

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Н.В. Савина, Н.С. Бодруг

Амурский государственный университет, г. Благовещенск

Вопрос управления качеством электрической энергии на сегодняшний день стоит очень остро. Это обусловлено новыми подходами к нормированию и контролю качества электроэнергии. В электрических сетях появляются новые свойства, которые влияют на качество электроэнергии, в то время как концепции управления качеством электроэнергии в современных условиях нет. В статье показаны разработка принципов построения и самой модели электрической сети для эффективного управления качеством электроэнергии на основе системного подхода. Модель состоит из блоков и модулей, каждый из которых имеет свое функциональное значение.

Ключевые слова: электрическая сеть, управление, качество электроэнергии, нормирование, системный подход, модель.

В настоящее время проблема качества электроэнергии выходит на новый уровень. Это обусловлено теми изменениями, которые происходят в электроэнергетике в целом. Появление новых потребителей, применение энергосберегающих установок, переход на цифровые устройства, развитие нетрадиционной энергетики и внедрение распределенной генерации приводит к усилению искажения качества электроэнергии (КЭ). Развитие электрических сетей происходит по пути повышения их связности, в результате чего меняется их структура, и сети становятся многоконтурными. Особенно четко это проявляется в сетях 6–10 кВ и 0,4 кВ. Все эти изменения приводят к обострению проблемы КЭ, в то время как подходы к оценке и управлению КЭ остаются неизменными. Прежние принципы управления не дают нужного эффекта, а модель электрической сети для управления качеством электроэнергии, соответствующая современным вызовам, на сегодняшний день отсутствует.

Исходя из этого, целью работы является разработка модели электрической сети на основе системного подхода, позволяющей обеспечить эффективное управление качеством электрической энергии при динамично меняющейся структуре сети и состава источников искажения качества электроэнергии.

Данная цель должна реализовываться следующими задачами:

- анализ требований нормативной базы по нормированию и контролю КЭ к построению модели электрической сети;
- выявление новых свойств в современных электрических сетях, влияющих на КЭ;
- разработка принципов построения модели электрической сети;
- построение модели электрической сети для управления КЭ.

Анализ требований нормативной базы по нормированию и контролю КЭ к построению модели электрической сети

В настоящее время в России действуют документы по нормированию и контролю качества электроэнергии в электрических сетях, адаптированные под рынок электрической энергии и мощности [1, 2]. Показатели и нормы КЭ устанавливаются в точках передачи электрической энергии (ТПЭ) пользователям электрических сетей низкого, среднего и высокого напряжения систем электропитания общего назначения переменного трехфазного и однофазного тока частотой 50 Гц [1]. В точках передачи электрической энергии происходит обращение электроэнергии в товар в соответствии с договором на поставку или на услуги по передаче электрической энергии установленного качества, ответственность за которое несет сетевая организация. Потребителю ГОСТ 32144–2013 предлагает на своей стороне обеспечить условия, при которых отклонения напряжения питания на выводах электроприемников не превышают установленных для них допустимых значений, если выполняются требования настоящего стандарта к КЭ в точке передачи электрической энергии. Это согласуется с тем, что поставщики электрической энергии несут ответственность за обеспечение качества электрической энергии, предоставляемой потребителям, а изготовители электроустановок и электротехнического оборудования и потребители, приобретающие его, несут ответственность за то, чтобы указанные оборудование и установки при вводе в эксплуатацию не создавали недопустимых кондуктивных электромагнитных помех. Введение в [1] понятия ТПЭ привело к изменению принципов управления качеством электрической энергии, что необходимо учитывать при разработке модели электрической сети по управлению КЭ. Для рассмотрения концептуальных

подходов к модели управления КЭ необходимо привести анализ современного состояния электрических сетей.

Выявление новых свойств в современных электрических сетях, влияющих на КЭ

На данный момент электроэнергетическая система разделена на подсистемы, которые являются участниками рынка – генерация, электросетевые комплексы и потребители. С позиций управления качеством электрической энергии рассматривать проблему КЭ отдельно для электросетевых комплексов не имеет смысла. Это обусловлено не только функционированием рынков электроэнергии, но и внедрением новых инновационных технологий и устройств, приводящих к появлению новых функциональных свойств сетей:

- насыщенность сети активными элементами, позволяющими изменять топологические параметры сети;

- способность снижать загрузку распределительной сети в пиковые периоды за счет управления электрооборудованием потребителей, использования распределенной генерации и альтернативных источников электроэнергии у потребителя (аккумуляторные батареи, солнечные батареи и другие возобновляемые источники);

- оптимизация генерации и потребления электроэнергии за счет регулирования нагрузки с максимальным учетом требований потребителей (в том числе и экономических), а также повышения пропускной способности линий электропередачи;

- вовлечение потребителей-регуляторов в процесс управления режимами;

- самодиагностика, предупреждение системных аварий (сбоев) и самовосстановление, и, как следствие, снижение недоотпуска электрической энергии потребителям;

- повышение наблюдаемости сети (сбора информации) о текущем ее состоянии, включая внешние воздействия окружающей среды, а также обработка данной информации в режиме реального времени, в том числе за счет применения приборов цифрового исполнения.

Исходя из новых свойств, математическая модель электрической сети должна включать не только сети разных собственников, но и генерацию, потребителей, а также элементы, отвечающие этим свойствам сети. На сегодняшний день разработаны модели электрической сети для анализа и управления режимами (установившимися и переходными), модели для расчета потерь электроэнергии, модели сети для управления потоками реактивной мощности, каждая из которых имеет свои принципы построения и выполняет свои функции. Существующие модели нельзя применить к задаче управления КЭ, так как они решают другие задачи и не учитывают показатели качества электроэнергии. Необходимо отметить, что моде-

ли сети, которая бы четко выполняла задачи по применению системного подхода к управлению качеством электрической энергии, в настоящее время нет. Принципы построения такой модели не могут быть аналогичными принципам построения вышеперечисленных моделей. С учетом вышесказанного электрическую сеть для управления КЭ необходимо рассматривать с позиции системного подхода.

Разработка принципов построения модели электрической сети для управления качеством электроэнергии

Для построения модели сети выбраны следующие принципы моделирования: системности; обоснованности и согласованности: полноты используемых средств; корректности; истинности результата; максимума эффекта; адекватности; соответствия модели решаемой задаче; абстрагирования от второстепенных деталей; соответствия между требуемой точностью результатов моделирования и сложностью модели; многовариантности реализаций элементов модели; модульное построение.

Основываясь на принципе системности, для решения задач управления КЭ, сеть рассматривается как комплекс взаимосвязанных элементов. Это обусловлено тем, что учитываются связи с другими объектами электроэнергетической системы: с источниками питания, включая распределенную генерацию, с потребителями, рынками энергии и мощности. Принцип системности предполагает разделение системы на подсистемы по ряду признаков, например, по классам номинального напряжения, иерархическому, функциональному признаку и т. д., что необходимо учесть в модели.

Принцип корректности подразумевает соответствие реализуемой модели сети поставленным целям и достоверности ожидаемых результатов. Именно этот принцип позволяет реализовать в модели возможность использования информации разного качества, в том числе неполной, для управления КЭ.

Принцип обоснованности и согласованности реализуется в выборе моделей параметров режима, показателей качества электроэнергии (ПКЭ), обеспечивающих согласованность точности промежуточных и конечного результата в заданных условиях при учете работы рынков энергии и мощности.

Принцип полноты используемых средств означает получение желаемого результата выбранной совокупностью технологий и технических решений. Его применение позволит выбрать оптимальный математический аппарат и программное обеспечение для реализации модели.

Принцип истинности результата реализуется учетом метрологической обеспеченности решаемой задачи и основан на балансах электроэнергии и балансах погрешностей различных видов. Учи-

тывая тот факт, что информация для управления КЭ должна собираться с разных источников и у разных собственников, а их измерительные средства обладают разной погрешностью и насыщенность ими тоже разная, реализация данного принципа в модели позволит избежать некорректных результатов при управлении.

Принцип максимума эффекта означает необходимость достижения желаемого результата минимальными затратами. Использование данного принципа обеспечит минимальную стоимость модели электрической сети для управления КЭ при ее реализации.

Принцип адекватности предусматривает соответствие модели целям исследования по уровню сложности и организации, соответствие модели рассматриваемой электрической сети в части множества выбранных свойств. Опираясь на данный принцип, предусматривается использование таких моделей параметров режима, ПКЭ и эквивалента электрической сети, которые обеспечат выполнение поставленной цели с минимальной сложностью структуры модели.

Использование принципа соответствия модели решаемой задаче означает, что модель должна строиться для решения всего комплекса задач, входящих в проблему управления качеством электроэнергии в электрических сетях с учетом их новых свойств и особенностей, а также рыночных отношений в электроэнергетике. Принцип абстрагирования от второстепенных деталей подразумевает упрощение модели при сохранении существенных свойств сети, представленной как система. Классическое представление данного принципа следующее: модель должна быть проще прототипа. Его использование позволит резко сократить требования к объему и качеству исходной информации, используемой для управления качеством электроэнергии.

Согласно принципу соответствия, между требуемой точностью результатов моделирования и сложностью модели, при разработке модели ее сложность снижается следующими путями: агрегированием, т. е. уменьшением числа переменных; заменой нелинейной зависимости линейной при моделировании ПКЭ; изменением ограничений – варьируя ограничениями можно найти возможные граничные значения эффективности модели сети при разном качестве исходной информации; ограничения точности модели – точность результатов модели не может быть выше точности исходных данных.

Разнообразие реализаций моделей информационного поля, элементов, используемых для управления КЭ, в зависимости от степени неопределенности, позволит обеспечить оптимальное соотношение «точность/сложность». В этом суть принципа многовариантности реализаций элементов модели сети для управления КЭ.

При соблюдении принципа модульного построения модели появляется возможность использования отдельных модулей с минимальными связями между ними, что существенно упрощает модель сети для управления КЭ. При этом выделение модулей, должно производиться с учетом разделения модели по этапам решения и по режимам функционирования сети.

Эффективность управляющих воздействий по управлению качеством электроэнергии напрямую зависит от узла сети, в котором они реализуются. С этой целью модель сети должна содержать критерий чувствительности узлов к вводимым управляющим воздействиям.

Построение модели электрической сети для управления КЭ

Модель электрической сети для управления КЭ целесообразно представить в виде совокупностей моделей, описывающих информационное поле, схему электрической сети, параметры режима и ПКЭ, управление КЭ с последующим определением управляющих воздействий на различных временных интервалах и их структурным анализом. Исходя из вышесказанного, модель электрической сети для управления качеством электроэнергии в дескриптивной форме представлена выражением

$$S = \Psi_a, \Psi_b, \Psi_c, \Psi_d, \Psi_e, P_0(\Psi_a, \Psi_b, \Psi_c, \Psi_d, \Psi_e),$$

где Ψ_a – модель, описывающая информационное поле; Ψ_b – модель, определяющая эквивалент схемы сети; Ψ_c – модель параметров режима; Ψ_d – модель ПКЭ; Ψ_e – модель, симулирующая управление КЭ; $P_0(\Psi_a, \Psi_b, \Psi_c, \Psi_d, \Psi_e)$ – предикат целостности.

Процесс дескриптивного моделирования электрической сети содержит несколько этапов: выявление и формулировка закономерностей, связывающих параметры режима, схемы, ПКЭ и характеризующие сеть; решение математических задач для исследования модели и построения блока управления качеством электроэнергии; сопоставление результатов аналитического исследования модели с результатом опыта для проверки ее соответствия решаемой задаче – управлению качеством электроэнергии, а также для подтверждения пригодности модели.

Модель электрической сети в модульной форме приведена на рис. 1. Здесь каждый модуль имеет свое функциональное значение и реализуется своим математическим аппаратом.

Модуль «Способы получения информации» включает в себя следующие блоки: автоматизированные системы, такие как автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учёта электроэнергии (АИИСКУЭ), автоматизированная система диспетчерского управления (АСДУ), автоматизированная система управ-

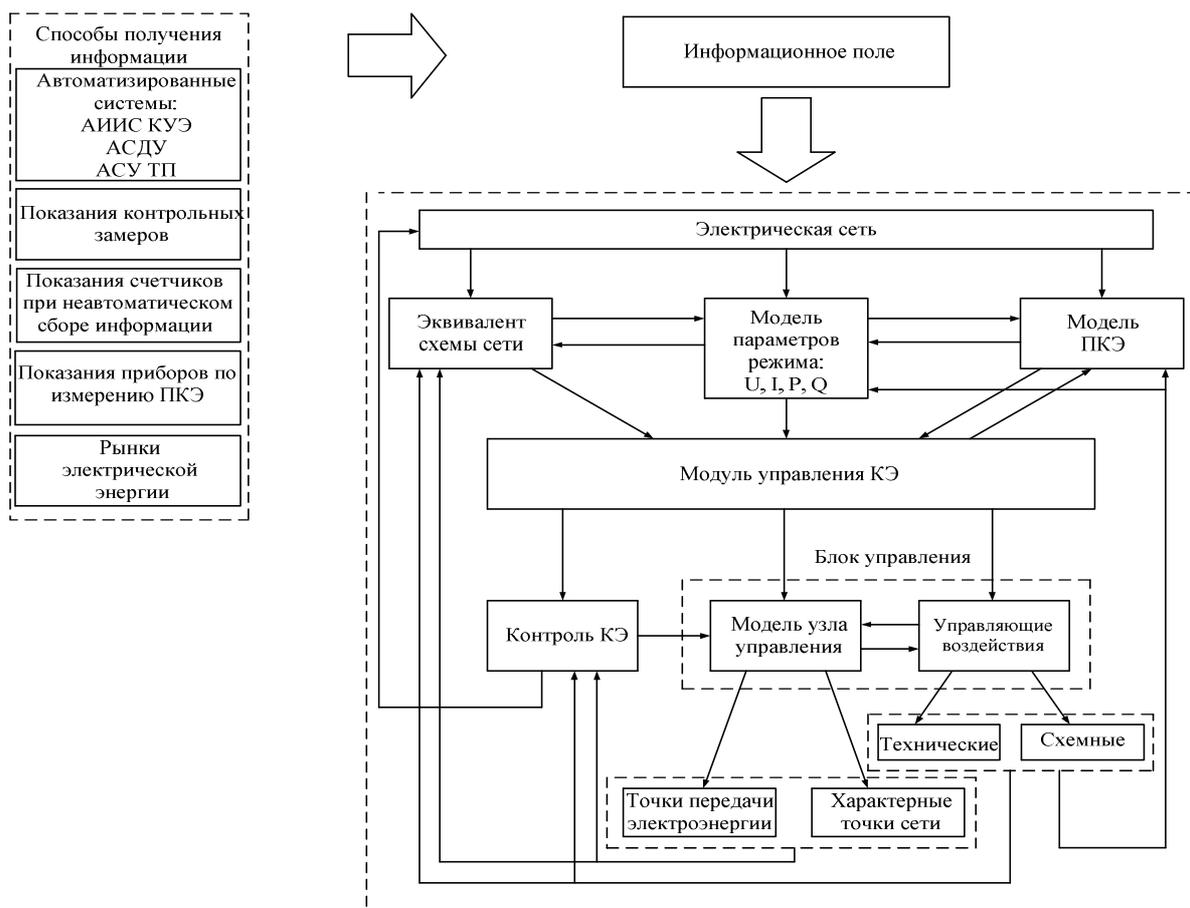


Рис. 1. Модель электрической сети для управления качеством электрической энергии

ления технологическим процессом (АСУ ТП); результаты контрольных замеров, показания счетчиков при неавтоматическом сборе информации, показания приборов по измерению и контролю ПКЭ, рынки электрической энергии.

Из вышеперечисленных автоматизированных систем берутся режимные параметры для задач управления КЭ. Значения параметров режима в сетях 6–10 кВ принимаются из АИИС КУЭ, из АСДУ берутся сведения по параметрам режима в сетях 35 кВ и выше, данные по потребителям принимаются из АСУ ТП.

АИИС КУЭ обеспечивает дистанционный сбор, хранение и обработку данных по активной и реактивной электроэнергии периодичностью в 30 мин и нарастающим итогом на начало расчетного периода. С помощью АСДУ в режиме реального времени формируются информационные потоки по параметрам режима и по параметрам схемы, а также фиксируется текущее состояние коммутационных элементов на всех уровнях электрической сети по всей рассматриваемой территории. С АСУ ТП электрических станций и подстанций, промышленных предприятий поступает режимная и схемная информация, в том числе и о состоянии технологического оборудования, в реальном времени либо с заданным интервалом.

В дни контрольных замеров с различной периодичностью в течение суток производится снятие показаний измерительных систем и/или измерительных приборов и приборов учета для получения численных параметров режима автоматически или вручную дежурным персоналом. Помимо режимных параметров при неавтоматическом получении информации используются данные энерго-сбытовых компаний, в частности помесичные показания приборов учета электропотребления [3]. При таком способе получения информации о режимной ситуации отсутствуют данные по напряжению и текущему состоянию сетей.

Показания приборов по измерению ПКЭ получают сетевые организации и потребители путем постоянного контроля КЭ (мониторинг) или проведением замеров с различной периодичностью, зависящей от типа контроля: инспекционного, оперативного или коммерческого. При контроле определяются показатели качества электроэнергии, характеризующие продолжительные изменения характеристик напряжения и случайные события в соответствии с [1]. Периодичность измерений ПКЭ определена в [2].

Измерение ПКЭ выполняют в точке передачи электроэнергии потребителям, присоединенным к электрическим сетям общего назначения. Такой

контроль и измерения выполняют энергоснабжающие организации. Сами же потребители могут также проводить измерения в собственных сетях.

ГОСТ 32144–2013 [1] позволил уйти от технологического к рыночному подходу определения собственника, отсюда нормы качества электроэнергии должны выполняться как поставщиками электроэнергии, так и потребителями, при переходе от одного собственника к другому. Так как в стране действуют рынки энергии и мощности, то особенности их функционирования учтены в модели электрической сети для управления качеством электрической энергии. Оптовый рынок предъявляет жесткие технические требования к автоматизированным информационно-измерительным системам коммерческого учета электрической энергии. АИИС КУЭ должна обеспечивать выполнение измерений в отношении всех точек поставки электроэнергии в соответствующей группе точек поставки генерации (сечении коммерческого учета).

В состав субъектов оптового рынка входят участники обращения электрической энергии и мощности:

– поставщики электрической энергии (генерирующие компании) и покупатели электрической энергии, получившие статус субъектов оптового рынка в порядке, установленном [4];

– «Совет рынка», коммерческий оператор и иные организации, обеспечивающие в соответствии с правилами оптового рынка и договором о присоединении к торговой системе оптового рынка функционирование коммерческой инфраструктуры;

– организации, обеспечивающие функционирование технологической инфраструктуры оптового рынка.

Именно они осуществляют сбор данных о параметрах режима (активная, реактивная мощность, напряжение, ток) в точках передачи электрической энергии для крупных потребителей и электросетевых комплексов [5].

Субъектами розничных рынков, от которых могут поступать данные по активной и реактивной мощности, напряжению, току в модель электрической сети, являются потребители, исполнители коммунальной услуги, гарантирующие поставщики; энергосбытовые, энергоснабжающие организации, производители электрической энергии (мощности) на розничных рынках, сетевые организации [6]. Отсюда на розничном рынке может использоваться любой из способов получения информации.

Проведенный краткий анализ показал, что информация для управления качеством электроэнергии территориально распределена, разнообразна как по способу ее получения, так и по полноте и достоверности. Следовательно, необходимо ее аккумулировать и обрабатывать. Для этого служит модуль «Информационное поле», который формирует режимные и схемные данные, данные

по ПКЭ. Он состоит из трех сегментов: синтез информации, ее анализ и обработка. Анализ проводится по полноте и достоверности информации. Вся обработанная информация поступает в модуль «Электрическая сеть». Схемная информация служит для формирования блока «Эквивалент схемы сети», режимная информация – для формирования блока «Модель параметров режима», информация по показателям качества электрической энергии поступает в блок «Модель ПКЭ» (см. рис. 1). Анализ информации, и ее обработка проводится в соответствии с [7].

Блок «Эквивалент схемы сети» имеет четкую иерархическую структуру: генерация, электрическая сеть, потребители, она показана на рис. 2. В этот блок генерация включена, поскольку она может быть источником искажения КЭ. Например, в качестве источников искажения могут быть системы возбуждения генераторов, преобразователи частоты ветровых установок и так далее. Генерация может быть централизованной или традиционной и нетрадиционной, по способу управления – распределенной. Включение в эквивалент схемы сети нетрадиционной генерации дает возможность учесть не только основные гармоник, но и интергармоники, генерирующие ею.

Электрическую сеть целесообразно подразделять по классам номинального напряжения на следующие группы: сети напряжением до 1 кВ, сети 6–10 кВ, сети 35–110 кВ, сети 220 кВ, исходя из различных функциональных свойств данных классов сетей и формирования тарифов на электрическую энергию.

В блок «Эквивалент схемы сети» должны также входить системы электроснабжения потребителей. Здесь потребители структурно разделены на промышленные и приравненные к ним, сельскохозяйственные, городские и транспорт. Такая структура обусловлена разными графиками электрических нагрузок и источниками искажения КЭ. При этом необходимо иметь в виду, что электроприемники могут быть, как потребителем кондукционных помех, так и генератором их в сеть.

В блоке «Модель параметров режима» формируются модели напряжения, тока, активной и реактивной мощности. Особенностью данной модели является формирование параметров режима в виде случайного процесса, что позволяет провести как ретроспективный анализ, так и прогноз. По указанным моделям определяются числовые характеристики параметров режима в различные временные интервалы.

Блок «Модель ПКЭ» выполняется в соответствии с [1] и представлен на рис. 3. Он включает отдельно продолжительные изменения характеристик напряжения: отклонение частоты Δf ; медленные изменения напряжения $\delta U_{(-)}$, $\delta U_{(+)}$; колебания напряжения P_{st} , P_{li} ; несинусоидальность напряжения $K_{u(n)}$, K_u ; несимметрия напряжения K_{2u} , K_{0u} , и

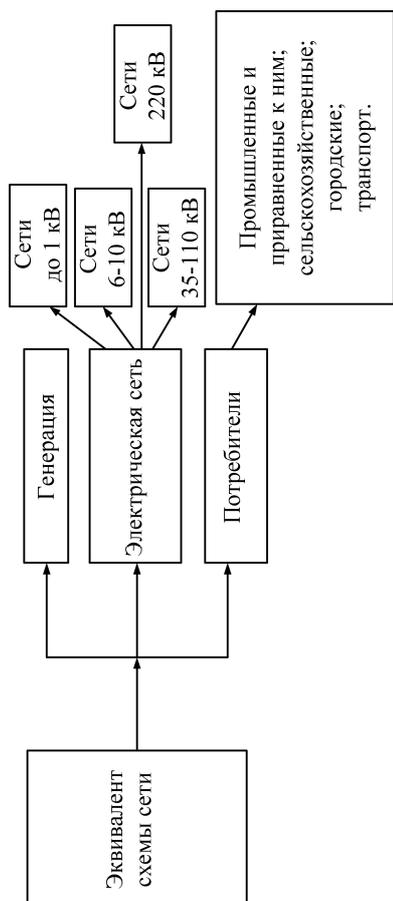


Рис. 2. Структура блока «Эквивалент схемы сети»

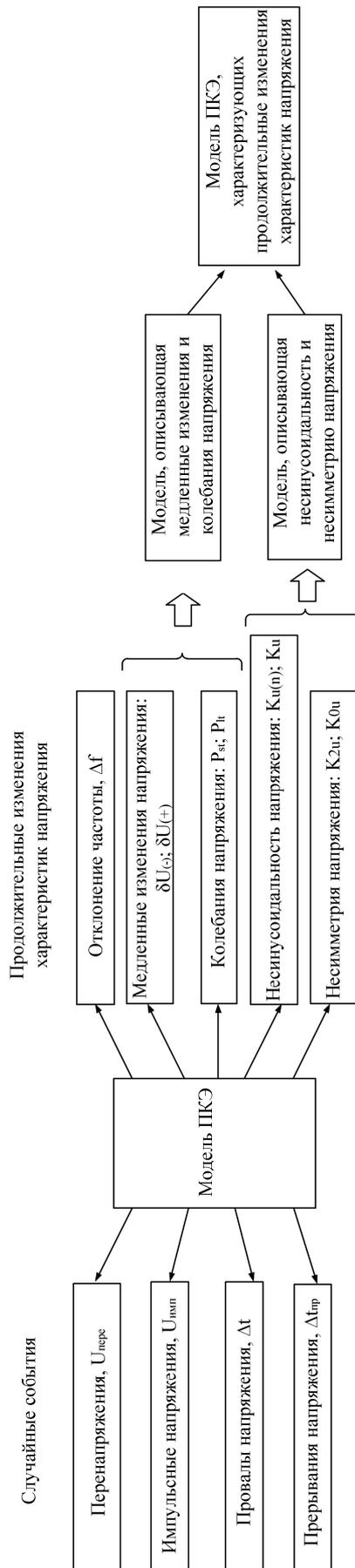


Рис. 3. Структура блока «Модель ПКЭ»

случайные события: перенапряжения $U_{\text{пере}}$, импульсные напряжения $U_{\text{имп}}$, провалы напряжения Δt , прерывания напряжения $\Delta t_{\text{пр}}$. Здесь формируются модели каждого ПКЭ, относящегося к продолжительным изменениям характеристик напряжения, и модели, учитывающие взаимное влияние ПКЭ друг на друга. Это обусловлено тем, что один источник может одновременно искажать качество электроэнергии по нескольким ПКЭ, например, может генерировать как высшие гармоники тока и напряжения, так и создавать несимметрию токов и напряжения, следовательно, необходим учет их взаимного влияния друг на друга.

Между блоками «Эквивалент схемы сети», «Модель параметров режимов», «Модель ПКЭ» осуществляется обмен информацией о состоянии режимных, схемных параметров, параметров ПКЭ. Этот обмен предусмотрен тем, что в зависимости от топологии сети меняются ПКЭ и параметры режима.

Результаты, получаемые в вышеуказанных блоках, поступают в «Модуль управления КЭ» (см. рис. 1). Этот модуль работает с каждой из выше представленных моделей и состоит из блока «Контроль КЭ» и «Блока управления». Блок управления в свою очередь подразделяется на подблоки «Модель узла управления» и «Управляющие воздействия», которые взаимосвязаны между собой.

Блок контроля КЭ обеспечивает контроль поступающей информации о параметрах режима и схемы, показателей качества электрической энергии, связываясь с модулем «Электрическая сеть», далее передавая информацию в «Модель узла управления».

В зависимости от целей, решаемых при контроле и анализе КЭ, в модели используются результаты измерения показателей КЭ, получаемые при различных формах контролях.

При диагностическом контроле измеряют ПКЭ, токи и соответствующие им потоки мощности, гармонические и симметричные составляющие токов [8]. Эти результаты измерений поступают в блок управления (см. рис. 1), где определяются фактический и допустимый вклады в нарушение требований [1] по каждому ПКЭ, долевого вклада в ухудшение КЭ группы потребителей, присоединенных к общему центру питания, определяется виновник ухудшения КЭ. При выявленном нарушении требований [1] определяются управляющие воздействия, направленные на улучшение КЭ, и узлы сети, к которым они должны прикладываться. Вначале рассматриваются схемные управляющие воздействия, затем технические. Кроме того, проводится расчет неустойки за искажение КЭ. Для задач управления при диагностических измерениях КЭ контрольными точками должны быть шины центров питания или районных подстанций, к которым подключены линии, питающие потребителей. Эти точки представляют

также интерес для контроля правильности работы устройств РПН трансформаторов, для сбора статистики и фиксации провалов напряжения и временных перенапряжений в электрической сети. В блоке контроля анализируется работа имеющихся в сети средств обеспечения КЭ, например, компенсирующих устройств, трансформаторов с устройствами РПН, обеспечивающих заданные диапазоны отклонений напряжения, работа средств релейной защиты и автоматики в электрической сети.

Таким образом, диагностический контроль, как технологическая форма, является основой для управления КЭ.

Если результаты диагностического контроля КЭ подтверждают «виновность» потребителя в нарушении норм КЭ, то на период до ввода управляющих воздействий в модели используются результаты оперативного контроля и коммерческого учета КЭ. Коммерческий учет КЭ должен осуществляться непрерывно в точках учета потребляемой электроэнергии как средство экономического воздействия на виновника ухудшения КЭ, т. е. для определения скидок (надбавок) к тарифам на электроэнергию за ее качество.

На основе анализа форм контроля КЭ, структура контроля КЭ в модуле управления КЭ построена как вертикальная распределенная иерархическая система. При этом в качестве контроля КЭ используются точка передачи электроэнергии и характерные точки сети, такие как границы балансовой принадлежности, выходы приемников электрической энергии, другие точки электрической сети, в том числе выбранные по согласованию между энергоснабжающей организацией и потребителем.

В электрических сетях энергоснабжающей организации в качестве пунктов контроля КЭ закупаемой электроэнергии выбирают границы раздела балансовой принадлежности двух энергоснабжающих организаций или иные пункты, связывающие электрические сети этих организаций и позволяющие проводить измерения КЭ. Выбранные пункты вводятся в модель электрической сети для управления качеством электроэнергии.

В электрических сетях потребителя в качестве пунктов контроля КЭ закупаемой электроэнергии выбирают точку коммерческого контроля, если она располагается в сети потребителя, или границу балансовой принадлежности, или иной пункт, ближайший к границе раздела, в которой может быть осуществлен контроль КЭ. Пунктами контроля качества поставляемой потребителям электрической энергии являются центры питания, если они принадлежат энергоснабжающей организации, в чьем ведении находится распределительная электрическая сеть. Эти пункты также входят в состав блока управления модели сети, при этом пункт контроля не обязательно должен совпадать с узлом управления КЭ.

Из блока «Контроль КЭ» информация о несоответствии ПКЭ в характерных точках, выделенных по формам контроля, поступает в блок «Модель узла управления». В ней определяются узлы сети, в которые нужно вводить управляющие воздействия, в зависимости от видов искажений, форм контроля, технических возможностях сети, а также модель, описывающая эти узлы. Блок «Модель узла управления» определяет способ задания узла в программно-вычислительном комплексе для воздействия на ПКЭ и режим, с целью их улучшения. Он связан с блоком «Эквивалент схемы». После определения ПКЭ и анализа выявленных несоответствий вводятся соответствующие управляющие воздействия, формируемые в блоке «Управляющие воздействия».

Управляющие воздействия влияют на параметры сети, показатели КЭ и топологию сети. С помощью технических или схемных решений количественные значения ПКЭ приводятся в соответствии с [1], затем информация по результатам управляющих воздействий передается для дальнейшего анализа в блоки «Эквивалент схемы сети», «Модель параметров режима», «Модель ПКЭ».

Связь блока «Управляющие воздействия» с блоком контроля КЭ позволяет оценить корректность и эффективность выполнения управляющих воздействий путем сравнения фактических ПКЭ с нормируемыми. Если соответствие фактических ПКЭ с нормируемыми установлено, то задача решена, если нет, то осуществляется переход для дальнейшего управления в модель «Электрическая сеть».

Выводы

1. На основе анализа требований нормативной базы в области качества электрической энергии определены принципы построения модели электрической сети.

2. Выявлены новые свойства в современных электрических сетях, влияющие на КЭ, для по-

строения модели управления качеством электроэнергии.

3. С помощью системного подхода разработана модель электрической сети для управления качеством электроэнергии и дано ее описание.

Литература

1. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Изд-во стандартов, 2014. – 20 с.

2. ГОСТ 33073–2014. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Контроль и мониторинг качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Изд-во стандартов, 2015. – 45 с.

3. Постановление Правительства Российской Федерации от 27.12.2004 № 854 «Об утверждении правил оперативно-диспетчерского управления в энергетике».

4. Закон № 35-ФЗ «Об электроэнергетике» в редакции с 31.07.2016 года.

5. Положение о порядке получения статуса субъекта оптового рынка и ведения реестра субъекта оптового рынка // Протокол № 15/2016 заседания Наблюдательного совета Ассоциации «НП Совет рынка».

6. Постановление Правительства Российской Федерации от 4 мая 2012 г. № 442 «О функционировании розничных рынков электрической энергии».

7. Савина, Н.В. Системный анализ потерь электроэнергии в электрических распределительных сетях: моногр. / Н.В. Савина; отв. ред. Н.И. Воронин. – Новосибирск: Изд-во Наука, 2008. – 228 с.

8. Управление качеством электрической энергии / И.И. Карташев, В.Н. Тульский, Р.Г. Шамонов и др.; под ред. Ю.В. Шарова. – М.: Издат. дом МЭИ, 2006. – 320 с.

Савина Наталья Викторовна, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Энергетика», проректор по учебной работе, Амурский государственный университет, г. Благовещенск; nataly-savina@mail.ru.

Бодруг Наталья Сергеевна, аспирант кафедры «Энергетика», Амурский государственный университет, г. Благовещенск; bodrug82@rambler.ru.

Поступила в редакцию 24 октября 2016 г.

DEVELOPMENT OF ELECTRICAL NETWORK MODEL FOR CONTROL OF POWER QUALITY

N.V. Savina, nataly-savina@mail.ru,

N.S. Bodrug, bodrug82@rambler.ru

Amur State University, Blagoveshchensk, Russian Federation

Today, the issue of power quality management is very acute. This is due to new approaches to regulation and control of power quality. Electrical networks feature new properties affecting power quality while the concept of power quality management does not comply with current conditions. The paper shows development of design principles and electric network model for efficient power quality management based the system approach. The model consists of blocks and modules with their own functional values.

Keywords: electrical network, control, power quality, standardization, system approach, model.

References

1. *GOST 32144–2013*. [Electric Energy. Electromagnetic Compatibility of Technical Equipment. Power Quality Limits in the Public Power Supply Systems]. Moscow, Standard Publishing House, 2014. 20 p. (in Russ.)
2. *GOST 33073–2014*. [Electric Energy. Electromagnetic Compatibility of Technical Equipment. Control and Monitoring of Electric Power Quality in the Public Power Supply Systems]. Moscow, Standard Publishing House, 2015. 45 p. (in Russ.)
3. [Resolution of the Government of the Russian Federation No. 854, 2004 “On Approval of Operational Dispatch Management rules for Power Engineering”]. (in Russ.)
4. [Federal Law No. 35-FZ, 2016 “About Power Engineering”]. (in Russ.)
5. [Procedure for Application of Wholesale Market Entity Status and Register Maintenance. Minutes the Supervisory Board of the NP Market Council Association No. 15/2016, 2016]. (in Russ.)
6. [Resolution of the Government of the Russian Federation No. 442, 2012 “About Functioning of the Retail Electric Energy Markets”]. (in Russ.)
7. Savina N.V. Edited by Voropay N.I. *Sistemnyy analiz poter' elektroenergii v elektricheskikh raspredelitel'nykh setyakh: monogr.* [System Analysis of Electric Power Losses in Electric Distribution Networks: Monograph]. Novosibirsk, Science Publishing House, 2008. 228 p.
8. Kartashev I.I., Tulsy V.N., Shamonov R.G. et al. Edited by Sharov Yu.V. *Upravlenie kachestvom elektricheskoy energii.* [Power Quality Management]. Moscow, MEI Publishing House, 2006. 320 p.

Received 24 October 2016

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Савина, Н.В. Разработка модели электрической сети для управления качеством электрической энергии / Н.В.Савина, Н.С. Бодруг // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2016. – Т. 16, № 4. – С. 23–31. DOI: 10.14529/power160403

FOR CITATION

Savina N.V., Bodrug N.S. Development of Electrical Network Model for Control of Power Quality. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2016, vol. 16, no. 4, pp. 23–31. (in Russ.) DOI: 10.14529/power160403