

УДК 681.3

Особенности управления распределенными энергетическими системами

Т.В. Аветисян¹, Ю.А. Клименко¹, А.П. Преображенский²✉

¹Колледж Воронежского института высоких технологий, Воронеж, Россия

²Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Россия

В работе рассматриваются возможности управления современными распределенными энергетическими системами. Показаны преимущества использования таких систем. Обозначены недостатки в используемых подходах при описании систем. Дана иллюстрация основных видов возобновляемых источников энергии. Показано, что необходимо использовать гибридные энергетические комплексы. Рассмотрены основные характеристики хаотических систем.

Ключевые слова: системный анализ, энергетическая система, управление, распределенная генерация энергии.

The features of distributed energy systems management

T.V. Avetisyan¹, Yu.A. Klimenko¹, A.P. Preobrazhenskiy²✉

¹College of Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, Russia

²Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, Russia

The paper examines the possibilities of managing modern distributed energy systems. The advantages of using such systems are shown. The shortcomings in the approaches used in the description of the systems are indicated. The main types of renewable energy sources are illustrated. It is shown that it is necessary to use hybrid energy complexes. The main characteristics of chaotic systems are considered.

Keywords: system analysis, energy system, controls, distributed power generation.

В настоящее время можно наблюдать развитие распределенных энергетических систем. В качестве их преимущества можно отметить то, что доступные энергоресурсы используют адаптивным образом. При этом можно наблюдать, что если сравнить с тем, как работают централизованные энергетические системы, то в таких структурах будут наблюдаться процессы, которые связаны с уменьшением потерь электроэнергии.

Существуют определенные проблемы при функционировании указанного класса систем. Они связаны с тем, что частота и амплитуда электрических напряжений сети могут отклоняться от допустимых значений. Это происходит в следствие дисбаланса между потребляемыми и генерируемыми мощностями. Помимо этого, могут возникать устойчивые хаотические колебания режимных параметров сети. Если смещаются центры электрических нагрузок в сети, то в питающих линиях электропередачи возникают дополнительные потери электроэнергии.

Поэтому в децентрализованных энергетических системах необходимо стремиться к тому, чтобы поддерживать частоту и напряжение внутри диапазона допустимых значений. По режимным параметрам важно осуществлять детектирование и подавления хаотических колебаний. Относительно питающих линий следует потери электроэнергии минимизировать.

Есть соответствующее направление, в рамках которого ведется разработка методик управления распределенными энергетическими системами, в которых

учитываются возможности уменьшения мощности в ходе передачи электроэнергии при появлении хаотических колебаний. Компьютерное моделирование дает возможность для того, чтобы осуществлять апробацию по таким методикам управления.

При использовании распределенных энергетических систем можно указать такие преимущества:

- вследствие увеличения числа источников питания будет происходить повышение надежности;
- в ходе распределения энергии и ее передачи будет происходить уменьшение потерь электроэнергии;
- все возможные типы энергоресурсов могут быть использованы на практике;
- в ходе эксплуатации электроустановок будут минимизироваться сроки, связанные с их построением и сдачей.

Распределенные энергетические системы могут комбинироваться с централизованными системами. В состав распределенных энергетических систем могут входить возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Такая гибридизация дает возможности для того, чтобы распределить ВИЭ территориально.

На практике в мировых масштабах высокоэффективные ВИЭ интегрируют в многомашинные энергетические станции. Управление ими реализуется на основе виртуальных электростанций.

В системах, связанных с распределенной генерацией, можно отметить некоторые недостатки. Основной из них связан с тем, что производство электроэнергии является стохастическим. В таком случае необходимо позаботиться о том, чтобы были емкие энергохранилища. Они дают возможности для того, чтобы увеличить стабильность энергоснабжения потребителя. Кроме того, за счет централизации будет реализовываться не менее 50% мощности.

Газотурбинные и газопоршневые установки в системах генерации в настоящее время рассматриваются как наиболее эффективные и конкурентноспособные. При этом в ходе их использования можно отметить такие недостатки:

- могут появляться потоки мощности, которые являются реверсивными;
- для того, чтобы регулировать напряжение и частоту, требуется разработка соответствующей системы;
- вероятность появления асинхронных режимов увеличивается вследствие малых инерционных показателей агрегатов;
- объемы, соответствующие генерации и потреблению энергии меняются вероятностным образом.

Следует отметить, что на основе средств релейной защиты есть возможности для того, чтобы справиться с первыми тремя недостатками.

В системах могут быть активные потребители. Они обеспечивают производство энергии как для собственных нужд, так и поставляют ее во внешнюю сеть.

Есть возможность применения элементов распределенной генерации как в отдельных жилых зданиях, так и в различных производственных помещениях. В связи с локальным характером использование генерирующих мощностей потери электроэнергии можно свести к минимальным значениям, а пропускную способность линий электропередачи увеличить максимально.

Проблемы децентрализации энергоснабжения подробно рассмотрены в работе [1]. Осуществлялись процессы имитационного моделирования с применением программного пакета SympowerSystems (Matlab). В модели рассматривались особенности характеристик многоквартирного дома и микро-ГЭС. Исследовалась возможность обеспечения устойчивости системы при различных режимах работы в периоды изменения величины нагрузки в течение суток. В данной работе не показаны

схемы, на основе которых происходит процесс замещения электроприемников, а используются активно-индуктивные нагрузки в ходе описания.

Работа [2] посвящена проблеме анализа того, как на показатели качества электроэнергии будут оказывать влияние нелинейные нагрузки. Показаны особенности работы S-схем. Не использована детализация по конкретным видам электроприемников.

Работа [2] посвящена процессам моделирования энергетических систем на основе использования программного продукта Matlab. Внутри офиса проведен анализ нагрузок электроприемников, при этом не приведены расчеты по схемам замещения электроприемников.

Для примера индивидуального жилищного строительства процессы детализации энергосистем рассмотрены в работе [3]. Использовался пакет SympowerSystems (Matlab) для проведения имитационного моделирования. Проведен анализ использования основных бытовых электроприборов. На базе анализа гармонических искажений даны оценки качества электроэнергии и состояния электрической сети. В ходе рассмотрения недостаточно уделено внимание использованию электроприводов с частотным преобразованием характеристик электрического тока, которые являются нелинейными, что ведет к возникновению гармонических искажений. Тогда следует применять частотно-регулируемый электропривод в имитационной модели. Не даны схемы замещения электроприемников.

Использование распределенной генерации для горнообогатительных предприятий рассмотрено в работе [4]. Показано, как меняется реактивная и активная составляющие электрической мощности на подстанции предприятия с применением методов моделирования. При этом не представлены схемы замещения для основных элементов.

В работе [5] показаны возможности применения резервного источника питания на предприятии. При рассмотрении трансформаторных подстанций и линий электропередачи детально продемонстрирована детализация формирования компьютерных моделей. Не исследованы возможности оценки динамики изменения напряжений в тех случаях, когда осуществляется пуск асинхронных двигателей. Рассмотрены возможности увеличения диапазона регулирования напряжения.

Таким образом, в существующих методиках для описания распределенных энергетических систем есть определенные недостатки.

Рассмотрим особенности подходов, которые связаны с тем, как происходит управление энергетическими системами, связанными с распределенной генерацией.

Системы, в которых реализуются процессы распределенной генерации, могут рассматриваться в виде систем кибернетического типа, имеющих сложную структуру.

По ключевым задачам, которые исследуются в ходе управления распределенными энергетическими системами, можно выделить:

1. Обеспечение условий сохранения баланса потребляемых и генерируемых мощностей.
2. Для допустимого диапазона отклонения по частоте и напряжению поддержка стабилизации по значениям.
3. Для хаотических режимов работы необходимо стремиться к их детектированию и подавлению.
4. В ходе передачи электрической энергии реализация поиска по минимизации потерь.

Поскольку в энергосистемах по напряжениям и частоте есть отклонения, это связано с поддержанием баланса между генерируемой и потребляемой мощностями.

Если в распределенной энергетической системе есть нехватка активной составляющей полной мощности, то это будет вести к тому, что для всех точек системы будут уменьшаться значения частоты и напряжений.

Если такая нехватка будет превышать 30%, то это ведет к тому, что значение частоты будет снижаться лавинообразным образом.

Основываясь на анализе, проведенным в работе [6], можно сделать вывод о том, что для частоты предельное значение отклонения не должно превышать 0,4 кГц.

В связи с нехваткой реактивной мощности, соответствующей узлам энергосистемы, по линиям нагрузки будет происходить снижение напряжений. Основываясь на анализе [6] по сетевому напряжению значение отклонений не должно превышать 10%.

При электронной генерации применяются возобновляемые источники энергии. На рисунке 1 приведены основные их виды.



Рисунок 1. Основные виды возобновляемых источников энергии

Когда ведется электронная генерация, то процессы управления частотами происходят в следствие применения регулируемых балластных нагрузок. Также используются высокочастотные накопители энергии. Чтобы по узлам в распределенной энергетической системе поддерживать величины напряжений необходимо ориентироваться на применение конденсаторных установок контакторного или тиристорного вида [7, 8].

Поскольку в ВИЭ происходят стохастические процессы, с тем чтобы повысить уровень надежности по электроснабжению потребителей, необходимо ориентироваться на использование гибридных энергетических комплексов (ГЭК).

В состав ГЭК входят ВИЭ, а также дизельная электростанция (ДЭС). Она включается параллельным образом с применением шины переменного или постоянного тока, потребительских нагрузок. Применяется балластная нагрузка для того, чтобы вести регулирование по балансу ГЭК. Происходит сглаживание пульсаций по выходной мощности ВИЭ за счет источника бесперебойного питания. Далее происходит аккумулирование электроэнергии (рис. 2).



Рисунок 2. Структурная схема ГЭЖ

С точки зрения потребителя для условий устойчивости необходимо, чтобы соотношение по выходной мощности ДЭС и ВИЭ было 1/5. Когда реализуется стадия проектирования происходит уточнение такого соотношения путем поиска по экстремальным значениям в коэффициенте использования соответствующей мощности ГЭЖ и в значениях себестоимости производимой электроэнергии.

При реализации переходных процессов в распределенных энергетических системах, будет непрерывным образом меняться и величина нагрузки. В таком случае говорят, что нагрузка «дымит». Это связано с тем, что используются технологические циклы промышленного предприятия. Помимо этого, наблюдаются социально-бытовые процессы, которые происходят внутри, например, торгово-развлекательных комплексов [9, 10].

Можно осуществлять стабилизацию аварийных и вынужденных режимов работы распределенной энергетической системы, которые проявляются вследствие того, что своевременно проводятся ремонтно-профилактические работы с электрооборудованием.

Переходные явления внутри распределенных энергетических систем возникают тогда, когда происходят случаи прерывания в энергоснабжении [11, 12].

Соотношение между реактивной и активной составляющими электрической мощности будет оказывать влияние на протекание переходного процесса [13, 14].

Если генерируемая мощность будет увеличиваться или уменьшаться, то это будет вести соответственно к изменению колебаний частоты и напряжений электрического тока [15, 16].

При рассмотрении хаотических колебаний в распределенных энергетических системах они могут представляться как квазипериодические. Для их анализа может потребоваться применение соответствующих дифференциальных уравнений.

Для динамической модели распределенных энергетических систем, когда существует хаотический режим работы можно отметить, что траектория движения будет непредсказуемой. Оказывают влияние начальные условия. Их выбор зависит от структуры системы [17, 18].

Для того, чтобы предотвратить появление хаотических колебаний требуется осуществить их классификацию. Следующим шагом является проведение их стабилизации [19].

Таким образом, в работе рассмотрены основные подходы, которые могут использоваться в ходе управления распределенными энергетическими системами. Показано, что в существующих методиках для описания распределенных энергетических систем есть определенные недостатки. Показаны возможности для их преодоления.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бастрон А.В. Моделирование автономной системы электроснабжения многоквартирного сельского дома от микроГЭС / А.В. Бастрон, Н.В. Коровайкин, Л.П. Костюченко // Ползуновский вестник. – 2012. – № 4. – С. 78-82.
2. Sandels C. Modeling office building consumer load with a combined physical and behavioral approach: Simulation and validation / C. Sandels, D. Broden, J. Widen, L. Nordstrom, E. Andersson // Applied Energy. – 2016. – Т. 162. – С. 472-485.
3. Авербух М.А. Влияние нелинейной и несимметричной нагрузки на систему электроснабжения жилых микрорайонов / М.А. Авербух, Е.В. Жилин // Промышленная энергетика. – 2017. – № 12. – С. 40-45.
4. Трофимов Ю.Ю. Моделирование режимов работы систем электроснабжения горных предприятий / Ю.Ю. Трофимов, А.Н. Егоров // Международный студенческий научный вестник. – 2017. – № 4-2. – С. 166-170.
5. Соснина Е.Н. Моделирование системы электроснабжения с питанием группы потребителей от трансформатора с тиристорным регулятором напряжения и мощности / Е.Н. Соснина, Р.Ш. Бедретдинов // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Математическое моделирование. Оптимальное управление. – 2013. – № 5 (1). – С. 224-230.
6. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: межгосударственный стандарт: дата введения 2014-07-01 / Общество с ограниченной ответственностью «ЛИНВИТ», Технический комитет по стандартизации ТК 30 «Электромагнитная совместимость технических средств». – М.: Стандартинформ, 2014. – 20 с.
7. Лубенцов А.В. Синтез модели получения характеристик эффективности комплексной системы безопасности на базе метода анализа иерархий / А.В. Лубенцов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2023. – Т. 11. – № 1.
8. Горшков А.В. Исследование механизма распространения информации в мультиагентной системе во временном окне / А.В. Горшков, О.Я. Кравец // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2023. – Т. 11. – № 1.
9. Бочкарев А.М. Математические модели для расчета и анализа показателей эффективности использования ресурсов автоматизированных систем управления / А.М. Бочкарев // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2023. – Т. 11. – № 2.
10. Россихина Л.В. Алгоритмизация управления рисками реализации проектов / Л.В. Россихина, А.В. Калач, С.А. Нефедьев // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2023. – Т. 11. – № 3.
11. Россихина Л.В. Оптимизация календарного плана работ команд проектов / Л.В. Россихина, А.В. Калач, С.А. Нефедьев // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2023. – Т. 11. – № 2.
12. Троценко А.С. Высокоуровневая структура модулей для построения специальных систем автоматизированного проектирования / А.С. Троценко, А.А. Успехов, М.И. Чижов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2023. – Т. 11. – № 3.
13. Троценко А.С. Специальное программное средство генерации макроэлементов в методе внешних конечноэлементных аппроксимаций / А.С. Троценко, А.А. Успехов, М.И. Чижов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2021. – Т. 9. – № 2.

14. Кайдакова К.В. Об использовании энергосберегающих технологий / К.В. Кайдакова // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2013. – № 10. – С. 108-111.

15. Преображенский Ю.П. О проектировании и прогнозировании в энергосбережении / Ю.П. Преображенский // Строительство и реконструкция: сборник научных трудов 3-й Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, магистров и бакалавров. – Курск, 2021. – С. 361-363.

16. Соломин С.А. Проблемы обеспечения функционирования энергетических систем / С.А. Соломин, Ю.П. Преображенский // Проблемы развития современного общества: сборник научных статей 7-й Всероссийской национальной научно-практической конференции. – Курск, 2022. – С. 345-348.

17. Петранковский А.А. О проблемах управления в энергетических системах / А.А. Петранковский, Ю.П. Преображенский // Проблемы развития современного общества: сборник научных статей 7-й Всероссийской национальной научно-практической конференции. – Курск, 2022. – С. 339-342.

18. Преображенский Ю.П. Об энергетических потоках в энергосистемах / Ю.П. Преображенский // Ресурсосбережение и экология строительных материалов, изделий и конструкций: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. – Курск, 2018. – С. 319-321.

19. Клименко Ю.А. Об оценке потерь электроэнергии в распределительных сетях 10/0,4 кВ / Ю.А. Клименко, А.П. Преображенский // Актуальные вопросы энергетики. – 2019. – Т. 1. – № 1. – С. 6-15.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Аветисян Татьяна Владимировна, преподаватель, Колледж Воронежского института высоких технологий, Воронеж, Россия.

e-mail: vtatyana_avetisyan@mail.ru

Клименко Юрий Алексеевич, преподаватель, Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Россия.

e-mail: klm71165@mail.ru

Преображенский Андрей Петрович, доктор технических наук, профессор, Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Россия.

e-mail: app@vvt.ru