



УДК 004.021

П.А. Кузнецов (1 курс магистратуры, каф. ЭиЭ, РГАТУ(Рыбинский государственный авиационный технический университет), С.В. Масло (асс.каф. ПМ), А.В. Юдин (д.т.н., проф., зав. каф. ЭиЭ, РГАТУ)

БОРЬБА С ВЕЕРНЫМИ ОТКЛЮЧЕНИЯМИ ЗА СЧЕТ ВНЕДРЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ SMART GRID

Цель работы – создание универсального устройства, помогающего обеспечить максимальную защиту потребителей электрической энергии от веерных отключений на основе модели структурного разрушения сложной системы.

В связи с ростом численности населения Земли и растущими объёмами потребления энергии во всех сферах человеческой деятельности, мир столкнулся с проблемой надвигающегося энергетического кризиса. Ранее эта проблема решалась преимущественно интенсивным способом – наращиванием объёма добычи полезных ископаемых для переработки и повышением удельной мощности генераторов, производящих электроэнергию. Однако, это не может продолжаться бесконечно. Поэтому, в последнее время, ученые стали больше уделять внимания экстенсивным методам – связанным с альтернативной энергетикой и реструктуризацией уже существующих сетей [1].

Одним из таких решений является умная сеть (Smart Grid). Данная концепция, в сравнении с традиционными распределительными сетями, обладает значительно большей энергоэффективностью и следующими преимуществами:

- снижение или задержка роста повсеместной стоимости электроэнергии для потребителя, как бытового, так и промышленного;
- обеспечение потребителя новой информацией, технологиями и инструментами для контроля их электрических счетов, увеличение их энергетической эффективности;
- улучшение надёжности и безопасности отечественно электрической сети;
- увеличение способности сети к быстрому восстановлению после отключений и сбоев, вызванных погодой, перегрузками и авариями.

При проработке характеристик и модели новой сети было проанализировано большое количество работ, посвященных проблематике развития умных и модернизации существующих электросетей, как отечественных, так и зарубежных. Некоторые исследователи делают упор на автономность работы, минимизацию вмешательства человека, самоконтроль и самодиагностику [2]. Другие делают ставку на решение проблемы безопасной передачи информации, устойчивость к суточным колебаниям мощностей [3]. Однако, общими и важнейшими требованиями, предъявляемыми к сетям нового поколения, являются надёжность, автоматизированный контроль состояния и возможность к обучению интеллектуальных узлов системы электроснабжения [4]. Под определением «умная сеть» должна находиться не только структура, передающая мощности, но и сети автоматики, органы контроля и учета за расходом электроэнергии. Исходя из этого можно построить алгоритм развития и функционирования такой сети.

Алгоритм взаимоотношений, представленный на рис. 1 отображает причины, которые вызывают необходимость реструктуризации электрических сетей. В основе лежат фундаментальные движущие силы. К ним относятся требования окружающей среды, нужды рынка и потребителя, требования инфраструктуры и инновационные технологии. Эти причины формируют свои требования к «умным» сетям. Последние состоят из трёх больших групп. Это сети передачи информации, центры контроля и «умные» полуавтоматические автономные подстанции и распределительные узлы. Выгоды от внедрения такой сетевой структуры позволяют компенсировать воздействие причин, вызывающих необходимость изменений в сетях.

С другой стороны, развитие «умных» сетей стимулирует исследования и развития в таких областях науки как электроника, информатика, автоматика. Внедрение новых достижений позволяет сформировать самые необходимые характеристики новой сети. Это будут гибкость, адаптивность под требования заказчика, возможность оцифровывания огромного количества данных о потребителях, расходе энергии и состоянии сети, наличие искусственного интеллекта и продвинутые коммуникационные способности. Это все позволит оценить выгоды от внедрения сетей нового поколения.



Рис. 1 Алгоритм развития «умных» сетей

Согласно [5] одним из наиболее критичных свойств систем электроснабжения стран СНГ, является неустойчивость к перегрузкам. Если для бытовых потребителей, которые относятся к третьей категории, они не причиняют особого вреда кроме неудобства, то для потребителей первой категории веерные отключения несут в себе помимо огромного материального ущерба ещё и прямую угрозу человеческим жизням. Веерные отключения, становятся всё более частым явлением в связи с растущими потребностями в электрической энергии бытовыми и промышленными потребителями. Существующие на данный момент системы автоматики (ВСКУЭ, АСУТП и т.д.) показывают пользователю только лишь объёмы потребляемой энергии. Они являются фактически лишь модернизированными счётчиками электрической энергии.

Одним из возможных решений данной проблемы может стать внедрение в систему рис. 1 модуля, который будет следить за нагрузкой на сеть и в случае ее перегрузки, отключать некритичных потребителей, данный подход неплохо себя зарекомендовал при применении алгоритма «Метод роя частиц» [6].

Основной задачей модуля будет повышение надёжности электросети и повышение её устойчивости к перегрузкам и их последствиям – веерным отключениям. Необходимо разработать устройство, которое может контролировать сегменты энергосети, т.е. отсекал их в случае превышения уровня нагрузки или перераспределять. Помимо этого, оно должно делать это автоматически без вмешательства человека, основываясь на данных мониторинга состояния сети, данных об уровне потребителей, заложенных ранее и от текущих процессов, происходящих в потребителе.



В основе алгоритмического обеспечения контроллера будет лежать математическая модель структурного разрушения сложной системы: в случае, когда текущая нагрузка элемента системы достигает предельного значения, элемент систем выходит из строя, проходящие через него потоки перераспределяются по «соседним» элементам системы. Выход из строя элемента системы в теоретико-графовой терминологии соответствует удалению из графа системы вершины с инцидентными ей ребрами. А перераспределение весов в тривиальном случае соответствует равному разделению веса удаленной вершины по вершинам, смежным с удаляемой. Структурное разрушение, вообще говоря, процесс динамический, что дает возможность вмешаться в этот процесс и минимизировать ущерб.

Изменения, происходящие в структуре сложной системы, которой является электрическая сеть, могут быть описаны простейшими теоретико-графовыми операциями: стягиванием ребра, удалением (добавлением) ребра, удалением (добавлением) вершины. Изменения структуры системы могут быть разовыми, а могут быть постоянными (периодическими, регулярными).

Структурные изменения в электрической сети могут иметь как позитивный характер, когда в системе появляются новые элементы (ввод в эксплуатацию нового оборудования), улучшающие ее функционирование, так и негативный характер, когда из строя по различным причинам выходят элементы системы (сбои в работе оборудования, перегрузки, аварии), что существенно ухудшает или останавливает работу всей системы.

Существует ряд моделей и задач, для описания которых используются потоки в сетях и на графах. Потоками в сетях моделируют автотранспортное движение, перевозку товаров по железным дорогам, перекачку жидкости и газа по сети трубопроводов от источника до пункта потребления и т.д. Но все эти модели и задачи не учитывают возможность внезапного прекращения функционирования узловых элементов сетей (трансформаторов, контроллеров, распределительных устройств), а это часто приводит к внештатным ситуациям, не описываемым этими моделями. Нередко отказ одного узлового элемента системы приводит к череде отказов в системе (каскадному отключению), вследствие чего из строя выходит вся система.

Обозначим через $G = (V, E)$ – граф, соответствующий структуре исследуемой системы, V – множество вершин, соответствующее элементам системы, а E – множество ребер, соответствующее связям между элементами системы. Каждой вершине $v \in V$ припишем веса $w(v)$ и $\bar{w}(v)$, отражающие *текущую нагрузку* и *предельную нагрузку* элемента системы. В случае, когда текущая нагрузка $w(v)$ элемента системы достигает предельного значения $\bar{w}(v)$, элемент систем выходит из строя. А проходящие через него потоки перераспределяются по “соседним” элементам системы. Выход из строя элемента системы в теоретико-графовой терминологии соответствует удалению из графа системы вершины с инцидентными ей ребрами. А перераспределение весов в тривиальном случае соответствует равному разделению веса $\bar{w}(v)$ удаленной вершины по вершинам, смежным с удаляемой [7].

При выходе из строя одного или нескольких элементов системы возможны несколько сценариев дальнейшего развития событий. Один из них возможен, если система функционирует в *предельном состоянии*, т.е. нагрузка элементов близка к предельному значению. Тогда возможен “быстрый” переход системы в критическое состояние, когда система не может выполнять возложенные на нее функции.

Реализация вышеописанного алгоритма сможет предотвратить веерное отключение при перегрузке сети за счет перераспределения баланса мощностей и отключения менее критичных потребителей.



Также, одним из нововведений будет реализация каналов связи и электронных компонентов на базе концепции архитектуры с временным распределением ТТА (Time Triggered Architecture). Она позволяет создавать системы высокой надежности и жесткого реального времени.

Отказы в аппаратуре и программном обеспечении являются основным источником нестабильности и ненадежности сложной распределенной системы. Платформа ТТА на архитектурном уровне обеспечивает устойчивость работы всей системы даже при наличии ошибок и отказов отдельных ее компонент, что существенно снижает сроки и стоимость разработки.

Простой расчет экономии от предотвращения отключения контроллером состояния сети на примере литейного цеха ОАО «НПО «Сатурн»» показывает, что будет спасено не только сырье, формирующее 60-80 % затрат предприятия, но и дорогостоящее оборудование, которое могло бы безвозвратно выйти из строя в случае исчезновения питания.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кузнецов П.А., Солёный С.В. Перспективы внедрения микросетей или виртуальных электростанций в Донбассе // Сборник научных трудов конференции «Автоматизация технологических процессов. Поиск молодых». – Донецк, 2014 г., стр. 76-79.
2. Fanxing Li and others «Smart Transmission Grid: Vision and Framework»; Article in IEE transaction on Smart Grid; October 2010;
3. Himanshu Khurana, Ninh Lu «Smart Grid – Security Issues»; Article in IEE Security and Privacy magazine; March 2010;
4. Akash K. Singh «Smart Grid Architecture»; International Journal Of Computational Engineering Research (ijceronline.com) Vol. 2 Issue. 7.
5. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. Серия: «Среднее профессиональное образование» – М.: Изд-во «Академия», Москва, 2009. – 320 с.
6. Халил Т.М., Горпинич А.В. Оценка экономического эффекта от внедрения мероприятий по оптимизации режимов и структуры реальной разветвлённой распределительной сети с целью снижения потерь электроэнергии // Современные проблемы электроснабжения промышленных и бытовых объектов. Сборник научных трудов I Всеукраинской научно-технической конференции преподавателей, аспирантов и студентов: 18-19 октября 2012 г., г. Донецк: «ГВУЗ» ДонНТУ, 2012. – С. 73-74.
7. Кочкаров А. А., Салпагаров М. Б., Эльканова Л. М. дискретная модель структурного разрушения сложных систем // Журнал Проблемы управления, выпуск 5/2007.