

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

О.В. Григораш, Ю.П. Степура, А.В. Квитко

В статье рассматриваются особенности структурно-параметрического синтеза автономных систем электроснабжения, выполненных с использованием возобновляемых источников энергии. Рассматриваются также вопросы выбора источников, преобразователей и параметров электроэнергии автономных систем.

Ключевые слова: автономная система электроснабжения, автономный источник, возобновляемые источники энергии, эксплуатационно-технические характеристики.

С каждым годом в нашей стране возрастает энергетическая мощность автономных систем электроснабжения (АСЭ). Основным фактором способствующий развитию АСЭ является высокий уровень экономического ущерба от перерывов в электроснабжении внешних систем из-за аварийных ситуаций. Кроме того, ежегодно увеличиваются тарифы на электроэнергию, из-за ограниченности ресурсов традиционного топлива, необходимости модернизации устаревшей элементной базы (линий электропередачи, трансформаторных подстанций, распределительных устройств и т. п.), работающей на предельных сроках эксплуатации, и ухудшающей экологической обстановки.

Политика государства направленная на разработку и внедрение энергоэффективных, в т. ч. энергосберегающих технологий, будет способствовать развитию новых энергетических направлений с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в России. Внедрение ВИЭ кроме энергетического, экономического и экологического эффекта будет способствовать развитию технологического уровня страны, а также образовательного и интеллектуального уровня населения.

Таким образом, актуальным в настоящее время является вопрос разработки АСЭ с использованием ВИЭ, обеспечивающих надежное (бесперебойное) электроснабжение ответственных потребителей (потребителей первой категории) электроэнергии.

На рисунке 1 приведена обобщенная структурная схема АСЭ, включающая в себя:

- основной источник электроэнергии (И), как правило, внешняя сеть;
- резервные источники электроэнергии (РИ), которыми могут быть дизельные, газотурбинные станции и возобновляемые источники;

- аварийные источники (АИ), которыми являются аккумуляторные батареи;
- статические преобразователи (СП), обеспечивающие согласование, в т. ч. регулирование и стабилизацию, параметров электроэнергии источника с нагрузкой;
- распределительные устройства (РУ);
- коммутационные аппараты (К);
- центральная система защиты и управления (ЦСЗУ), кроме функции защиты в аварийных режимах работы, выполняет функцию изменения структуры АСЭ для обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителей.

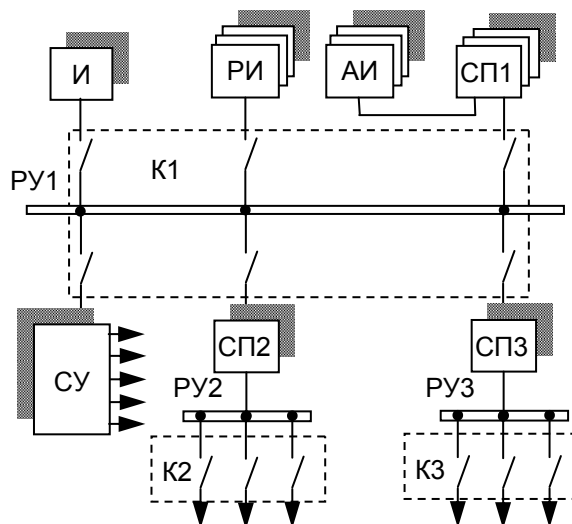


Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема АСЭ

АСЭ может не содержать ввод от внешней электрической сети, тогда основным источником может быть, к примеру, дизельная, ветроэлектрическая или солнечная электростанция. Здесь на выбор источника оказывают существенное влияние экономические по-

казатели, которые зависят от климатических условий и ландшафта местности, где предполагается размещение АСЭ с использованием ВИЭ.

Все функциональные элементы АСЭ должны иметь согласованные характеристики и обеспечивать оптимальные показатели критериев эффективности (экономические показатели, показатели надежности, качества электроэнергии, КПД, а для транспортных систем и массогабаритные показатели) в основных режимах функционирования системы. Поэтому проектирование АСЭ имеет ряд особенностей.

Во-первых, кроме исследования графика и характера нагрузок, требований потребителей к качеству электроэнергии и бесперебойности электроснабжения, необходимо провести анализ возможностей местности для применения ВИЭ (оценка ландшафта, ветровых потоков, солнечной радиации и т. п.).

Во-вторых, из-за большого числа возможных структурных решений, в т. ч. с варьированием функциональных элементов, структурная оптимизация АСЭ должна предполагать сравнение показателей основных критериев эффективности системы для определения рационального структурного решения.

В-третьих, для улучшения показателей критериев эффективности, кроме структурной оптимизации необходимо осуществлять параметрическую оптимизацию АСЭ, которая заключается в изменении внутри системы рода и частоты тока, напряжения.

В-четвертых, для автономных систем важным фактором, оказывающим влияние на основные критерии эффективности, является электромагнитная совместимость функциональных элементов, из-за компактного их размещения и ограниченной мощности. Поэтому параллельно с разработкой АСЭ должны проводиться математическое моделирование физических процессов, протекающих в силовых схемах системы, и физическое моделирование основных функциональных элементов и узлов, обеспечивающих оценку достоверности правильности принимаемых решений.

Таким образом, при синтезе структур АСЭ необходимо учитывать влияние на эксплуатационно-технические характеристики (ЭТХ) системы значения показателей критериев эффективности.

Как правило, показатели критерия экономической эффективности (капиталовложения, эксплуатационные затраты и удельные

затраты на единицу мощности) являются основными при проектировании АСЭ. Значение этих показателей значительно увеличивается, если к системе предъявляются повышенные требования к бесперебойности электроснабжения, показателям надежности функциональных элементов, качеству электроэнергии, КПД и массогабаритным показателям.

Бесперебойность электроснабжения предполагает наличие двух и более источников электроэнергии, а надежность, кроме того, предполагает создание резерва функциональных элементов, узлов, блоков, которые, как правило, автоматически включаются в работу в аварийных режимах. Основными показателями надежности АСЭ являются коэффициент готовности, вероятность безотказной работы и наработка до первого отказа. Значительно улучшаются показатели надежности и эксплуатационные показатели АСЭ при модульном агрегатировании основных функциональных элементов [1].

Требования к качеству электроэнергии, характеризующее стабильностью и формой напряжения, тока, длительностью и характером переходных процессов, определяются потребителями и практически оказывают существенное влияние, как и показатели надежности и экономические показатели АСЭ. От качества генерируемой электроэнергии зависят конструктивные особенности и схемные решения системы. Кроме того, повышенные требования к показателям качества электроэнергии, как правило, приводят к значительному ухудшению массогабаритных показателей, показателей надежности и КПД статических преобразователей и стабилизаторов параметров электроэнергии.

Критерий эффективности, оценивающий массогабаритными показателями, охватывает, как установленную массу и объем функционального элемента, узла, блока, подсистемы, системы, так и удельную их массу, а также объем, на единицу установленной мощности. Для транспортных АСЭ важным показателем является масса топлива. Минимизация массогабаритных показателей транспортных АСЭ является приоритетным критерием в их разработке. Улучшение массогабаритных показателей АСЭ может быть достигнуто за счет применения источников электроэнергии с повышенной частотой тока, статических преобразователей с промежуточным звеном повышенной частоты, однофазно-трехфазных трансформаторов с вращающимся магнитным полем, а также

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

универсальных статических преобразователей [1].

Коэффициент полезного действия источника, преобразователя электроэнергии других элементов и АСЭ в комплексе, определяет эффективность преобразования и передачи энергии. На этапе проектирования должен проводиться расчет значения КПД АСЭ для всех ее режимов работы, определяющим является значение КПД основного режима функционирования, режима имеющего наибольший временной интервал эксплуатации системы. Улучшение КПД АСЭ может быть достигнуто за счет применения в ее структуре новой силовой элементной базы, а также за счет внедрения локальных и центральной системы управления и защиты, работа которых обеспечивается и контролируется с помощью компьютеров, содержащих специально разработанное программное обеспечение.

При синтезе структур АСЭ необходимо осуществить выбор источников, преобразователей, коммутационной аппаратуры и параметров электроэнергии (номинального значения мощности и напряжения, рода тока, частоты, числа фаз), с учетом соблюдения правил техники безопасности, которые также оказывают влияние на ЭТХ автономной системы.

Выбор источника электроэнергии определяется требованиями потребителей, а также местностью, при выборе ВИЭ, где предполагается использовать АСЭ. В настоящее время электромеханические генераторы переменного и постоянного тока являются наиболее универсальными источниками, имеющие хорошие регулировочные характеристики и высокую степень отработанности технологий изготовления. Широкие перспективы раскрываются перед бесконтактными электрическими машинами: синхронными генераторами с постоянными магнитами, вентильными генераторами и асинхронными генераторами с емкостным возбуждением. КПД таких генераторов превышает 90 %, удельная масса находится в пределах 5-20 кг/кВт, при частоте вращения вала 1500 об/мин, а при использовании высокоскоростных приводных двигателей с частотой вращения 6000 об/мин и более, их удельная масса не превышает 3 кг/кВт [2]. Ресурс работы электромеханических источников электроэнергии в основном определяется характеристиками приводного двигателя.

Эффективность использования ветроэлектрических установок (ВЭУ) определяется среднегодовой скоростью ветра, как правило,

она должна быть не менее 3 м/с. Экономически выгодно разрабатывать минигидроэлектростанции (МГЭС) мощностью от единиц до десятков киловатт на предгорных и горных реках, где уже естественными природными условиями созданы большие напоры воды. Перспективным является направление перехода от использования в конструкции ВЭУ и МГЭС унифицированных узлов, а также компактного серийного отечественного ветро, гидро и электроэнергетического оборудования. Поскольку частоты вращения ветродвигателя ВЭУ и турбины МГЭС практически находятся в одних и тех же пределах (в основном до 90 об/мин), поэтому ВЭУ и МГЭС могут иметь однотипные редукторы и соответственно генераторы электроэнергии.

Если же местность, на которой предполагается использовать ВИЭ, имеет повышенный уровень радиации, как правило, это еще более 3000 ч в год солнечных дней, то при разработке солнечных электростанций необходимо учитывать, что 1 м² фотоэлементов генерирует от 150 до 300 Вт электроэнергии постоянного тока, КПД солнечных батарей находится в пределах 0,2-0,3, а удельная масса – 20-50 кг/кВт. При этом, стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, вырабатываемой солнечной электростанцией, в настоящее время, превышает 4 руб.

При выборе генератора переменного или постоянного тока необходимо учитывать следующие факторы. В системах переменного тока электрические машины, преобразователи, коммутационные аппараты имеют лучшие показатели критериев эффективности. Трехфазные системы трех- или четырехпроводные обладают высокой симметрией и позволяют создавать вращающееся магнитное поле необходимое для электропривода электрических машин. Четырехпроводные системы, кроме того, позволяют получать два уровня напряжения (линейное или фазное) и реализовать не сложные системы защиты. Основными недостатками систем переменного тока являются: сложность аппаратуры, обеспечивающей параллельную работу генераторов; дополнительные потери на реактивных элементах; повышенный уровень электромагнитных помех; увеличенное сечение проводов при повышенных частотах.

В системах постоянного тока генераторы имеют хорошие регулировочные характеристики, на много проще обеспечивается их параллельная работа, уменьшенные потери электроэнергии и уровень электромагнитных помех. Однако их недостатками являются:

сложные технические решения преобразователей электроэнергии и коммутационной аппаратуры; коллекторные генераторы имеют относительно низкие показатели надежности и КПД [1].

Выбор номинального напряжения АСЭ определяется следующими факторами. Низкие значения напряжения приводят к повышенным значениям токов (при постоянной мощности) и потерям, требуется увеличение сечения провода и его массы соответственно, затрудняется регулирование и стабилизация параметров электроэнергии. Повышенные значения напряжения приводят к уменьшению массы проводников, но повышению массы распределительных устройств, кроме того, повышаются требования к изоляции проводников и техники безопасности. В настоящее время номинальное значение напряжение генераторов переменного тока соответствует 220/380 В, а генераторов постоянного тока – 110, 220 В.

Повышение частоты тока генераторов может достигаться за счет применения высокоскоростных приводных двигателей, увеличением числа пар полюсов генератора, а для ВИЭ увеличением передаточного числа редукторов ВЭУ или МГЭС.

В статических преобразователях с промежуточным звеном повышенной частоты, частота преобразования которых находится в пределах 16-20 кГц, удельная масса реактивных элементов и трансформаторов мощностью от 10 до 25 кВт находится в пределах от 0,1 до 0,15 кг/кВт. Но необходимо при проектировании учитывать, что при больших значениях частоты тока, возрастают потери в стальных сердечниках, падение напряжения на реактивных элементах.

Выбор мощности генератора электроэнергии проводится по графику нагрузки. За расчетную мощность принимается среднее квадратичное значения полной мощности S за время t , как правило, равное длительности максимальной нагрузки в году или времени выхода на установившийся режим дополнительного источника электроэнергии [1].

При этом, необходимо учитывать, что при больших колебания нагрузки и ее временных интервалов с эксплуатационной точки зрения выгоднее иметь, к примеру, два источника мощностью по 50 кВт, чем один источник мощностью 100 кВт.

При необходимости наращивания установленной мощности АСЭ для обеспечения параллельной работы синхронных генераторов требуется большое число каналов согла-

сования регулирования, как генераторов, так и их привода. Намного проще решаются вопросы параллельной работы, в т. ч. защиты в аварийных режимах, при использовании асинхронных генераторов и генераторов постоянного тока.

Статические преобразователи (выпрямители, преобразователи частоты, инверторы, конверторы), силовые схемы которых выполнены с использованием полупроводниковых приборов, имеют высокие показатели надежности, хорошие массогабаритные показатели, КПД и повышенный ресурс работы в сравнении с электромашиными преобразователями электроэнергии.

В качестве коммутационных аппаратов в настоящее время используются, в основном, электромагнитные контакторы и автоматические выключатели. Эти аппараты имеют низкое переходное сопротивление и их время коммутации не превышающее 0,02 с. Основными их недостатками являются: большая масса и габариты; во время коммутации возникает искровой разряд или электрическая дуга; ограниченный ресурс работы.

Широкое применение нашли бесконтактные коммутационные аппараты, выполненные на полупроводниковых приборах. Основные достоинства таких аппаратов в сравнении с контактными: большой срок службы; бездуговая коммутация силовой цепи; высокое быстродействие не превышающее 0,001 с; большие допустимые механические перегрузки (при трясках и вибрациях); простота обслуживания. Вместе с тем они имеют следующие недостатки: относительно большие потери электроэнергии, в т. ч. наличие токов утечки при отключенном состоянии (десятки миллиампер); имеют меньшую перегрузочную способность по току и очень чувствительны даже к кратковременным перенапряжениям; отсутствует видимый разрыв цепи.

В настоящее время известны технические решения комбинированных коммутационных аппаратов, которые позволяют эффективно использовать в одной конструкции достоинства контактных и бесконтактных коммутационных аппаратов. В таких устройствах ток в номинальных режимах работы протекает через контактные аппараты, а бесконтактные аппараты осуществляют только коммутацию силовой цепи.

Для повышения эффективности работы АСЭ их центральные системы не только должны контролировать состояние оборудования и выполнять функции защиты, но они должны сохранять работоспособность систе-

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

мы для всех запланированных ненормальных режимов путем адаптивного изменения структуры цепей и постепенного отключения групп потребителей согласно заданным приоритетам нагрузок. Локальные системы управления функциональных элементов должны обеспечивать только функцию преобразования и стабилизации параметров электроэнергии. Соответственно контроль за работой локальных систем управления осуществляет центральная система управления АСЭ.

Модульный принцип построения АСЭ является весьма перспективным, поскольку позволяет обеспечить высокую надежность работы системы, за счет резервирования основных функциональных элементов, узлов и блоков, а при необходимости он позволяет достаточно просто увеличивать установленную мощность источников, преобразователей и накопителей электроэнергии путем включения работающих модулей на параллельную работу с аналогичными функциональными модулями. Кроме того, модульные системы сократят время их проектирования, изготовления оборудования, упростят задачу по изменению структуры АСЭ в зависимости от требований потребителей. Значительный технико-экономический эффект достигается при эксплуатации модульных АСЭ за счет сокращения времени на устранение неисправностей, поскольку неисправные модульные блоки автоматически заменяются на рабочие.

Рассмотрев особенности работы и ЭТХ основных функциональных элементов, следующим важным этапом проектирования АСЭ является оптимизация параметров системы по основным критериям оценки ее эффективности.

Как известно, оптимизация АСЭ одновременно по рассмотренным выше критериям эффективности, с определением оптимальных значений их параметров, практически не разрешаемая задача. В то же время

именно этот вопрос является ключевым, поскольку от правильности выбора этого диапазона зависят энергоэффективность и соответственно ЭТХ проектируемой АСЭ [2].

Эффективность решения задачи синтеза структур сложных АСЭ возможно только на основе полной и логически строгой систематизации всех альтернативных вариантов структур, удовлетворяющих по своим характеристикам требованиям потребителей электроэнергии.

Таким образом, рассмотренные особенности структурно-параметрического синтеза, позволят создавать высокоэффективные АСЭ. Однако необходимо учитывать, что перспективы развития АСЭ на базе ВИЭ связаны также с разработкой и внедрением единого адаптированного модульного автоматизированного комплекса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григораш, О.В. Модульные системы гарантированного электроснабжения: монография / О.В. Григораш, С.В. Божко, С.М. Безуглый; КВВАУЛ. – Краснодар, 2006. – 306 с.

2. Григораш, О.В. Математический аппарат для оценки эффективности систем гарантированного электроснабжения: монография / О.В. Григораш, Н.И. Богатырев, Н.Н. Курзин, Д.А. Казаков. – Краснодар: Б/И, 2002. – 285 с.

Григораш О.В., д.т.н., проф., зав. каф. «Электротехники, теплотехники и возобновляемых источников энергии» ФГОУ ВПО Кубанский государственный аграрный университет, член-корреспондент академии электротехнических наук РФ, заслуженный деятель науки Кубани, тел. 8(861) 221-60-94;

Степура Ю.П., к.т.н., соискатель ученой степени д.т.н., технический директор ЭСК «Энергосетевая компания», тел. 8(861) 221-13-67;

Квитко А.В., ассистент каф. «Электротехники, теплотехники и возобновляемых источников энергии» ФГОУ ВПО Кубанский государственный аграрный университет, тел. 8(861) 221-60-94.