

УДК 621.3.052.6

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТОПОЛОГИИ
И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ**

Н.Д. Мухлынин, А.В. Паздерин

Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург

E-mail: mukhlynin@me.com, a.v.pazderin@urfu.ru

Мухлынин Никита Дмитриевич, ассистент кафедры автоматизированных электрических системы Уральского энергетического института Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург. E-mail: mukhlynin@me.com

Область научных интересов: оценивание состояния, оптимизация режимов работы распределительных сетей.

Паздерин Андрей Владимирович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизированных электрических системы Уральского энергетического института Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург. E-mail: a.v.pazderin@urfu.ru

Область научных интересов: локализация потерь электроэнергии в электрических сетях, проблемы подключения и эксплуатации малой генерации.

Статья посвящена обзору вариантов построения схем электропитания в рамках задачи оптимизации режимов работы распределительных сетей с учетом современных тенденций их развития. Данная задача может быть разделена на несколько подзадач, включающих: контроль топологии при учете разнообразия конфигураций сети, вопросы оснащения сетей современными измерительными приборами, возможность оптимизации режимов работы сетей. Одной из главных задач является обеспечение топологической наблюдаемости в сети. Знание текущей топологии позволит повысить скорость принятия решения, исключить неправильные действия обслуживающего персонала и обеспечить корректную работу систем сбора и передачи информации. В статье приводится обзор существующих и перспективных топологий с целью получения знаний о возможных конфигурациях распределительных сетей и последующей разработки алгоритмов управления ими. Кроме того, авторами приводится краткое описание текущего информационного оснащения сетей. На основе обзора топологий и анализа информационной оснащенности распределительных сетей сделаны выводы об использовании замкнутой структуры сети в качестве основной для создания сетей нового поколения. Возможность повышения управляемости распределительных сетей достигается за счет их технического перевооружения.

Ключевые слова:

Распределительная сеть, топология сети, режим работы сети, источники информации, счетчик электроэнергии.

Реализация концепции Smart Grid в распределительных сетях на сегодняшний день возможна за счет внедрения новых технологических устройств управления и средств связи [1]. Широкое распространение источников малой генерации, а также устройств компенсации реактивной мощности позволяет использовать их для управления режимом работы сети. Кроме того, управление распределительной сетью возможно осуществлять за счет изменения топологии сети и регулировочных ответвлений РПН трансформаторов. Данные рычаги воздействия позволяют создать эффективную систему управления распределительными сетями для повышения надежности и эффективности их работы. Обеспечить взаимосвязь всех параметров управления возможно за счет создания алгоритма минимизации функции критериев оптимальности работы сети. К главным критериям стоит относить надежность электроснабжения, потери электрической энергии, уровни напряжения в сети, загрузку центров питания. Данная задача относится к многокритериальной, поэтому оптимальным режимом работы сети будет режим, полностью удовлетворяющий только одному критерию. Остальные критерии в этой задаче могут быть учтены как ограничения [2].

Топология распределительных сетей. В распределительных сетях применяют несколько схем электроснабжения для питания потребителей. Однако ввиду разнородности пи-

таемых потребителей и территории прохождения четкую границу между ними провести сложно. На данный момент широкое распространение получили комбинированные псевдокольцевые схемы электроснабжения, соединенные с одним или несколькими источниками питания (рис. 1).

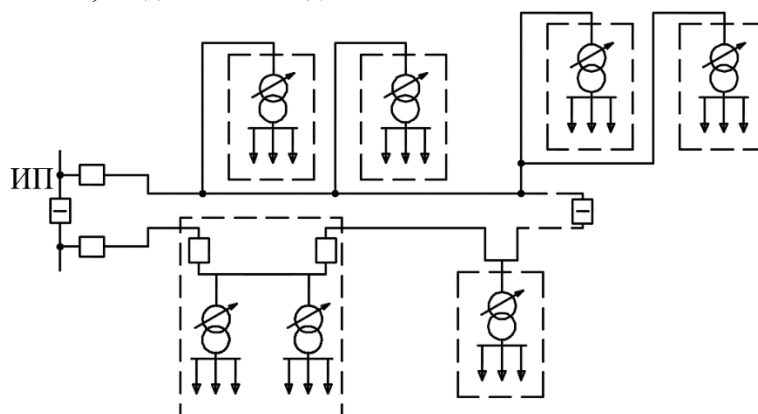


Рис. 1. Общая структурная схема распределительной сети

Представленные на рис. 1 участки псевдокольцевой сети работают в радиальном режиме, имея возможность переключения потребителей в кольцевой режим электроснабжения, замыкая точку нормального разрыва. Следовательно, в нормальном режиме потребители получают питание по двум отходящим фидерам от разных секций одного или двух независимых источников питания. Работа сети в традиционном режиме даже с учетом нескольких источников питания предполагает прерывание электроснабжения потребителей на время поиска, локализации и восстановления питания по резервной схеме.

Становится очевидным, что для устранения текущих недостатков в работе распределительных сетей необходимо создание сети нового поколения, которая будет построена на базе коммуникационных технологий и должна быть способна к самовосстановлению в случае повреждения. Одним из предлагаемых технических решений является создание электрической сети гексагонального типа [3]. В такой сети (рис. 2) каждый узел является универсальным и может быть подключен как к нагрузке, так и к источнику питания, со своими универсальными алгоритмами управления и коммутационной аппаратурой.

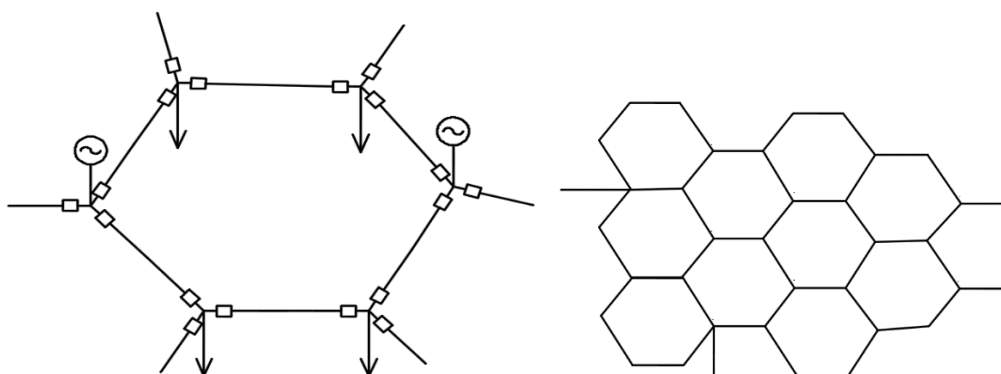


Рис. 2. Ячейка и структура гексагональной распределительной сети

Главным достоинством гексагональных сетей является возможность применения унифицированных алгоритмов автоматического управления потреблением и распределением электрической энергии, что позволит устранить недостатки существующих топологий сетей. Однако увеличение числа источников питания в замкнутых кольцевых сетях приводит к увеличению ТКЗ и требует установку дополнительных токоограничивающих устройств в цепях трансформатор – шины узла.

Одним из перспективных технических решений, направленным на увеличение надежности распределительных сетей и широко применяемым за рубежом [4], является строительство однотрансформаторных питающих подстанций с автоматическим резервированием по сети

более низкого класса напряжения [5]. Структурная схема такого решения электрической сети представлена на рис. 3.

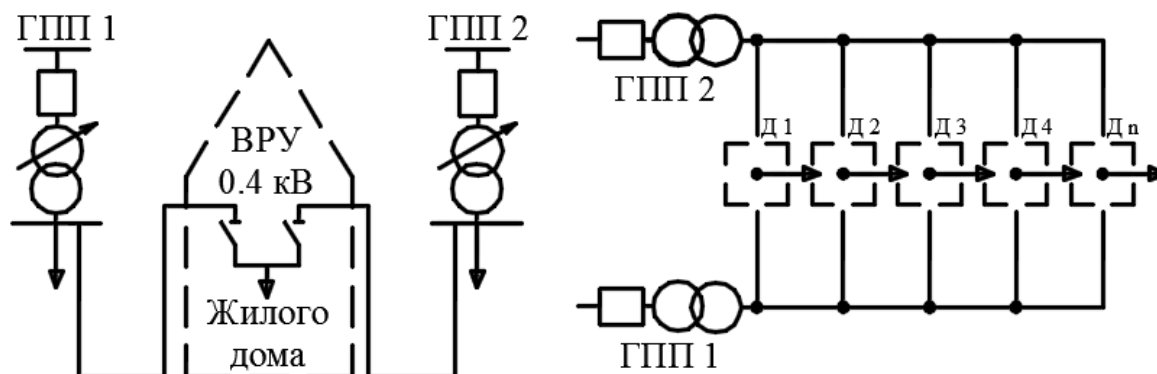


Рис. 3. Схема сети с резервированием по стороне СН/НН

Как видно из схемы, электроснабжение потребителей в нормальном режиме осуществляется через один силовой трансформатор понижающей подстанции (ГПП) 110/10 кВ с резервированием по сети 10 кВ. Такое решение позволяет снизить потери холостого хода силовых трансформаторов и сохранить надежность по питанию. Кроме того, приведенная схема хорошо подходит для электроснабжения дачных и садовых кооперативов, небольших коттеджных поселков, обладающих небольшой среднегодовой нагрузкой. Резервирование в данном случае будет осуществляться по сети 0,4 кВ.

Другая структура сети, использующая кольцевой принцип питания потребителей, изображена на рис. 4.

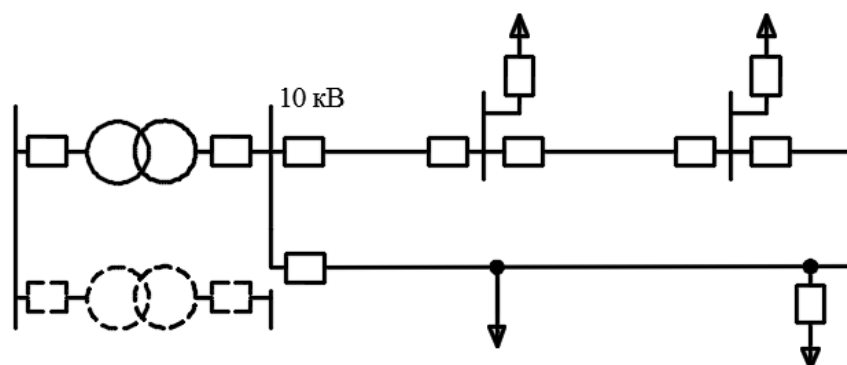


Рис. 4. Схема кольцевой сети

В такой сети потребители получают питание от одной секции одного источника питания. Надежность питания потребителей обеспечивается кольцевой структурой самой сети, а также двумя и более параллельно работающими трансформаторами с соблюдением всех условий их работы. В зарубежной практике строительства подобных схем распространены схемы с питанием от одного силового трансформатора, т. к. считается, что силовой трансформатор является чрезвычайно надежным элементом в сравнении с элементами в самой сети.

На сегодняшний день все альтернативные топологии распределительных сетей предполагают их замкнутую структуру с параллельной работой источников питания. Это позволяет избавиться от недостатков существующих топологий и обеспечить базовую надежность электроснабжения потребителей при условии достаточной оснащенности коммутационной аппаратурой таких сетей. Однако кольцевая структура налагает определенные трудности на режимы их работы. Они обусловлены тем, что различие в уровнях напряжения на источниках питания, несовпадение естественного и экономического распределения мощности в сети за счет использования проводников линий электропередачи разного сечения приводят к возникновению уравнительного тока, что, в свою очередь, увеличивает потери активной мощности. Кроме того, так

как распределительные сети подключаются к магистральным линиям электропередачи, имеющим кольцевую структуру, шунтирование контуров по сетям 6–10 кВ может привести к изменению потокораспределения в сетях высоких и сверхвысоких классов напряжений, а также к чрезмерному увеличению тока в проводниках распределительных сетей.

С нормативной точки зрения, согласно типовым инструкциям [6] и п. 6.8.11 ПТЭ, разрешается замыкание сети 6–10 кВ в кольцо при разности напряжений на разомкнутых контактах не более чем на 5 %. Стоит отметить опыт эксплуатации распределительных сетей в больших городах. Поскольку размещение потребителей по группам электроснабжения является условным, производить перекоммутацию в сетях с погашением обоих радиальных ветвей на источниках питания не представляется возможным. В данном случае на время переключений кратковременно используют кольцевой режим работы сети.

Таким образом, кольцевой режим работы сети как способ выполнить требования, предъявляемые к сетям в рамках концепции Smart Grid, возможно обеспечить на базе существующих топологий сетей с внедрением новых технических устройств, реализующих:

- автоматику разгрузки линии на понижающих подстанциях;
- управляемую продольную компенсацию;
- автоматику улавливания синхронизма в ТП/РП;
- токовые направленные защиты в ТП/РП;
- отключение линий в сети с двух сторон;
- изменение положения РПН трансформаторов в сети;
- двухсторонний канал связи между ТП/РП в сети.

Информационное обеспечение. Для эффективного управления распределительными сетями становится необходимым получение оперативной информации о структуре и режиме работы сети. Поэтому создание интеллектуальных распределительных сетей невозможно без устройств обмена информацией между организованными центрами управления. Такими центрами управления постепенно становятся ТП/РП, в которых в последнее время начинает развиваться система сбора и передачи данных технического и коммерческого учета электроэнергии. Текущие доступные измерения в районе электрической распределительной сети на примере одной из ТП показаны на рис. 5.

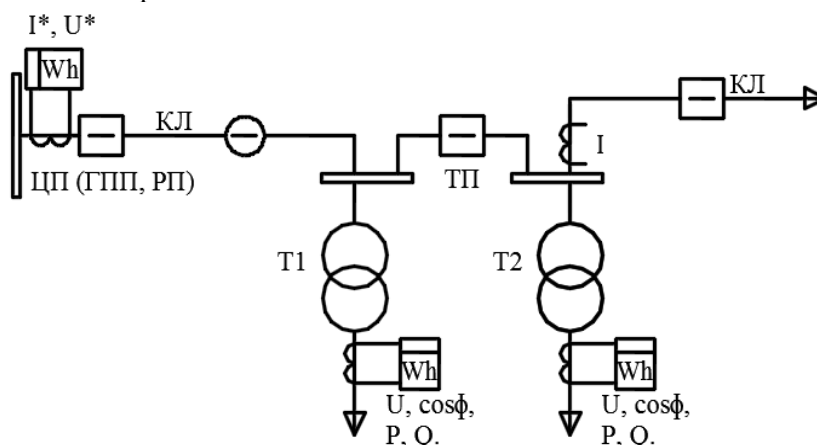


Рис. 5. Расстановка измерений на участке сети

* – только измерения тока и напряжения при отсутствии счетчика ЭЭ

Внедрение систем учета электроэнергии на данный момент происходит на стороне НН силового трансформатора, где возможно получать информацию о значении тока и напряжения, активной и реактивной мощности и энергии, коэффициенте нагрузки. Помимо счетчиков электроэнергии, на участке распределительной сети в обязательном порядке установлены трансформаторы тока на отходящих линиях 6–10 кВ, имеющих релейный класс точности, а также трансформаторы тока либо счетчики электроэнергии на отходящем фидере ГПП/РП.

Российские реалии показывают, что текущая организация информационного обмена на базе оперативно выездных бригад обеспечивает низкую скорость принятия решения и не по-

зволяет вести оперативное управление. Использование развивающихся систем учета электроэнергии для управления топологией в распределительных сетях потребует дооснащения этой системы устройствами резервного питания в случае полного погашения ТП/ПП для обеспечения работы коммутационной аппаратуры и питания устройств связи на базе GSM/GPRS-технологии.

Для эффективного использования существующих распределительных сетей становится необходимым их техническое перевооружение, а выбор наиболее подходящего технического решения должен основываться на современных потребностях участников энергообмена.

Выводы

1. Использование схем с одним или несколькими кольцами в распределительных сетях повышает базовую надежность электроснабжения потребителей.
2. Возможно создание интеллектуальных сетей нового поколения на базе существующих участков распределительных сетей с имеющейся топологией за счет изменений режима их работы, технического перевооружения и внедрения системы управления.
3. Распределительные сети сегодня содержат в основном токовые измерения, недоступные диспетчеру, и остаются ненаблюдаемыми.
4. Информационное развитие диспетчерского управления распределительными сетями в настоящий момент происходит очень медленно, все изменения происходят за счет инициативы потребителей.
5. Повышение управляемости распределительных сетей возможно за счет увеличения числа коммутационных аппаратов в сети и внедрения системы сбора и передачи измерительной информации.

Статья рекомендована к публикации по итогам работы V Международной молодежной конференции "Электроэнергетика глазами молодежи 2014".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lecture 8: Smart Grid, Dr. Gleb V. Tcheslavski. – Lamar University, 2013.
2. Булатов Б.В., Тарасенко В.В. Алгоритмы интеллектуального управления режимом распределительной сети // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2012. – № 37. – С. 18–22.
3. Лоскутов А.Б., Соснина Е.Н., Лоскутов А.А., Зырин Д.В. Городские распределительные сети 10–20 кВ с гексагональной конфигурацией // Электротехника и электроэнергетика. – 2013. – № 12. – С. 309–315.
4. Edward Jeroen Coster. Distribution Grid Operation Including Distributed Generation. – Printed by Ipskamp drukkers: Enschede, 2010. – P. 205.
5. Дерзкий В.Г., Скиба В.Ф. Многокритериальная оптимизация режимов распределительных электросетей в условиях случайности // Энергетика. – 2011.
6. Инструкция по переключениям в электроустановках. (Утв. приказом Минэнерго РФ от 30.06.2003 № 266).

Поступила 16.02.2015 г.