

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМОВ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Бай Ю.Д..

Научный руководитель: Шмойлов А.В., к.т.н. доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Shm_av@rambler.ru

Знание полных вероятностных характеристик или законов распределения вероятностей (ЗРВ) эксплуатационных и ресурсных параметров и процессов позволяет просто и надежно определять риски (вероятности) перегрузки, аварийной потери и разрушений за счет превосходства фактическими величинами регламентных эксплуатационных пределов, либо вследствие снижения ресурсных параметров относительно регламента. Данные риски находятся как вероятности принятия параметрами как случайными величинами значений из интервалов превосходства или снижения. Делается это с помощью таких математических выражений ЗРВ как функции распределения вероятностей (ФРВ) и плотности распределения вероятностей (ПРВ) интересующих параметров процессов и режимов.

Интересующие параметры электроэнергетики: параметры стационарных режимов, электрические величины при повреждениях, показатели функциональной надежности, небалансов и дефицитов активной мощности распределительных устройств, электростанций, подстанций, районов и в целом энергосистем, показатели и характеристики трансформаторных и линейных связей, уставки релейной защиты и автоматики и др. являются функциональными зависимостями (ФЗ) нескольких или многих аргументов или исходных данных. В частности, параметры режимов: потоки активной и реактивной мощности в ветвях, величины и углы напряжений в узлах электрической сети являются ФЗ активной и реактивной мощности многочисленных нагрузочных узлов, активной мощности и напряжений генераторных узлов.

Получение ФРВ и ПРВ интересующего параметра принципиально возможно статистическим путем. Однако ФЗ последнего в случае параметров режимов определяется массовым количеством аргументов, которые также случайным образом принимают свои значения и обуславливают необозримое количество значений ФЗ интересующего параметра. Практически экспериментальная реализация статистической представительности этих значений невозможна. В связи с этим следует рассмотреть расчетный путь получения ФРВ и ПРВ функциональной зависимости интересующего параметра. Для этого необходимо знать ФРВ и ПРВ каждого аргумента. В отличие от параметров режимов как интересующего параметра это вполне реально, т.к. параметры узлов обладают существенно меньшим

количеством значений по сравнению с параметрами режимов. К тому же известны виды ЗРВ узловой информации – это, как правило нормальный и равномерный ЗРВ, параметры которых просто определяются по наблюдаемым минимальным и максимальным значениям. Следовательно, практически не нужна статистика для определения ЗРВ аргументов. При известных ЗРВ аргументов и известной ФЗ параметров режимов естественным является предложение разработать метод формирования ЗРВ функциональных зависимостей параметров режимов по ЗРВ аргументов. ФЗ. Такой метод был разработан и назван селекцией границ интервалов входных и выходных данных (СГИД). Одна из его модификаций представлена в [1].

Суть метода СГИД основывается на интуитивном, но логичном предположении, что если все аргументы ФЗ задать как равновероятные, то результат преобразования ФЗ будет иметь ту же вероятность. Реализация данной процедуры может быть осуществлена через ФРВ и ПРВ каждого аргумента и результата преобразования ФЗ. ФРВ при этом как неубывающая функция случайного объекта гарантирует однозначность всех задаваемых и получаемого данных (значений), а ПРВ при этих данных (значениях) обеспечивает сопоставление каждого из указанных данных (аргументов и ФЗ) в виде равенства вероятностей принятия значений из интервалов, пристыкованных соответственно одной из своих границ к аргументам неубывающих одномерных ФРВ. Вторыми границами соответственно являются также аргументы указанных ФРВ, определяемых, исходя из равенства вероятностей принятия значений каждым данным (исходным данным-аргументом и выходным данным-ФЗ), вычисляемым по ПРВ каждого из этих данных. Границы интервалов аргументов и получаемого результата преобразования ФЗ жестко зафиксированы квантилями порядков, определяемых одинаковыми значениями своих ФРВ и одинаковыми вероятностями принятия значений из этих интервалов. При этом порядок квантилей или ФРВ аргументов и на другой (правой) границе интервалов находятся путем прибавления к одинаковым значениям ФРВ на предыдущей (первой) границе интервалов одинаковых вероятностей принятия значения из этих интервалов, а результата преобразования ФЗ – путем прибавления или вычитания такой же

вероятности в зависимости от возрастания или убывания ФЗ при возрастании ее аргументов.

Далее для представленного принципиального обоснования метода СГИД дана последовательность вычислений для получения значений ПРВ и ФРВ функциональной зависимости параметров режимов.

Предварительно формируются параметры ЗРВ исходных данных или аргументов, например, активной загрузки нагрузочных узлов сети в виде нормального ЗРВ: математическое ожидание (МО)

$$m(N_i) = \frac{n_{ia} + n_{iu}}{2} = \frac{n_{ip_1} + n_{ip_2}}{2},$$

и среднеквадратическое отклонение (СКО)

$$\sigma(N_i) = \frac{n_{ia} - n_{iu}}{2} = \frac{n_{ip_1} - n_{ip_2}}{2},$$

где индексами «а» и «и» обозначены соответственно максимальное и минимальное наблюдаемые значения исходных данных-аргументов, которые также обозначены как квантили порядков $p_1 = 0,99865$ и $p_2 = 0,00135$.

Далее путем статистического моделирования формируются варианты исходных данных как квантили порядков $p = 0; 0,05; 0,10; 0,15; \dots 0,95$ с шагом, например $h = 0,05$. В результате получают квантили при нормальном ЗРВ, например, для активной мощности нагрузочного i -го узла:

$$n_{ip} = m(N_i) + \sigma(N_i)\Phi^{-1}(p - 0,5)$$

$$n_{i0} = 0, n_{i0,05} = m(N_i) + \sigma(N_i)\Phi^{-1}(0,05 - 0,5),$$

$$n_{i0,10} = m(N_i) + \sigma(N_i)\Phi^{-1}(0,10 - 0,5), \dots$$

Аналогично для реактивной мощности нагрузочного i -го узла $q_{ip} = m(Q_i) + \sigma(Q_i)\Phi^{-1}(p - 0,5)$,

для активной мощности генераторного k -го узла

$$n_{гкp} = m(N_{гк}) + \sigma(N_{гк})\Phi^{-1}(p - 0,5),$$

для величины напряжения генераторного k -го узла $u_{гкp} = m(U_{гк}) + \sigma(U_{гк})\Phi^{-1}(p - 0,5)$.

Варианты исходных данных, определяемые конкретными значениями порядка p подставляют в выражение или программу вычисления ФЗ. В случае программы ФЗ для расчета параметров режимов в составе исходных данных должны быть также заданы величина и угол напряжения балансирующего узла. Обычно в расчетах угол этого напряжения принимают нулевым, а величину – в виде постоянной, например, номинальной

В результате получают квантили ФЗ параметров режимов как квантилей таких же порядков как и исходных данных, например, потока активной мощности в k -й ветви между

узлами s и t , т.е.

$$n_{stkp} = \varphi_{stkp}(n_{ip}, q_{ip}, \dots, n_{гкp}, u_{гкp}, u_6, \psi_6)$$

$$n_{stk0} = 0, n_{stk0,05}, n_{stk0,10}, n_{stk0,15}, \dots$$

По полученным данным осуществляется построение ФРВ $f_{stkp}(n_{stkp})$ и ПРВ $c_{stkp}(n_{stkp})$ интересующего параметра режимов, например, потока активной мощности в ветви $stк$:

$$f_{stkp}(n_{stkp}) = p,$$

$$f_{stк0}(n_{stк0}) = 0, f_{stк0,05}(n_{stк0,05}) = 0,05;$$

$$f_{stк0,10}(n_{stк0,10}) = 0,10; f_{stк0,15}(n_{stк0,15}) = 0,15; \dots$$

$$c_{stkp}(n_{stkp}) = \frac{f_{stк(p+h)}(n_{stк(p+h)}) - f_{stкp}(n_{stкp})}{n_{stк(p+h)} - n_{stкp}},$$

$$c_{stк0}(n_{stк0}) = \frac{f_{stкh}(n_{stкh}) - f_{stк0}(n_{stк0})}{n_{stкh} - n_{stк0}},$$

$$c_{stк0,05}(n_{stк0,05}) = \frac{f_{stк(0,05+h)}(n_{stк(0,05+h)}) - f_{stк0,05}(n_{stк0,05})}{n_{stк(0,05+h)} - n_{stк0,05}},$$

$$c_{stк0,10}(n_{stк0,10}) = \frac{f_{stк(0,10+h)}(n_{stк(0,10+h)}) - f_{stк0,10}(n_{stк0,10})}{n_{stк(0,10+h)} - n_{stк0,10}},$$

$$c_{stк0,15}(n_{stк0,15}) = \frac{f_{stк(0,15+h)}(n_{stк(0,15+h)}) - f_{stк0,15}(n_{stк0,15})}{n_{stк(0,15+h)} - n_{stк0,15}}.$$

В [1] представлены модификации метода СГИД при известных видах ЗРВ функциональных зависимостей, при которых нет необходимости определять все значения ЗРВ и ПРВ. Достаточно найти параметры этих ЗРВ, количество которых незначительно – один, два. Поэтому объем вычислений незначителен. В общем случае, изложенном в представленном материале, количество расчетов значительно больше. Поэтому целесообразно оснащение существующих промышленных программ для вычисления различных функциональных зависимостей модулями по расчету ЗРВ этих зависимостей. В изложенном варианте метода СГИД получаемые отсчеты ЗРВ формируются как дискретные значения, для которых необходимо сглаживание кривых.

Внедрение метода СГИД позволит решить ряд практических задач, известных в литературе как задача Парето, в том числе режимных задач электроэнергетики.

Литература:

1. Шмойлов А.В., Кривова Л.В., Стоянов Е.И., Игнатъев К.В. Вероятностный метод селекции границ интервалов данных для задач электроэнергетики. – Изв. ВУЗов «Проблемы энергетики», 2008, № 7 – 8/1. – с. 146 – 157.