

---

**УДК 621.311**

С.В. ГАЙНУЛЛИНА, студент гр.5182 (КНИТУ-КАИ)  
г. Казань

### **ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

Распределительные сети сталкиваются с серьезными проблемами, такими как включение большего количества экологически чистой энергии, установка более управляемых электронных устройств питания, дифференцированные требования к качеству электроэнергии от разных потребителей и более активное участие со стороны клиентов, в связи с изменениями в нынешних распределительных сетях. Чтобы обеспечить стабильную и более экологическую электроэнергию и удовлетворить требования различных заинтересованных сторон, мы должны надлежащим образом планировать и использовать имеющиеся сетевые ресурсы для устранения ограничений, повышения качества услуг и сокращения операционных затрат. Правильные стратегии планирования и эксплуатации обеспечивают экономичную эксплуатацию сети и улучшают качество обслуживания клиентов при использовании электроэнергии или участии в управлении сетью. Проблемы планирования распределения и эксплуатации (такие как интеграция большего количества возобновляемых источников энергии, использование ресурсов гибкости и привлечение клиентов для различных целей и т.д.) могут быть решены с помощью соответствующего определения проблем оптимизации и использования правильно подобранных методов оптимизации. Исследования по оптимизации распределительных систем можно в целом разделить на две категории.

Первая категория - это планирование. В связи с глобальной тенденцией использования большего количества возобновляемых источников энергии для сокращения выбросов, одной из задач планирования распределительных систем в настоящее время является интеграция большего количества распределенных энергоресурсов в существующие сети путем определения оптимальных размеров распределенных генераторов и мест их установки при обеспечении стабильной работы сети. Проблемы возросшего спроса на качество электроэнергии, устаревания оборудования и ограниченной пропускной способности сети приводят к большим финансовым потерям, как для операторов систем передачи, так и для потребителей, поэтому для обеспечения достаточного качества электроэнергии клиентам необходима

правильная и оптимальная установка устройств. Планирование системы распределения также учитывает оптимальное размещение счетчиков [1] для повышения точности оценки состояния, а также расширения и укрепления сети с целью увеличения пропускной способности сети.

Вторая категория - это эксплуатация. Она включает в себя ежедневное управление электрическими сетями с использованием сетевого анализа и оптимизации. Эксплуатация становится более сложной, чем когда-либо, из-за возобновляемых ресурсов в сети, например, фотоэлектрической генерации и ветровых турбин. Возобновляемые источники энергии в природе в значительной степени случайны и неустойчивы в зависимости от погодных условий. Ненадлежащее использование возобновляемых ресурсов приводит к сетевым работам, таким как несбалансированность и нарушение тепловых пределов сети с высоким увеличением напряжений и токов. Для обеспечения состояния сети в допустимом диапазоне требуется надлежащее управление ограничениями. Благодаря новой повышенной гибкости и управляемости ресурсы в сети могут быть использованы для достижения определенных целей, таких как управление ограничениями и решение проблем перегрузки.

С учетом изменений и новых функций в текущих и будущих распределительных сетях есть огромная неопределенность в условиях сети. Электросети с более активным воздействием различных субъектов на работу сети и неопределенная достоверность данных источников приводят к большим колебаниям и непредсказуемости и создают серьезные проблемы для планирования и функционирования сети. Эти неопределенности должны быть устранены оптимизацией с целью разработки более эффективных стратегий планирования и эксплуатации, подходящих для реальных энергетических сетей.

Рассмотрим ресурсы данных, которые могут быть использованы для планирования и эксплуатации распределительной сети, а также определяются неопределенности источников данных, которые следует учитывать при оптимизации.

Данные являются наиболее важными предварительными условиями для выполнения ряда важнейших функций в области планирования, управления и эксплуатации энергосистем. Точность и репрезентативность данных определяет качество конечных решений, полученных в процессе оптимизации. В распределительных сетях данные могут быть получены из различных источников, которые имеют разный уровень точности и неопределенности. Различные неопределенности, как правило, должны быть устранены в процессе оптимизации с помощью присвоения дифференцированной достоверности соответствующим данным.

Использование надлежащего способа устранения неопределенностей в целом может в некоторой степени улучшить производительность алгоритмов. Как правило, данные могут в основном собираться либо прямо, либо косвенно.

Данные могут быть получены непосредственно от счетчиков, установленных в сетях. Эти измерения данных предоставляют наиболее точную информацию, которую можно использовать в различных сетевых функциях. Однако, поскольку в распределительных системах имеется много шин и линий, невозможно установить достаточное количество счетчиков, чтобы достигнуть полной наблюдаемости сети. Поэтому следует искать другие источники данных, чтобы свести к минимуму проблемы, вызванные недостаточными измерениями реальных счетчиков. Влияние отсутствия реальных измерений на производительность оптимизации может быть сведено к минимуму за счет включения псевдоизмерений, включая псевдоизмерения смешанной модели, запланированную оценку мощности и нагрузки.

В настоящее время, в частности, разработка интеллектуальных концепций в распределительных сетях позволяет вести сбор и хранение огромных объемов данных в различных формах. Косвенные измерения (также называемые псевдоизмерениями) могут быть собраны с помощью аналитических подходов к данным, таких как оценка и прогнозирование. Несмотря на то, что эти ресурсы обеспечивают более низкую точность информации по сравнению с измерениями реальных счетчиков, производительность сетевого анализа или оценки может быть значительно улучшена за счет надлежащего учета дифференциального влияния различных косвенных данных источники в процессе принятия решений. Например, подробные исторические данные о потребностях в нагрузке доступны благодаря широко распространенным умным счетчикам. Потребности в нагрузке могут быть извлечены и оценены на основе несинхронизированных измерений, полученных с помощью умных счетчиков с использованием методов оценки нагрузки. В ряде исследований изучалось использование данных умных счетчиков для улучшения оценки различных параметров в распределительных сетях низкого напряжения. Методы вычислительного интеллекта были использованы для создания псевдоизмерений требований к нагрузке. Например, подходы машинного обучения использовались для получения надежных исходных данных для оценки состояния и искусственных нейронных сетей, используемых для формирования требований к нагрузке. В качестве альтернативы, оценка нагрузки в реальном времени может быть выполнена путем взаимодействия между оценкой и потоком нагрузки.

В любых реальных измерениях и псевдоизмерениях различных переменных, таких как напряжение, активная и реактивная мощность и сопротивление линии, существуют ошибки измерений. Неопределенность измерений может значительно повлиять на производительность оптимизации в приложениях, таких как оценка состояний и поток нагрузки. Влияние неопределенностей измерений на сетевой анализ привлекло большое внимание. В [2] в исследовании был представлен тот факт, что различные точности измерений оказывают большое влияние на точность оценки. В [3] в исследовании анализировалось влияние ошибок измерений на оценку состояний производительности, и в нем было представлено, как можно улучшить оцененные отклонения напряжений шины при повышении точности измерения нагрузки. В [4] были изучены минимальные измерения, необходимые для обеспечения полной наблюдаемости, и указано, как неопределенность измерений влияет на производительность оценки состояний. Исследование дает прямое представление о максимально допустимой неопределенности измерений, которая способна удерживать ошибки оценки в пределах пороговых значений. В [5] в статье представлен анализ влияния неопределенностей параметров сети на ошибки оценки состояний.

Список литературы:

1. Железко Ю.С., Артемьев А.В., Савченко О.В. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов. М.: Издательство НЦ ЭНАС. - 2002, 280с.
2. Muscas, C.; Sulis, S.; Angioni, A.; Ponci, F.; Monti, A. Impact of different uncertainty sources on a three-phase state estimator for distribution networks. IEEE Trans. Instrum. Meas. 2014, 2200–2209.
3. Ke, L. State estimation for power distribution system and measurement impacts. IEEE Trans. Power Syst. 1996, 911–916.
4. Macii, D.; Barchi, G.; Petri, D. Uncertainty sensitivity analysis of WLS-based grid state estimators, 2014, 5-6.
5. Angioni, A.; Schlosser, T.; Ponci, F.; Monti, A. Impact of Pseudo-Measurements from New Power Profiles on State Estimation in Low-Voltage Grids. IEEE Trans. Instrum. Meas. 2016, 70–77.

Информация об авторах:

Гайнуллина Сабина Васильевна, студент гр.5182, КНИТУ-КАИ,  
420111 г. Казань, ул. К. Маркса д.10, GaynullinaSV@stud.kai.ru