

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРЕДЛАГАЕМОГО МЕТОДА СЕЛЕКЦИИ ГРАНИЦ ИНТЕРВАЛОВ ВХОДНЫХ И ВЫХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ЗАДАЧ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Ю.Д. Бай, А.В. Шмойлов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, Томск

Получение ФРВ и ПРВ многомерных ФЗ, также вероятностей принятия значений функциональной зависимостью из многомерной области в каноническом аналитическом варианте представляет собой функционал (многомерный интеграл) от многомерной ПРВ в пределах, определяемых сутью задачи. При этом многомерная ПРВ реализуется как произведение одномерных ПРВ непрерывных случайных аргументов (СА), а пределы функционала раскрываются путем анализа границ области всех СА, определяемой содержанием задачи, начиная с наиболее простых и конкретных пределов (возможно, числовых значений) внешнего одномерного интеграла по одному выбранному СА и продолжая углубляться во внутренние интегралы находить аналитические выражения все более сложных и многомерных зависимостей (поверхностей) пределов от СА вплоть до последнего внутреннего интеграла. При дискретных СА аналогичный порядок процедур должен проводиться с дискретными пределами операторов суммирования произведений вероятностей дискретных значений СА, по обобщенному содержанию отображающих аналог многомерной ПРВ.

В реализации приведенных алгоритмов принципиально нет ни логических, ни теоретических трудностей. Есть практическая проблема массовых особенностей ФЗ, формирующих границы области функционала (пределы многомерно-массовых интегралов, сумм), которые обуславливают необозримо-огромные аналитические трудности контроля выражений пределов, правильной последовательности алгоритма вычисления функционала интересующей задачи. В электроэнергетике это прежде всего многомерные задачи определения вероятностных характеристик параметров установившихся режимов, электрических величин при повреждениях, показателей функциональной надежности, технической, ресурсной и экономической эффективности и др. Возникает также огромное количество задач, определяемых функциональными зависимостями с большим, средним или даже и малым числом случайных аргументов (в пределах десятка) и во всех случаях требуется решение одного и того же обобщенного алгоритма определения полных вероятностных характеристик или законов распределения вероятностей (ЗРВ) в виде функций (ФРВ) или плотностей распределения вероятностей (ПРВ) функциональной зависимости (ФЗ) по заданным ЗРВ случайных аргументов (СА). Однако аналитические трудности формирования пределов и

аналитического вычисления функционалов возникают, начиная с 3-й – 4-й размерности ФЗ.

В связи с этим возникает актуальность поиска других вариантов решения задачи определения ЗРВ функциональной зависимости по ЗРВ случайных аргументов. Обобщенно эти методы можно представить как один, состоящий в получении «машинной» статистики ФЗ, каждое из значений которой формируется путем статистического моделирования (СМ) вариантов случайных аргументов с заданными ЗРВ и последующей подстановкой каждого варианта смоделированных значений СА в ФЗ (статистические испытания), в результате чего получается значения (статистика) ФЗ, что можно использовать для составления как полных вероятностных (ЗРВ в виде ФРВ и ПРВ), так и неполных числовых моментных характеристик интересующей ФЗ в статистическом формате. Этот обобщенный метод в дальнейшем целесообразно сокращенно называть методом СМСИ, который также практически используется для получения значений функционалов, в которых пределы сумм или интегралов аналитически не раскрываются, а используются в целом (в виде программ) для контроля области функционала. Другой моментный метод основан на степенном разложении ФЗ относительно математических ожиданий (МО) случайных аргументов ФЗ и последующему применению к степенному разложению ФЗ операторов МО и дисперсии, других моментов более высокого порядка, что обеспечивает приближенное определение моментов разных порядков ФЗ. Этот метод в соответствии с описанным содержанием можно кратко называть методом СРМО – степенного разложения относительно МО.

Практическое применение этих методов ограничено размерностью ФЗ, которая в степенной зависимости увеличивает минимальное количество испытательных значений статистических оценок ФЗ, необходимых для сохранения их статистической представительности. Поэтому актуальным становится поиск других расчетных методов, в меньшей степени зависящих от размерности ФЗ. Был предложен метод селекции границ входных и выходных данных СГИД [1], который не критичен к размерности ФЗ. Основой этого метода является весьма логичное утверждение, что если выбрать значения всех случайных аргументов ФЗ равновероятными, то и значение ФЗ будет иметь ту же вероятность, что и СА. Приведенный в [1] алгоритм реализации метода СГИД на основе ФРВ и ПРВ случайных аргументов и функциональной зависимости от них обеспечивает однозначность вероятностей значений СА и ФЗ (за счет привязки значений случайных аргументов и функциональной зависимости к собственным неубывающим ФРВ) и равенство вероятностей принятия значений из интервалов, пристыкованных к левым границам ФРВ случайных аргументов и ФЗ, которое имеет место за счет усредненных значений собственных ПРВ в этих интервалах.

Однако в целом правильная необходимая логика метода селекции границ входных и выходных данных относительно одинаковых вероятностей значений СА и ФЗ и попытки обеспечить это равенство с помощью совместного применения собственных ФРВ и ПРВ каждого СА и ФЗ [2] как достаточное не

устраняет потери ряда фундаментальных свойств алгоритма канонического аналитического преобразования многомерных функционалов по определению ЗРВ многомерных ФЗ, в том числе моделирующих интересующие задачи электроэнергетики. Об этом свидетельствуют проверка метода СГИД [2] путем сравнения кривых истинной ФРВ, т.е. найденной по функционалу, и полученной по предлагаемому методу СГИД ФРВ. Можно заметить, что для аддитивных (параметры режимов и электрические величины при повреждениях) и мультипликативных ФЗ несовпадения кривых истинных и по методу СГИД ФРВ существенно различаются, причем в случае аддитивных ФЗ по мере нарастания количества слагаемых расхождение увеличивается в диапазоне первой половины значений ФЗ (рис. 1).

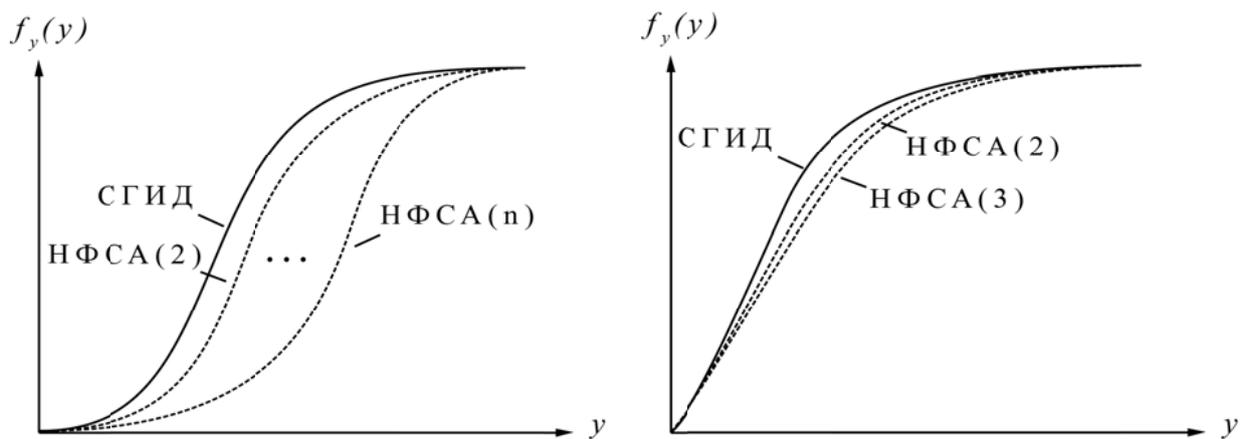


Рис. 1. Аддитивные и мультипликативные ФЗ

Отличия проявляются в том, что предписываемые методом СГИД интервалы и промежутки ФЗ могут оказаться как больше, так и меньше интервалов и промежутков ФЗ, определенных через истинные ЗРВ. Данное впечатление обусловлено тем, что границы и величина интервала ФЗ по методу СГИД найдены только, исходя из равновероятных значений СА и никак не связаны с преобразованиями функционалов, требуемые области (пределы) которых исходят из ФЗ. Тогда как интервал, соответствующий истинной ФРВ функциональной зависимости по функционалу, содержит не только равновероятные и однозначные значения ФЗ, но и всякие другие варианты значений ФЗ, удовлетворяющие задаче функционала ФРВ или ПРВ. Поэтому вероятности, соответствующие этому дефекту СГИД, будут в реальности учтены в других промежутках, интервалах и диапазонах ФЗ и наоборот вероятности последних могут входить в промежуток, интервал и диапазон равновероятных СА. Все это приведет к искажению ФРВ и ПРВ функциональной зависимости по методу СГИД относительно истинных ФРВ или ПРВ. Другими словами, отличия ФРВ или ПРВ функциональной зависимости найденных по методу СГИД от истинных более обобщенно можно объяснить, с одной стороны, независимым от ЗРВ определением границ промежутков, интервалов и диапазонов ФЗ, а, с другой стороны, неконтролируемой зависимостью этих границ от вида и параметров искомого

ЗРВ функциональной зависимости. Возможно, есть также иные механизмы интересующих функционалов, игнорируемые предлагаемым методом СГИД.

Анализ и расчеты ФРВ маломерных аддитивных и мультипликативных ФЗ [1] от СА показывает вполне определенную тенденцию отличий ФРВ по методу СГИД от истинных. Многомерные ФЗ основных энергетических задач являются либо слабо нелинейными (параметры рабочих режимов) или практически линейными (электрические величины при повреждениях) аддитивными ФЗ. Эти особенности проявляются в отличительной тенденции ФРВ аддитивных ФЗ по методу СГИД [1], что можно использовать для коррекции ФРВ параметров режимов и электрических величин при повреждениях. В какой количественной мере осуществлять данную коррекцию нужно выяснить на основании расчетных исследований получения ФРВ по методу СГИД и методу СМСИ на маломерных ФЗ, для которых возможно аналитическое или по методу СМСИ определение интересующих функционалов.

Дальнейший анализ показал, что метод СГИД формирует ЗРВ функциональной зависимости, в полном объеме игнорируя закон больших чисел, т.к. ЗРВ случайных аргументов ФЗ при этом никак не деформируются посредством ФЗ, как это имеет место при вычислении функционалов по их конкретным пределам, сформированных из ФЗ. Поэтому по мере увеличения размерности ФЗ возрастает расхождение между ЗРВ, сформированных по методу СГИД и с помощью функционалов. Причем количественно и качественно разные: в случае аддитивных ФЗ расхождения одни, а в случае мультипликативных ФЗ иные (рис. 1). При реальных композициях аддитивных и мультипликативных составляющих ФЗ расхождения в ЗРВ могут быть непредсказуемые. Поэтому рекомендовать практическое использование метода СГИД является неправильным и непродуктивным. Логика функционалов по определению ФРВ и ПРВ предопределяет суммирование вероятностей совмещений разных вариантов значений всех случайных аргументов ФЗ, выбираемых из всего их пространства путем заданного критерия. Так, свойства ПРВ и ФРВ функциональной зависимости и сама ФЗ предопределяют одни пределы интегралов или сумм функционалов, а другие характеристики ФЗ формируют иные пределы функционалов.

В случае независимых случайных аргументов (СА) вероятности совмещения СА образуются как произведение вероятностей значений СА в виде одномерных ПРВ или соответственно ФРВ, которые практически всегда известны, чаще всего, как нормальные или равномерные ЗРВ. В любых практических задачах в качестве СА функциональных зависимостей принимаются независимые переменные или случайные величины, что обуславливает вероятности совмещения значений СА как произведений безусловных вероятностей, которые выражаются в виде произведения одномерных ПРВ или ФРВ случайных аргументов. Благодаря этому вероятности совместных значений ПРВ и ФРВ системы СА являются ничем иным как значениями совместных ПРВ и ФРВ и, следовательно,

суммируемыми (интегрируемыми) значениями функционалов для формирования одномерной ПРВ или ФРВ функциональной зависимости. К сожалению, метод СГИД игнорирует данную систему совместных и одномерных ПРВ и ФРВ и вероятностное взаимодействие между ними, а оставляет только одно необходимое свойство равенства результирующих вероятностей СА и ФЗ через одномерные ПРВ и ФРВ. Однако желаемый опыт предложенного метода СГИД не исчезает полностью и он может быть применен в новом уточненном методе, который может быть назван как СГИД1.

Метод определения ФРВ и ПРВ функциональной зависимости, а также вероятности принятия значением ФЗ из интервала по ФРВ и ПРВ случайных аргументов состоит в естественном суммировании вероятностей каждого варианта совмещений значений СА по разным критериям: для ФРВ используется естественный критерий непревышения значениями ФЗ некоторого заданного значения, для ПРВ рациональным является критерий равенства ФЗ этому заданному значению. Заданное значение ФЗ для каждой системы вариантов СА можно задать произвольно, однако заданных значений ФЗ на ее диапазоне много. Но поскольку ФРВ и ПРВ функциональной зависимости формируется через совмещения СА, то количество заданных значений возрастает необозримо и выбрать вариант в таком многообразии становится проблематичным. Желательным является вырожденное преобразование данного многообразия, которое сократит количество вариантов. Таким однозначным преобразованием естественно является ФРВ случайной величины. ФРВ как в одномерных, так и в многомерных случаях обеспечивает в вероятностной мере одинаковый диапазон всех значений каждой случайной величины. Причем, благодаря свойству неубывания ФРВ, обеспечивается ее жесткая однозначность (порядков квантилей значений ФРВ) и любых значений случайной величины (квантилей интересующих порядков). Данная однозначность наглядна и проста в одномерных случаях. В многомерных композициях СА функциональная зависимость как преобразование обеспечивает вырождение многомерности СА до одномерных значений ФЗ и, следовательно, однозначности и простоте одномерной ФРВ. Но каждое значение ФЗ формируется из множества вариантов совмещений значений всех СА в каждое значение ФЗ. Множество вариантов значений СА, соответствующее значению ФЗ, можно назвать ассоциацией данного значения ФЗ. Ассоциация-значение ФЗ как событие состоит из полной суммы вариантов совмещений событий-значений всех СА, Варианты этих совмещений событий-значений несовместны, т.к. образованы из всех СА и не могут совместиться иначе как разными значениями хотя бы одного СА. Значения же каждого СА относительно друг друга несовместны, поэтому несовместными будут и все варианты совмещений всех СА. Следовательно, вероятность ассоциации-значения ФЗ равна сумме вероятностей всех событий-совмещений СА, ассоциированных с данным значением ФЗ и эту вероятность целесообразно назвать собственной вероятностью значения ФЗ.

Количество событий-совмещений СА каждой ассоциации разное и зависит от числа СА и значения ФЗ в ее диапазоне. В таком случае требуется выбрать и однозначно обозначить вариант совмещений СА каждой ассоциации и тем самым однозначно определить основу ассоциации или события-совмещения СА, относительно которого она может формироваться. Такой вариант совмещения всех СА для каждой ассоциации найден – это совмещение квантилей одного порядка всех СА каждой ассоциации или каждого значения функциональной зависимости. Путем изменения порядка квантилей от нуля до единицы охватывается весь диапазон каждого СА и, следовательно, диапазон совмещений всех СА, а значит и диапазон ФЗ. Однако при каждом одном порядке квантилей всех СА может быть учтена вероятность только одного совмещения значений СА, которая входит в состав вероятностной характеристики ассоциации ФЗ. Весь же состав каждого значения ФЗ представляет собой сумму вероятностей всей системы СА и критерия выбора их совмещений, при которых обеспечивается одно и то же соотношение (значение) этого критерия. Критерии выбора совмещений компонентов ассоциаций разных вероятностных характеристик ФЗ разные: значения ФРВ каждой ассоциации определяются значениями ФЗ, не превышающими ФЗ от совмещения всех СА одного порядка, а значения ПРВ аналогичной ассоциации – одним и тем же значением ФЗ от совмещения всех СА этого же порядка. Сами же совмещения всех СА как для ФРВ, так и для ПРВ могут быть квантилями любых разных порядков, лишь бы ФЗ от значений СА были равны ФЗ от квантилей СА одного порядка. Данные критерии установлены на основании свойств одномерных ФРВ и ПРВ функциональной зависимости, СА и совместных вероятностных характеристик распределения СА и однозначно жестко упорядочивают шкалу ФЗ как для ФРВ, так и ПРВ.

Таким образом, сумма вероятностей совмещений значений СА ассоциации является вероятностью значения ФЗ как одномерной случайной величины. Компоненты собственной суммы формируются как произведение вероятностей значений всех СА функциональной зависимости. В произведении вероятностей значений независимых СА указываются обычные («безусловные») вероятности, а в случае зависимых – условные, которые имеют другие значения в зависимости от условий, в которых рассматриваются. В ФЗ, описывающих практические задачи, все СА целесообразно рассматривать как независимые переменные и, следовательно, произвольно изменять их значения, не заботясь о видах условных вероятностных характеристиках, которые изменяются с изменением значений СА, что является естественным преимуществом. В случае зависимых СА значение одного СА должны определяться по выражениям через произведения условных вероятностей, что является дополнительными нерациональными процедурами, без которых всегда можно обойтись путем качественного логического отбора независимых СА или количественной ортогонализации исходных зависимых СА. Следовательно, можно считать, что СА всех ФЗ, описывающих прикладные задачи, являются независимыми.

Дальнейшая работа будет заключаться в нахождении и реализации вышеизложенного алгоритма выбора собственных вероятностей значений ФЗ в виде ФРВ (суммируемых произведений ФРВ случайных аргументов так, чтобы ФЗ от всех СА не превышала ФЗ от всех СА как квантилей заданного одного порядка) и в виде ПРВ (суммируемых произведений ПРВ случайных аргументов так, чтобы ФЗ от всех СА была равна ФЗ от всех СА как квантилей заданного одного порядка).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бай Ю.Д., Шмойлов А.В. Полные вероятностные характеристики многомерных функциональных зависимостей задач электроэнергетики // Электротехника. Энергетика. Машиностроение: Сборник научных трудов I международной научной конференции молодых ученых. – Новосибирск, 2014. Т.2. – С. 66–69.
2. 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.

ИМПУЛЬСНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СОБСТВЕННЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

А.Ф. Князьков, Е.О. Маурин, Д.А. Петухов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, Томск

При прохождении тока по элементам сварочной цепи, в том числе и по основному металлу возникает круговое магнитное поле тока, так называемое собственное магнитное поле (магнитное дутье). Обычно собственное магнитное поле дуги отрицательно влияет на формирование сварного шва и поэтому изменение его действия для создания положительного эффекта является перспективным.

Круговые линии магнитного поля в системе источник питания – электрод – дуга – изделие – токоподвод строго перпендикулярны движению тока в этой системе. В этом случае, если токоподвод подключен к свариваемому изделию вдали от дуги то, при протекании тока в системе источник питания – электрод – дуга – сварочная ванна при нарушении симметрии магнитного поля относительно электрода вследствие смещения электрода относительно точки подвода тока к изделию возникает отклонение дуги. И наоборот, если токоподвод подключен к свариваемому изделию вблизи горения дуги, то дуга не отклоняется [1]. Сущность этого процесса представлена на рис. 1.