

Влияние формы грозового импульса на электрические воздействия на изоляцию обмоток силовых трансформаторов и шунтирующих реакторов

В.С. Ларин
ФГУП ВЭИ
Д.А. Матвеев
НИУ МЭИ
Россия
vlarin@vei.ru

Одним из ключевых вопросов при проектировании силовых трансформаторов и шунтирующих реакторов сверх- и ультравысокого напряжения является расчет электрических воздействий и оценка электрической прочности внутренней изоляции. Известно, что с ростом номинальных напряжений растут и габариты трансформаторного оборудования. С целью создания транспортабельного оборудования приходится идти на значительные усложнения изоляционных конструкций, что влечет за собой усложнение проектирования и оценки электрической прочности внутренней изоляции трансформаторного оборудования.

Внутреннюю изоляцию трансформаторов и реакторов можно условно классифицировать следующим образом: главная изоляция обмоток; изоляция снаружи обмоток до бака; продольная изоляция обмоток; изоляция отводов; изоляция установки ввода. К настоящему времени для каждого из перечисленных видов изоляции разработаны методики оценки электрической прочности, при использовании которых расчет внутренней изоляции заключается в сопоставлении расчетных воздействий с допустимыми значениями.

В процессе проектирования уровень расчетных воздействий определяют с помощью специализированного программного обеспечения, а допустимые значения – по методикам, основанным на экспериментальном исследовании электрической прочности изоляции. В докладе охарактеризовано современное состояние проблемы расчета внутренней изоляции силовых трансформаторов и реакторов сверх- и ультравысокого напряжения.

При проектировании внутренней изоляции большую роль играет определение электрических воздействий на внутреннюю изоляцию, включая расчет распределения напряжений по обмоткам и расчет напряженностей электрического поля при воздействии испытательных напряжений и рабочего напряжения.

При воздействии напряжения полного и срезанного грозовых импульсов в обмотках развиваются колебания напряжения, и для расчета распределения напряжений в обмотках необходимо применение специализированных программ расчета переходных процессов в обмотках трансформаторов. Как правило, в расчетах импульсных перенапряжений принимается ряд допущений, в том числе в части формы воздействующего импульса. Например, в расчете принимается стандартный грозовой импульс с параметрами 1,2/50 мкс. Вместе с тем, при испытаниях с учетом влияниями объекта испытания – трансформатора или шунтирующего реактора – параметры

импульса будут отличными от стандартных. В докладе представлены результаты расчетов, показывающие влияние параметров полного грозового импульса на электрические воздействия на внутреннюю изоляцию.

Аналогичная ситуация имеет место со срезанным грозовым импульсом. МЭК 60076-3 допускает предразрядное время от 3 до 6 мкс, а размеры петли среза не нормированы. Вместе с тем размеры петли определяют форму напряжения на трансформаторе (реакторе), максимальное значение первого полупериода колебаний и частоту колебаний после среза, которые оказывают существенное влияние на воздействующие напряжения во внутренней изоляции трансформатора (реактора). В стандартах ГОСТ размеры петли нормированы посредством установления допустимых диапазонов значений расстояний от объекта испытаний до срезающего разрядника в зависимости от номинального напряжения объекта испытаний. Нормирование петли среза обеспечивает большую определенность для испытателей, позволяет унифицировать процесс испытаний и создает предпосылки для воспроизводимости результатов испытаний. Вместе с тем, такое нормирование далеко не совершенно, так как не принимает во внимание собственные частоты колебаний обмоток отдельных объектов испытаний и возможность развития резонансных процессов в обмотках, приводящих к увеличению воздействующих напряжений на продольной изоляции при совпадении частоты колебаний после среза напряжения грозового импульса с одной из резонансных частот испытываемой обмотки трансформатора (шунтирующего реактора). Поскольку резонансные частоты обмоток существенно зависят от их конструкции, при испытании срезанным грозовым импульсом с некоторой фиксированной частотой колебаний после среза трансформаторов разной конструкции можно ожидать разные воздействия на элементы продольной изоляции обмоток в зависимости от того, оказалась ли частота колебаний после среза близкой к той или иной собственной частоте обмоток этих трансформаторов. В докладе представлено сравнение воздействий на изоляцию обмоток при воздействии срезанных грозовых импульсов с разными параметрами и отмечено о возможности развития резонансных процессов внутри обмоток при срезе напряжения грозового импульса.

В последней редакции МЭК 60060-1 для расчета параметров полных грозовых импульсов с наложенным на фронте выбросом предложен подход на основе использования так называемого К-фактора. Подход основан на эмпирических данных по электрической прочности моделей изоляции при воздействии стандартного полного грозового импульса и полного грозового импульса с наложенными на фронте колебаниями. Его применение позволяет определить эквивалентное по условию электрической прочности испытательное напряжение стандартного полного грозового импульса и отстроиться от наложенных колебаний, которые нередко встречаются при испытаниях электрооборудования с обмотками. Вместе с тем, в оборудовании с обмотками, таком как силовые трансформаторы и шунтирующие реакторы, форма входного напряжения существенным образом определяет переходные процессы внутри обмоток и воздействия на отдельные элементы продольной изоляции. Таким образом, несмотря на все достоинства этого подхода, он не в полной мере учитывает особенности колебаний внутри обмоток трансформаторов и реакторов, а потому не применим в полной мере к трансформаторному оборудованию. В докладе представлены результаты расчетного сравнения напряжений и оценки прочности продольной изоляции для полных грозовых импульсов с разным значением выброса на фронте.