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 54, pp. 187-197. (In English). DOI: 10.1016/j.ijepes.2013.07.010

9. Ajjarapu, V., Lau, P. L., & Battula, S. (1994). An optimal reactive power planning strategy against voltage collapse. IEEE Transactions on Power Systems, 9(2), pp. 906-917. (In English). DOI: 10.1109/59.317656

10. Chernykh, I. V. (2008). Modelirovaniye elektrotekhnicheskikh ustroystv v MATLAB, SimPowerSystems i Simulink. Moscow, DMK Press Publ., St. Petersburg, Piter Publ., 288 p. (In Russian).

11. Chavez, D., Espinosa, S., Cazco, D. A. (2016). Reactive Power Optimization of the Electric System based on Minimization of Losses. IEEE Transactions on Power Systems, 14, pp. 4540-4546. (In English). DOI: 10.1109/TLA.2016.7795826

12. Boudrias, J.-G., Bannard, J. (2002). Power factor correction and energy saving. Annual petroleum and chemical industry conference, 49, pp. 99-102.

13. Yurtayev, S. N. (2012). Povysheniye effektivnosti sredstv kompensatsii reaktivnoy moshchnosti na predpriyatiyakh so spetsificheskimi elektropriyemnikami: Diss. kand. tekhn. nauk. Nizhny Novgorod, 249 p. (In Russian).

Сведения об авторах

Власова Екатерина Петровна, к. т. н., доцент кафедры электроэнергетики, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, e-mail: vlasovaep@tyuiu.ru

Боталов Алексей Николаевич, магистрант кафедры электроэнергетики, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Information about the authors

Ekaterina P. Vlasova, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Electric Power Engineering, Industrial University of Tyumen, e-mail: vlasovaep@tyuiu.ru

Aleksei N. Botalov, Master's Student at the Department of Electric Power Engineering, Industrial University of Tyumen