

УДК 620.9.001.5

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКТИВНО-АДАПТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ И УПРАВЛЕНИЕ ИМИ ПРИ ПОМОЩИ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ

Ю.П. Кубарьков, Я.В. Макаров, К.А. Голубева, В.М. Дашков

Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Подняты вопросы оптимизации уровня напряжения на шинах потребителей при использовании батарей статических конденсаторов, увеличения пропускной способности линий электропередач путем внедрения источника распределенной генерации. Рассмотрена диспетчеризация имеющихся и вновь вводимых электроэнергетических элементов с целью создания активно-адаптивной системы и обеспечения надежности электроснабжения потребителей. Отмечается возможность использования в качестве системы управления мультиагентной системы, обладающей необходимой гибкостью и приспособляемостью к изменяющимся условиям.

Ключевые слова: *электрические сети, активно-адаптивные элементы, оптимизация уровня напряжения, мультиагентная система.*

Введение

В настоящее время остаются актуальными вопросы улучшения качества электроэнергии, надежности электроснабжения потребителей и внедрения новых элементов, позволяющих сократить потери электроэнергии и управлять потоками мощности [1]. Однако внедрение активно-адаптивных элементов осуществляется преимущественно на низких классах напряжений 6–35 кВ. И связано это в первую очередь с необходимостью оптимизации режимов работы потребителей и сокращения собственных потерь в сетях крупных предприятий.

При этом наиболее распространенными мерами являются: увеличение пропускной способности линий электропередач путем замены существующих проводов на провода с большим сечением или проведения дополнительной линии электропередач; установка батарей статических конденсаторов. В настоящее время во всем мире все более широкое внедрение находят также источники распределенной генерации, которые могут быть расположены в непосредственной близости от потребителей и, таким образом, обеспечивать их электроэнергией, существенно сокращая ее потери при передаче в электрических сетях. Но, несмотря на эти преимущества, они обладают и собственными недостатками, главный из которых заключается в необходимости диспетчеризации имеющихся источников распределенной генерации.

Для решения этой задачи возможно использование автоматизированных систем управления, в основе которых лежит принцип децентрализованного принятия решений [2]. Системы, основанные на мультиагентной архитектуре, могут сыграть ключевую роль в дальнейшем преобразовании систем электроснабжения, поскольку позволяют учитывать располагаемые и вновь вводимые ресурсы,

*Юрий Петрович Кубарьков (д.т.н.), профессор кафедры «Электрические станции».
Ярослав Викторович Макаров, ассистент кафедры «Электрические станции».
Кристина Анатольевна Голубева, ассистент кафедры «Электрические станции».*

спрос потребителей на электроэнергию и большое количество ограничений, обусловленных как самими элементами электрических сетей, так и изменением топологии, выходом из строя оборудования или его выводом в ремонт [3].

Моделирование электрической сети

Возможные пути оптимизации режима работы электрической сети и в частности уровня напряжения на шинах потребителей рассмотрены на примере радиальной электрической схемы 10,5 кВ.

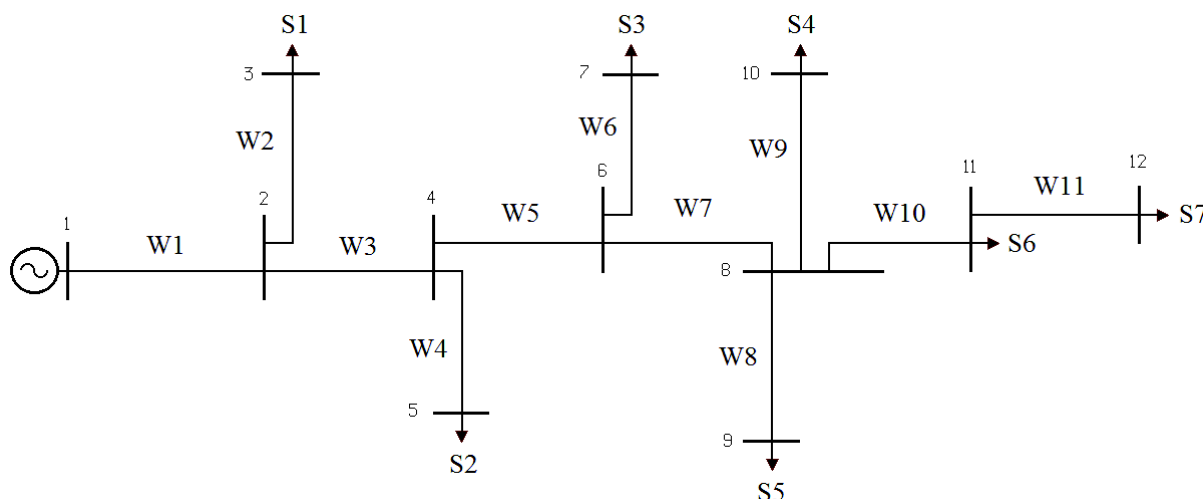


Рис. 1. Схема электрической сети 10,5 кВ

На рис. 1 представлена схема радиальной электрической сети напряжением 10,5 кВ. Линии электропередач имеют одинаковое сечение и выполнены проводом марки АС-50/8. Длина ЛЭП указана в табл. 1, характеристики подключенных нагрузок приведены в табл. 2.

Таблица 1

Длина ЛЭП

№ линии	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	W11
L, км	0,15	0,15	0,77	0,15	0,15	0,15	0,31	0,3	0,23	0,3	0,3

Таблица 2

Характеристики подключенных нагрузок

Потребитель	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
P, кВА	160	100	400	250	160	250	400
Q, квар	80	50	200	120	80	120	200

Ограничение по напряжению в узлах сети можно описать следующим образом:

$$U_{i\text{мин}} \leq U_{i\tau} \leq U_{i\text{макс}}; \quad i = \overline{1, N}; \quad \tau = \overline{1, T},$$

где τ – дискретное время.

Исследования и расчеты

Для данной сети рассмотрены основные меры по оптимизации уровня напряжения, отмеченные ранее: установка батарей статических конденсаторов (БСК) и проведение дополнительной ЛЭП [4]. Мощность устанавливаемых БСК выбиралась в соответствии с номиналами промышленно производимых установок (табл. 3).

Таблица 3

Мощность устанавливаемых БСК

Потребитель	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Мощность БСК, квар	75	50	200	100	75	100	200

Наибольшее падение напряжения в нормальном режиме наблюдается на линии W3. Как известно, падение напряжения на участке сети определяется по формуле

$$\Delta U = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U},$$

где R и X – соответственно активное и индуктивное сопротивление участка сети;

P и Q – величины активной и реактивной мощностей, протекающих по участку сети.

С другой стороны, снижая величину сопротивления связи, возможно добиться уменьшения падения напряжения, поэтому прокладка дополнительной ЛЭП того же сечения на этом участке позволит уменьшить это значение, а также благотворно повлияет на уровни напряжения на шинах потребителей S2–S7.

Уровни напряжения в узлах сети по наиболее загруженному пути представлены на рис. 2. Можно отметить, что согласно ГОСТ 32144-2013 отклонение уровней напряжения от номинального не превышает нормально допустимых значений ($\pm 5\% U_{\text{ном}}$).

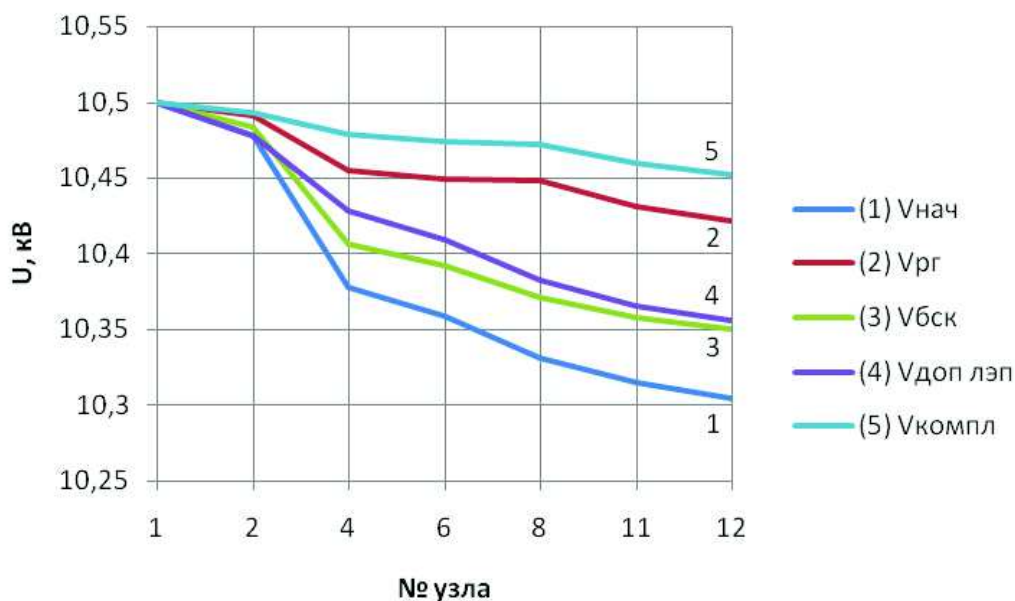


Рис. 2. Режимы работы сети для вариантов ее усиления

Проведенные расчеты показали, что при реализации этих мероприятий будет получен сопоставимый результат и напряжение на шинах наиболее удаленного потребителя составит 10,350 и 10,355 кВ соответственно. Однако проведение дополнительной ЛЭП является более затратным мероприятием и является целесообразным в случае дальнейшего расширения производства и увеличения количества подключаемых потребителей, а установка БСК требует наличия устройств регулирования, т. к. в случае перекомпенсации во время минимальной нагрузки возможны отклонения от номинального значения напряжения в большую сторону.

При перспективе развития сети была рассмотрена возможность использования источников распределенной генерации или возобновляемых источников в частности. Установка большого количества источников распределенной генерации малой мощности вблизи (на шинах) потребителей даст определенный эффект, но усложнит процесс диспетчеризации, в то время как установка одного дополнительного источника в узле максимальной нагрузки позволит получить сопоставимый результат [5]. Таким образом, наиболее рациональной принята установка источника распределенной генерации мощностью 1,5 МВт в 8-й узел, который в нормальном режиме будет обеспечивать электроэнергией потребителей S4-S7, что позволит сохранить изначальное направление потоков мощности в сети. Уровни напряжения в узлах сети в этом случае представлены на рис. 2.

Последний режим предполагает реализацию всех ранее рассмотренных мер для оптимизации уровня напряжения.

Мультиагентная система управления

Стоит отметить, что для достижения полученных результатов необходимо применение современных систем распределенной диспетчеризации, которые обладают достаточной гибкостью для своевременного реагирования на изменение нагрузки и управления распределенными источниками электроэнергии. Для этих целей, как уже отмечалось ранее, может быть использована мультиагентная система (МАС).

МАС состоит из определенного количества различных агентов. Каждый агент моделирует элемент сети (трансформатор, ЛЭП и т. д.) и его свойства, а также может обладать определенными целями и задачами. Таким образом, система может управлять активными элементами сети (такими как БСК и источники РГ), перераспределяя потоки электроэнергии и добиваясь снижения ее потерь и стабилизации уровня напряжения на шинах потребителей.

Решение об изменении характеристик конкретного элемента, например выдаваемой источником распределенной генерации мощности, принимается агентами коллективно исходя из того, будет ли это действие удовлетворять имеющимся ограничениям и целям других агентов.

Кроме всего прочего при возникновении аварии и выходе из строя определенных элементов сети МАС может реконфигурировать электрическую сеть, а затем и оптимизировать режим работы источников и потребителей с учетом вновь возникших ограничений. В случае подключения к сети нового элемента он сразу же интегрируется в МАС в виде соответствующего агента, а система подстраивается под работу с этим элементом автоматически.

Выводы

Реализация концепции развития интеллектуальной электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью и внедрение адаптивной системы управления на основе МАС позволят достичь следующих результатов:

- оптимизация уровня напряжения на шинах потребителей;
- снижение уровня потерь в сети;
- повышение пропускной способности линий электропередач;
- увеличение надежности электроснабжения потребителей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кубарьков Ю.П., Голубева К.А., Макаров Я.В. Оптимизация уровней напряжения в сети с распределенной генерацией // 2-я международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии в энергетике». 30 ноября 2014 г. – Пенза: Приволжский дом знаний, 2014. – С. 76–79.
2. Гольдштейн В.Г., Кубарьков Ю.П., Макаров Я.В. Сохранение стабильного уровня напряжения в сетях с помощью мультиагентных систем // Электрооборудование, эксплуатация и ремонт. – 2015. – № 8.
3. Кубарьков Ю.П., Макаров Я.В. Решение задач управления в энергетике с применением мультиагентов // Интеллектуальные энергосистемы: Труды III Международного молодежного форума. В 3 т. – Томск, 2015. Т. 3. – С. 149–152.
4. Elnashar M.M. R. El-Shatshat and M. A. Salama, “Optimum Siting and Sizing of a Large Distributed Generators in a Mesh Connected System,” International Journal of Electric Power System Research, Vol. 80, June 2010, pp. 690–697.
5. Abdolreza Sadighmanesh, Kazem Zare, Mehran Sabahi. Distributed Generation unit and Capacitor Placement for Loss Voltage profile and ATC Optimization. International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). 2012; 2(6): 774-780.

Статья поступила в редакцию 1 августа 2016 г.

THE USE OF ACTIVE ADAPTIVE ELEMENTS IN THE POWER SUPPLY AND MANAGEMENT BY MULTI-AGENT SYSTEMS

Y.P. Kubarkov, Ya.V. Makarov, K.A. Golubeva

Samara State Technical University
244, Molodogvardeiskaya str., Samara, 443100, Russian Federation

The paper discusses how to optimize the voltage level on the consumers' buses using static capacitor batteries, increasing the capacity of transmission lines and by implementing distributed generation sources. As well as organizing the scheduling of existing and newly introduced electric elements in order to create an active-adaptive system and ensure the reliability of electricity supply to consumers. As a control system is marked the possibility of using multi-agent system with the necessary flexibility and adaptability to changing conditions.

Keywords: *electric networks, active-adaptive elements, the optimization of voltage level, multi-agent system.*

*Yury P. Kubarkov (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.
Yaroslav V. Makarov, Assistant.
Kristina A. Golubeva, Assistant.*