

3. Плотников, В. П. Экономическое обоснование внедрения выемочных комбайнов с гидроприводом исполнительных органов для добычи крупного угля / В.П. Плотников // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006, №3. – С. 49-53.
4. Рябов, Г. А. Применение полигенерирующих систем для эффективного использования твердых топлив / Г.А. Рябов, Д.С. Литун, О.М. Фоломеев, Д.С. Санкин // VIII Всероссийский семинар вузов по теплофизике и энергетике: сб. докл. / Уральский федеральный ун-т, Институт теплофизики СО РАН им С.С. Кутателадзе. - Екатеринбург, 2013. - С. 529-536.
5. Папафанасопуло, Г. А. К вопросу о подземной газификации / Г.А. Папафанасопуло // Новости теплоснабжения. – 2005, №7. – С. 34-38.
6. Загрутдинов, Р. Ш. Технологии газификации в плотном слое / Р. Ш Загрутдинов, А. Н. Нагорнов, А. Ф Рыжков, П. К. Сеначин. – Барнаул: «Алтайский дом печати», 2009. – 296 с.
7. Мановян, А. К. Технология переработки природных энергоносителей / А.К. Мановян. – М: Химия, КолосС, 2004. – 456 с.: ил.

Задачи функциональной надежности электростанций

Гончаров И.О., Шмойлов А.В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Функциональная надежность аналогично структурной оценивается интересующими показателями в каждом из состояний (нормальном, ремонтных состояниях, рабочих отличных от нормального состояния) схемы электрических соединений электростанции. Также представляют практический интерес усредненные по всем состояниям показатели, которые обычно вычисляются по формуле полной вероятности.

Аналогично свойственной практической методике структурной надежности универсальной триады показателей (параметр потока аварийной потери, средняя продолжительность и вероятность аварийного простоя) для любых расчетных объектов (силовых элементов) схем электрических соединений при расчете и анализе функциональной надежности имеют место параметры законов распределения вероятностей (ЗРВ) фактических электрических величин (потоки активной и реактивной мощности, токи, уровни и углы напряжений в узлах) в рабочих и аварийных условиях. В силу многомерной функциональной зависимости электрических величин как параметров рабочих режимов от множества аргументов (фактические активные и реактивные мощности нагрузочных узлов, фактические активные загрузки и напряжения генераторных узлов) вероятности названных электрических величин будут подчиняться нормальному ЗРВ. Поэтому практически необходимо определять параметры нормального ЗРВ математическое ожидание (МО) и среднеквадратическое отклонение (СКО) интересующих электрических величин (потоки активной и реактивной мощности, токи, уровни и углы напряжений в узлах). Это осуществляется с помощью разработанного метода селекции границ интервалов входных и выходных данных (СГИД), модификация которого представлена в [1]. В настоящее время метод СГИД развит не только для нормальных, но и для всех ЗРВ разных функциональных зависимостей как с большим, так и с малым количеством аргументов.

Однако в отличие от структурной надежности, показатели которой определяются только для фактических структурно-коммутационных состояний сети, в случае функциональной надежности возникают новые, многочисленные, углубленные и тонкие возможности оценки качества каждого структурно-коммутационного состояния по значениям каждого интересующего режимного параметра с распределением вероятностей его значений по разным ЗРВ, усреднением и обобщением этих оценок. Однако каждому фактическому режимному параметру или фактической электрической величине соответствуют предельно-допустимые (ПД) или ресурсные величины. Например, фактическим активной и реактивной мощностям электростанции или группы электростанций соответствуют располагаемая или ресурсная активная и реактивной мощности названных электростанций, которые, с одной стороны, виртуальны, с другой стороны, логически могут быть распределены на ветви станционных, примыкающих и всех удаленных сетей, а, с третьей стороны, случайно изменяются при физическом повреждении агрегатов электростанций. Аналогично, фактическим потокам активной и реактивной мощностям в ветвях электрической сети соответствуют длительно-допустимые (ДД) в рабочих условиях и кратковременно-допустимые (КД) электрические величины, воздействующие на оборудование, токоведущие части и коммутационные аппараты в аварийных ситуациях коротких замыканий, асинхронных режимов. Хотя ДД и КД величины задаются в справочных данных как постоянные, но они практически

изменяются с изменением параметров среды: температуры, влажности. Кроме ДД и КД величин в ветвях сети могут рассматриваться потоки ПД располагаемых мощностей электростанций и электропередач. Ресурсные ПД величины вместе с характеризующими их ЗРВ можно распределить по элементам электростанции и примыкающей сети благодаря чему возникает принципиально иная ситуация сравнения полных вероятностных характеристик фактических и ПД величин в интересующих ветвях и узлах сети. Данное сравнение может быть осуществлено двумя путями: 1) с помощью определения риска или вероятности превосходства фактической величины над интересующим заданным значением, например, полной номинальной мощности трансформаторной связи в главной схеме электростанции или тока линейной связи электростанции с энергосистемой и соответственно заданного значения над ПД величиной, являющейся также случайной; 2) путем определения параметров ЗРВ и показателей такой обобщенной случайной величины как небаланс или разность между интересующими случайными потоками ПД и фактической величин. В первом случае риски или вероятности превосходства приведены к одним и тем же условиям функционирования, поэтому суммируются для каждого варианта заданного значения. Благодаря этому возникают разные варианты проектных решений с разным суммарным риском, на основании чего выбирается вариант оптимального решения, например, оптимальные номинальная мощность оборудования или экономический ток линейной связи при минимальном суммарном риске. Во втором случае сначала по методу СГИД определяются параметры ЗРВ новой обобщенной случайной величины небаланса по ЗРВ фактической и ресурсной или ПД составляющими, а затем находятся показатели отрицательного небаланса или дефицита электрической величины, также экономического ущерба для каждого варианта электростанции или распределительного устройства, в том числе оптимального с минимальным ущербом; положительного небаланса или резерва, экономического ущерба из-за замороженных капитальных затрат.

Таким образом, названные пути определения функциональной надежности в отличие от структурной позволяют найти не просто показатели надежности для случайной фактической ситуации, но принимать проектные решения, направленные на изменение и приближение фактической ситуации к оптимальному варианту с точки зрения минимума потерь или максимума эффекта. Другими словами, предлагаемые алгоритмы функциональной надежности самодостаточны и являются полноценными инструментами принятия проектных решений в рамках каждого структурно-коммутиационного состояния.

Данное качество достигнуто благодаря применению разработанного метода СГИД, позволяющего просто формировать ЗРВ неслучайных (а в общем случае и случайных) функций от случайных аргументов, какой бы большой размерности эти функции не были. Практически любые задачи, в том числе и функциональной надежности, всегда могут быть выражены как неслучайные или случайные функции от случайных аргументов (СА), а значит по методу СГИД можно определить ЗРВ результатов интересующей функциональной зависимости. Это осуществляется в последовательности. Сначала определяются ЗРВ случайных аргументов, обычно по статистическим данным. Существующая статистика СА для задач о параметрах режимов и электрических величин при повреждениях в электрических сетях (активные и реактивные мощности нагрузочных узлов, активные мощности и напряжения генераторных узлов) [2] согласно закона больших чисел теории вероятности распределены по нормальному ЗРВ. В ряде случаев названные СА бывают близки к равномерному ЗРВ. Затем с помощью функций распределения вероятностей (ФРВ) определяются квантили всех порядков от нуля до единицы каждого аргумента. Эта процедура позволяет сформировать каждый вариант СА как квантилей одного порядка для расчета значения или результата функциональной зависимости (ФЗ) тоже как квантиля того же порядка, что и квантилей СА. Зависимость порядков квантилей ФЗ от нарастающих квантилей ФЗ одинаковых порядков с квантилями СА и является ФРВ искомого ЗРВ.

Отношение разности порядков соседних квантилей ФЗ или интервала ФРВ функциональной зависимости к разности этих квантилей формирует значения высот прямоугольников гистограммы или усредненные значения плотности распределения вероятностей (ПРВ) на интервалах квантилей – второй модификации ЗРВ функциональной зависимости. Усредненные значения ПРВ на больших интервалах квантилей могут заметно отличаться от истинных значений, поэтому целесообразно для расчетов ПРВ, пристыкованных к интересующей точке ФЗ, рассматривать дополнительный малый интервал квантилей СА, в рамках которого адекватно отразятся как малый интервал квантилей ФЗ, так и уточненные значения ПРВ.

Знание ЗРВ в виде ФРВ или ПРВ результатов функциональной зависимости позволяет полноценно описать фактические случайные потоки и величины, а для решения сформулированных практических задач функциональной надежности в виде рисков или характеристик небалансов необходимо знать также данные полные вероятностные характеристики ЗРВ, но ресурсных или ПД величин.

Конкретно в данной работе планируется использовать фактические и ресурсные активные и реактивные потоки мощностей и токов через распределительные устройства и в целом электростанции, распределение квантилей данных потоков по ветвям трансформаторных и линейных связей электростанции с энергосистемой небалансы указанных величин в названных узлах и ветвях; При этом вероятности располагаемых мощностей приняты распределенными по закону двухпараметрической экспоненты, а небалансы – приближенно по нормальному ЗРВ. Вполне есть возможность с помощью метода СГИД найти точно ЗРВ небаланса как разности (ФЗ) двух СА фактического и ресурсного потоков, распределенных соответственно по нормальному и двухпараметрически-экспоненциальному ЗРВ. Двухпараметрические ЗРВ свойственны ресурсным потокам: в виде экспоненты в случае располагаемых мощностей электростанций, в виде нормального или другого более точного ЗРВ в случае предельно-допустимых (ПД) мощностей электростанций, входящих в состав электропередач. Деление ресурсных потоков на располагаемые и ПД мощности соотносится примерно так же как фактические и ресурсные составляющие небалансов, т.е. по большому счету вероятности ресурсных составляющих распределены по ЗРВ двух параметрической экспоненты при учете только повреждаемости агрегатов электростанции. Однако ПД мощности агрегатов зависят также от ПД значений токов ротора и статора и генерации реактивной мощности сети. С учетом названных факторов ПД или располагаемая мощность будет иметь более сложный ЗРВ, который может быть определен по методу СГИД. Однако функциональные зависимости ПД активной и реактивной мощности как отдельных агрегатов, так и всей станции пока достаточно надежно не определены.

Для более простых ФЗ ресурсных полной мощности трансформаторной и полного тока линейной связей соответственно в виде выражений: $S_T = \sqrt{N_T^2 + Q_T^2}$ и $I_L = \sqrt{N_L^2 + Q_L^2} / (\sqrt{3}U_L)$, структура которых не отличаются от выражений для фактических величин, получение ЗРВ по методу СГИД не составит трудностей.

Также производились расчеты суммарных рисков двух превосходств: 1) фактической полной мощности трансформаторной связи станционной сети и полного тока линейной связи электростанции соответственно над принятыми номинальной мощностью трансформаторов связи и суммарным экономическим током цепей линии связи, 2) принятых последних двух величин над полной располагаемой мощностью трансформаторной связи и полным располагаемым током линейной связи. Вероятности полных располагаемых мощностей и токов приняты распределенными по нормальному ЗРВ. Названные задачи выполнены в полном объеме, в том числе с оптимизацией проектных решений. Для определения ЗРВ располагаемых полной мощности трансформаторных связей и полного располагаемого тока линейной связи необходимо предварительное пространственное распределение ЗРВ располагаемых мощностей и тока в целом электростанции по ветвям станционной сети и примыкающих к распредустройствам станции сетей. Делается это, исходя из: 1) жесткой привязки квантилей одного порядка (p_1) потоков располагаемой и фактической мощностей, также тока электростанции; 2) естественной логики того же вида ЗРВ потоков в каждой ветви, что и в целом электростанции; 3) одних и тех же соотношений квантилей разных порядков для каждой ветви и в целом электростанции, в частности, максимальных располагаемых величин и квантиля порядка p_1 этих же величин.

Вычислены вероятностные показатели асинхронного режима интересующего генератора в заданном нормальном коммутационном состоянии электростанции. С этой целью построены при некоторых практически естественных ограничениях векторные диаграммы ПД электрических величин двух специализированных режимов с исходными данными как квантилями больших и близких друг к другу порядков. На основании полученных данных вычислены квантили ПД активной и реактивной мощностей и полного тока электростанции как квантилей двух порядков, с помощью которых находятся параметры нормальных ЗРВ названных электрических величин.

Процедуры функциональной надежности позволяют решать задачи выбора и проверки оборудования, токоведущих частей и коммутационных аппаратов с учетом разбросов фактических рабочих и аварийных токов при коротких замыканиях, а также случайных отклонений испытательных ДД и КД токов, заданных в каталогах и справочной литературе.

Выводы:

1. Определение совместно показателей структурной и функциональной надежности для интересующих объектов схем электрических соединений является естественным и продуктивным. Объединяющей и обобщающей при этом является структурная надежность, а функциональная увеличивает глубину знания о метрологическом наполнении интересующих объектов схемы. Усреднение показателей функциональной надежности, равно как и структурной осуществляется через показатели состояний схемы структурной надежности. Совместные показатели структурной и функциональной надежности дают полную и качественную оценку работы оборудования и схем электрических соединений.

2. Для расчетов показателей функциональной надежности необходимо знание законов распределения вероятностей (ЗРВ) математических моделей интересующих режимных задач как ФЗ от случайных аргументов (СА), что позволяет реализовать разработанный метод селекции границ интервалов входных и выходных данных (СГИД). Разработка математических моделей как ФЗ от СА является актуальной задачей функциональной надежности.

Список литературы:

1. Шмойлов А.В., Кривова Л.В., Стоянов Е.И., Игнатьев К.В. Вероятностный метод селекции границ интервалов данных для задач электроэнергетики. – Изв. ВУЗов «Проблемы энергетики», 2008, № 7 – 8/1. – с. 146 – 157.
2. Тимченко В.Ф.. Колебания нагрузки и обменной мощности энергосистем. – М.: Энергия, 1975. – 208 с.

Исследование проблемы всережимной верификации средств моделирования электроэнергетических систем

Суворов А.А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Любая современная электроэнергетическая система (ЭЭС), образует большую, нелинейную, динамическую систему. Проектирование, исследование и эксплуатация таких систем является трудной задачей из-за сложности получения достоверной, в том числе своевременной, информации о процессах в оборудовании и ЭЭС в целом в нормальных, аварийных и послеварийных режимах их работы. Получение этой информации путем натурных испытаний, за редким исключением, недопустимо, а из-за сложности ЭЭС невозможно полноценное физическое моделирование [1,2]. В результате основным направлением для получения необходимых сведений о процессах, протекающих в оборудовании и в ЭЭС в целом, является моделирование, преимущественно математическое, полнота, достоверность и оперативность которого зависит от двух факторов:

- Полноты и достоверности математических моделей всего значимого оборудования в ЭЭС;
- Способности средств решения осуществлять реализацию этих моделей с гарантированной точностью, на необходимом интервале и с необходимой оперативностью, в том числе в реальном времени.

Что касается первого фактора, то достигнутый уровень физико-математического представления нормальных и аномальных процессов позволяет в полной мере описать весь единый спектр квазиустановившихся и переходных процессов в оборудовании и в ЭЭС в целом. Однако, полученная математическая модель, даже с учетом допустимого частичного эквивалентирования, содержит жесткую, нелинейную систему дифференциальных уравнений высокого порядка. Для решения подобных систем дифференциальных уравнений используются численные методы интегрирования, применяемые во всех программах и программно-технических комплексах моделирования ЭЭС (Мустанг, Дакар, Евростаг, RTDS и др.). Применимость таких методов определяется ограничительными условиями, определяемыми теорией методов дискретизации дифференциальных уравнений, согласно которым подобные системы уравнений оказываются плохо обусловленными на условиях применимости численных методов интегрирования. Поэтому их удовлетворительное решение маловероятно, а для улучшения обусловленности необходимо снижать жесткость, дифференциальный порядок, нелинейность и уменьшать интервал решения, осуществимые только за счет декомпозиции режимов и процессов ЭЭС, упрощения математических моделей оборудования и ЭЭС в целом, а также сокращения интервала воспроизведения процессов. Кроме того, помимо указанных упрощений, численные методы всегда имеют методическую ошибку, которая остается неизвестной в процессе всего решения, а ее определение до сих пор является одной из фундаментальных проблем присущих