

М.В. Чулюкова, Н.В. Савина

## МЕТОДИКА АНАЛИЗА РЕЖИМНОЙ СИТУАЦИИ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

*При переходе распределительных электрических сетей на сети Smart Grid возникла необходимость в совершенно новых методах расчета режима работы сети для повышения эффективности работы сетевых предприятий.*

*Ключевые слова: режим, параметры сети, анализ, энергоэффективность, активные элементы, умные сети.*

## TECHNIQUE THE ANALYSIS OF THE REGIME SITUATION FOR INTELLECTUALIZATION OF THE DISTRIBUTIVE ELECTRIC NETWORK

*Upon transition of distributive electric networks to the Smart Grid networks there was a need of absolutely new methods of calculation of an operating mode of a network for increase of overall performance of the network enterprises.*

*Key words: regime, network parameters, analysis, power efficiency, active elements, Smart Grid.*

На сегодняшний день электроэнергетика является базовой отраслью экономики Российской Федерации. Соответственно, надежное и эффективное функционирование энергообъектов, бесперебойное электроснабжение потребителей – основа поступательного развития страны и неотъемлемый фактор обеспечения цивилизованных условий жизни ее граждан.

Доминирующее расположение на рынке услуг по передаче электрической энергии занимают межрегиональные распределительные сетевые компании. Начавшиеся в последние годы реформы управления электроэнергетикой коснулись пока системообразующих сетей 220 кВ и выше, проблем в которых тоже много, но не столько, сколько накопилось их в распределительных сетях. Современное состояние распределительного электросетевого комплекса и вопросы потерь электроэнергии в электрических сетях относятся к ключевым проблем по сдерживанию повышения тарифов и обеспечению надежного и качественного электроснабжения.

Методы расчета режимов работы распределительной сети, применяемые до настоящего времени, не могут обеспечить эффективность работы сетевого предприятия в сложившихся рыночных условиях, при которых все расходы за транспортировку электроэнергии от источника генерации до потребителя компенсируются за счет собственника сетевых предприятий, а не за счет государства, как это было в СССР. В связи с этим возникла необходимость нового подхода к анализу режима работы электросетевого комплекса. Особенно актуальный характер это приобрело с переходом на современные модернизированные сети Smart Grid, содержащие большое число активных элементов, способных автоматически регулировать параметры сети.

В предлагаемой методике анализ режимной ситуации будет рассматриваться для двух режимов – установившегося и переходного. При установившемся режиме параметры сети находятся в нормированных пределах, обеспечивают надежное и экономичное электроснабжение потребителей без перегрузок основных элементов электрической сети, их можно задать в программно-вычисли-

тельном комплексе. При переходном режиме система переходит из одного установившегося состояния в другое установившееся, с заметно изменившимися параметрами. Их невозможно спрогнозировать, но следует обязательно учитывать при анализе режимной ситуации, чтоб обеспечить электрической сети необходимый запас статической устойчивости.

Основные этапы методики анализа показаны на схеме.

Методика анализа режимной ситуации для интеллектуализации распределительной сети	
Подготовительный блок	Аналитический блок
Эквивалентирование схемы распределительной сети	Анализ коэффициентов загрузки линии и трансформаторов
Декомпозиция электрической сети	Анализ мест для размыкания электрической сети
Определение параметров сети и схемы ее замещения	Анализ силовых трансформаторов для определения узлов с АРН и ручного регулирования
Анализ нагрузки	Структурный анализ потерь
Анализ суммарной нагрузки с учетом потерь на питающем центре	Анализ неоптимальных по загрузке линии и трансформаторов
Определение нагрузки в эквиваленте, схемы потокораспределения	Список контролируемых узлов и сечений

## 1. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЙ БЛОК

### 1.1. Эквивалентирование схемы распределительной сети

На самом первом этапе анализа важно правильно организовать эквивалент схемы распределительной сети, иначе будет неверно произведен расчет и, соответственно, анализ режимной ситуации, что может привести к некорректным выводам.

Цель эквивалентирования – свести реальную схему сети к обобщенной таким образом, чтобы для анализа режимной ситуации использовать достоверные (откорректированные) значения электрической нагрузки вводных присоединений в характерных узлах нагрузки каждого уровня [1, 2].

### 1.2. Декомпозиция электрической сети

Под декомпозицией понимается деление эквивалентированной схемы на структурные единицы с указанием конфигурации сети.

Под структурной единицей понимается: понизительная подстанция, радиальная линия, разомкнутая разветвленная магистраль, магистраль с двухсторонним питанием. При этом необходимо учесть, что для более точного анализа число источников питания для одной структурной единицы должно быть не более двух, это позволит правильно определить направление потоков мощности.

Распределительные сети, работающие в сложноразомкнутом режиме, всегда не эффективны. Поэтому на данном этапе важно правильно выполнить декомпозицию сети, найти точку размыкания сети для корректного анализа.

### 1.3. Определение параметров сети и схемы ее замещения для каждой структурной единицы

#### *Активное и индуктивное сопротивление линии*

Для правильного определения параметров схемы замещения линии необходимо проанализировать конструктивное исполнение линии и выделить участки с разными сечениями

проводов, «скруток» из разных материалов (например, медь с алюминием). Это необходимо для последующего анализа пропускной способности линии и исключения возможных перегрузок по сечению.

#### ***Типы и номинальные мощности трансформаторов***

Данные параметры необходимы для последующего сравнения фактической нагрузки электрической сети с предельно допустимой и правильности выбора силового трансформатора с учетом перспективы подключения новых потребителей.

#### ***Положение РПН, ПБВ, анцапф трансформаторов, уровни напряжений на шинах ВН, СН, НН***

От положения РПН, ПБВ сильно зависят нагрузочные потери от передачи активной мощности в линиях, следовательно, суммарные нагрузочные потери. Это объясняется тем, что с увеличением положения РПН трансформатора суммарные потери возрастают, так как рост нагрузки определяется квадратом напряжения и вызван ее регулирующим эффектом. Поэтому очень важно произвести тщательный анализ существующих положений РПН, ПБВ, анцапф с целью определить, насколько эффективно они выбраны.

#### ***Питающий центр***

Под питающим центром понимается распределительное устройство вторичного напряжения понижающей подстанции энергосистемы, имеющее устройство для регулирования напряжения, к которому подсоединены электрические сети.

Помимо традиционных параметров (линий и трансформаторов), схемы замещения включают в себя еще и активные элементы, участвующие в автоматизированном регулировании режимной ситуации. При расчете установившегося режима их сложно учесть. Однако данный параметр схемы замещения необходим для выделения узлов, в которых возможно размыкание сети или отделение нагрузки по каким-либо причинам (перечень узлов, которые попадают под САОН, перечень узлов, попадающих под АЧР, ДА).

Под активным элементом понимается любой элемент, которым можно в автоматизированном режиме управлять режимной ситуацией (ПА, АЧР, ЧАПВ, АРН, АВР, УШР, БСК, ДА).

Активные элементы делятся на две группы: первая – для управления установившимся режимом, вторая – для управления переходными режимами.

Если для первой группы элементов параметры в схеме замещения можно задать в любом программно-вычислительном комплексе (например, меняя номер отпайки, меняя напряжение генерирующего узла, включая компенсирующее устройство и т.д.), то для второй группы с целью анализа режимной ситуации параметры можно вводить списком, это не будет программно-вычислительный комплекс, но это будут контролируемые сечения.

### **1.4. Анализ нагрузки для каждой структурной единицы**

#### ***Анализ графиков электрических нагрузок***

От шин одной подстанции очень часто питается нагрузка разная по структуре: промышленная и приравненная к ней, сельскохозяйственная, бытовая и общественно-коммунальная. С целью определить неоднородности нагрузки, для выделения узлов с резко-переменным графиком нагрузок и узлов с активными элементами, для обеспечения рационального режима работы электрической сети с учетом экономичности очень важно производить анализ графиков нагрузок.

#### ***Анализ потребителей по их категоричности***

При переходе существующей распределительной сети на «интеллектуальную» одним из самых важных моментов является категоричность потребителей для правильного выбора места размыкания сети, установки активных элементов «умной» сети с целью обеспечения требуемой надежности электроснабжения.

#### **1.5. Определение нагрузки на питающем центре для каждой структурной единицы с учетом потерь в трансформаторах и линиях, напряжения на шинах питающего центра**

В данном пункте важно проанализировать достоверность и точность информации о суммарной нагрузке в рассматриваемой структурной единице с целью не допустить ошибок при дальнейшем анализе загруженности сети, выявить «узкие» места, места для автоматического и ручного регулирования напряжения, определить существующие резервы мощности на питающих центрах и пропускную способность линий.

#### **1.6. Определение суммарной нагрузки в эквиваленте схемы, схемы потокораспределения**

Данный пункт важен для понимания общей картины режимной ситуации в выделенном эквиваленте для последующего анализа и принятия решений по оптимизации режима работы электрической сети, выявления тенденции изменения потерь мощности и электроэнергии в электрической сети и разработки мероприятий по их ограничению, а также разработки мероприятий по статической устойчивости системы

## **2. АНАЛИТИЧЕСКИЙ БЛОК**

### **2.1. Анализ коэффициентов загрузки трансформаторов и линий**

Такой анализ необходим для определения «узких» мест работы сети, т.е. трансформаторов и линий, работающих с предельно допустимыми значениями по загрузке (в том числе и фидера 6-10 кВ) и тем самым снижающих надежность и устойчивость электроснабжения потребителей, поскольку необходимый резерв по мощности и регулированию напряжения отсутствует.

### **2.2. Определение оптимального места размыкания сети**

Анализ позволит обеспечить минимум потерь активной энергии с учетом вероятностного характера изменения параметров режима и качества информационных потоков [1]. При этом обязательно нужно учитывать, что место размыкания сети может быть ручное (для II и III категорий потребителей) и автоматизированное (для потребителей I категории, перерыв в электроснабжении которых недопустим).

В настоящее время для автоматизации управления электрической сетью широко используется установка «реклоузеров» на фидерах и линиях 35, 10, 6 кВ значительной протяженностью. Это коммутационный аппарат нового поколения, объединяющий в себе практически все виды противоаварийной автоматики, имеющий встроенные механизмы для замыкания и размыкания сети, позволяющий за короткое время отключать КЗ и при этом за такое же время восстанавливать электроснабжение на неповрежденных участках, что очень важно для обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителей.

### **2.3. Определение силовых трансформаторов, на которых необходимо установить автоматическое регулирование напряжения и на каких допустимо ручное регулирование**

Этап необходим для оптимизации уровней напряжений в рассматриваемой сети с целью снижения потерь. В разомкнутых сетях 35-110 кВ нужно регулировать напряжения в центрах питания, где должны быть установлены трансформаторы с РПН. Место для автоматического либо

ручного регулирования напряжения следует выбирать, исходя из минимума потерь в них электроэнергии при техническом ограничении по качеству [1].

Данный анализ целесообразно производить дважды в год: в зимний максимум нагрузок и летний минимум нагрузок.

#### **2.4. Структурный анализ потерь**

В зависимости от параметров режима сети потери электроэнергии делятся на нагрузочные (потери в линиях и оборудовании электрической сети, зависящие от ее нагрузки), условно-постоянные (потери, величина которых не зависит или незначительно зависит от параметров режима сети, а главным образом – от состава включенного оборудования) и потери от низкого качества электроэнергии [1].

Детальный анализ потерь электроэнергии в анализируемой электрической сети позволит выбрать оптимальный способ по их снижению и прогнозированию и получить наибольшую прибыль в процессе эксплуатации.

#### **2.5. Определение неоптимальных по загрузке линий и трансформаторов**

В результате данного анализа должно приниматься решение по разработке организационных и технических мероприятий для оптимизации работы. К таким мероприятиям относятся перевод сети на высшую ступень напряжения, замена сечений проводников на большие, замена трансформаторов, установка дополнительных регулирующих и компенсирующих устройств, реконструкция и модернизация распределительной сети [1].

#### **2.6. Список контролируемых узлов и сечений**

В связи с постоянным увеличением подключаемых к распределительной сети потребителей и необходимостью контроля роста нагрузок данный список является весьма важным инструментом управления режимом распределительной сети и средством предотвращения недопустимого отклонения его параметров, а при переходе существующих распределительных сетей на Smart Grid будет носителем очень важной информации для автоматического управления сетью.

Таким образом, в статье предложена методика анализа режимной ситуации при интеллектуализации распределительной электрической сети, состоящая из двух блоков: подготовительного, в котором особое значение должно уделяться достоверности информации о текущем состоянии работы сети, и аналитического, в котором важно правильно произвести анализ существующих параметров сети для принятия последующих решений об их изменении с целью повышения эффективности работы распределительной сети.

---

1. Савина, Н.В. Системный анализ потерь электроэнергии в электрических распределительных сетях. – Новосибирск: Наука, 2008.

2. Воротницкий, В.Э. Повышение эффективности управления распределительными сетями // Энергосбережение. – 2005. – № 10. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=3046](http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3046) (дата обращения 05.09.2014).