

СЫРОВ А.В, студент гр. ЭРб-141 (КузГТУ)
Научный руководитель И.Н. ПАСКАРЬ, старший преподаватель (КузГТУ)
г. Кемерово

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ГРОЗОЗАЩИТЫ ПОДСТАНЦИЙ

Анализ положений ПУЭ, уточнение или пересмотр которых смогут обеспечить более совершенную грозозащиту (молниезащиту) высоковольтных линий и подстанций.

Сегодня многие вопросы, которые возникают при использовании ОПН вместо вентильных разрядников, при установке ОПН на подходах линий, в случае сокращения длины тросовой защиты на подходах или полного отсутствия тросов, при эксплуатации сетей с повышенным сопротивлением заземлений опор и др., не находят адекватного отражения в нормативных документах. В то же время проблема надежной защиты линий и подстанционного оборудования остается одной из наиболее актуальных в плане как защиты от прямых ударов молнии, так и ограничения перенапряжений, вызванных волнами, набегающими с ВЛ. В данной работе затронута тема о том, что исследования в этой области совершенствуются и научный потенциал позволяет уже на нынешнем этапе решать многие проблемы. Подтверждением этому служит работа, посвященная экспериментальным исследованиям эффективности каскадной молниезащиты подстанций, выполненная Ю.М. Невретдиновым, Е.А. Токаревой. Схемы молниезащиты изучались на выведенном из работы участке сети 110 кВ, т.е. с использованием реальных элементов сети и среды развития электромагнитных процессов.

Для совершенствования грозозащиты подстанционного оборудования предстоит провести дополнительные исследования, уточнить алгоритмы расчетов и их анализа. Однако уже на данном этапе можно сформулировать проблемы, возникающие при анализе ряда положений ПУЭ, и соответственно обсудить возможность их уточнения или пересмотра для повышения эффективности как защиты от прямых ударов молнии, так и для ограничения перенапряжений, вызванных волнами, набегающими с высоковольтных линий. Продолжаем анализировать положения ПУЭ с позиций современной науки и практики в области грозозащиты.

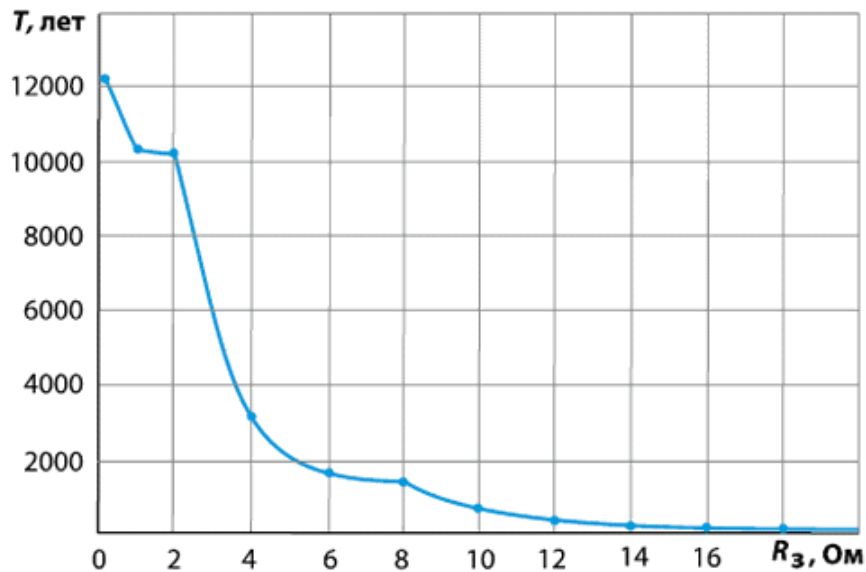


Рис.1 Снижение надежности грозозащиты подстанции при увеличении локального сопротивления заземления ОПН

Влияние сопротивления контура заземления подстанции на развитие грозовых перенапряжений

Системы заземления распределительных устройств в России проектируются исходя из требований безопасности (напряжение прикосновения) и функциональности (сопротивление растеканию, отвод токов не симметрии, обеспечение режима работы нейтрали и т.п.). При этом в нормативных документах абсолютно не учитывается влияние конфигурации заземлителей на эффективность мероприятий грозозащиты. Например, ПУЭ содержит лишь одну рекомендацию о конструктивном выполнении заземлителя ОПН (п. 4.2.136), но даже это упоминание связано с устройством системы молниезащиты, а точнее с установкой молниеприемников на трансформаторные порталы. Такой подход часто приводит к тому, что оборудование, близко расположенное на плане подстанции, соединено достаточно длинными подземными металлическими связями. В результате конструкция заземляющего устройства начинает негативно сказываться на работе защитных аппаратов, что в свою очередь снижает показатель грозоупорности. При набегании волн с фронтами порядка долей и единиц микросекунд мы имеем дело с локальным сопротивлением заземления того или иного оборудования, поскольку не весь контур заземления включается в работу. В первую очередь это существенно для защитных аппаратов при высоком удельном сопротивлении грунта. В принципе локальное заземление следует моделировать с помощью схем с распределенными параметрами и сосредоточенными индуктивностями и сопротивлениями вертикальных заземлителей. Предварительные оценки показали, что в первом приближении в качестве модели заземлителя можно использовать постоянное активное сопротивление, составляющее обычно от 2 до 10 Ом. К каким последствиям может привести повышение грозовых перенапряжений из-за влияния сопротивления зазем-

ления ОПН (при использовании резистивной схемы замещения), показано на примере трансформатора ОРУ 110 кВ, установленного на одной из подстанций (рис. 1). При нулевом сопротивлении контура заземления показатель надежности имеет значение порядка 12000 лет, – то есть многократно превышает все существующие нормативы. Однако уже при сопротивлении 5 Ом он снижается примерно в 6 раз, а при сопротивлении 10 Ом достигает предельно допустимого значения.

Учет различной интенсивности грозовой деятельности.

Весь комплекс расчетов, заложенных в ПУЭ, был выполнен для грозовой деятельности интенсивностью 30 часов в год. Поскольку этот показатель учитывается последним в расчетах и результат линейно зависит от числа грозовых часов, для определения показателя надежности грозозащиты при известном показателе для 30 грозовых часов, достаточно величину T изменить обратно пропорционально соответствующему показателю. Так, при 10 грозовых часах достаточно все ординаты кривой T умножить на 3, или, что одно и то же, сместить вверх. При 100 грозовых часах зависимость T нужно разделить на 3,33. Зависимость T является нелинейной, поэтому искомое допустимое расстояние изменяется не в 3,33 раза, а в другой пропорции. В результате при 100 грозовых часах допустимые расстояния в большинстве случаев существенно меньше рекомендуемых ПУЭ.

Уменьшение динамического сопротивления ОПН по сравнению с вентильными разрядниками.

Это еще одна из проблем, совершенно не затронутых в ПУЭ. Рассмотрим идеальную ситуацию. Молния ударила в ВЛ в непосредственной близости от подстанции, на фронте грозовой волны произошло перекрытие гирлянды изоляторов на опоре с очень малым сопротивлением заземления. Влиянием потерь в проводах ошиновки на волновые процессы пренебрежем. Всё оборудование подстанций, как это принято в современных моделях анализа грозозащиты, заменяем его входными емкостями. Тогда единственными элементами в схемах замещения подстанций, вызывающими затухание колебательной составляющей на оборудовании, будут активные сопротивления защитных аппаратов. Ясно, что при установке ОПН с малым динамическим сопротивлением эти колебания, накладываемые на апериодическую составляющую, будут иметь большие амплитуды и продолжаться дольше, чем при установке вентильных разрядников (РВ) в тех же точках подстанции. Мало того, имеются данные о возможности резонансных явлений в обмотках трансформаторов под действием этих колебаний. Хотя различного рода потери уменьшают амплитуду и длительность колебаний напряжений на оборудовании, в целом явление остается. Как показывают расчеты, это может существенно повлиять на эффективность замены вентильных разрядников на ОПН.

Старение оборудования

Такое обстоятельство, как старение оборудования, необходимо принимать во внимание, когда на действующих ОРУ вентильные разрядники заменяют на нелинейные ограничители перенапряжений. Старение высоковольтного оборудования рекомендуется учитывать, снижая допустимое напряжение на 10–20%. Расчеты, выполненные для ОРУ 330 кВ по схеме «две системы сборных шин с обходной», показали, что при снижении допустимого напряжения на 20 % показатель надежности грозозащиты в зависимости от расстояния между силовым трансформатором и ограничителем снижается. Рекомендации ПУЭ не дают возможности учесть старение оборудования.

Исследовательские задачи

Перечисление вопросов, возникающих при анализе ПУЭ, можно продолжить. Однако уже изложенное показывает, что есть проблемы, требующие новых подходов для их решения. Кроме того, можно отметить, что, несмотря на ряд усовершенствований, во всех методиках расчета грозовых перенапряжений остались многочисленные допущения и упрощения, позволяющие говорить лишь о качественном совпадении теоретических результатов и опытных данных. Поэтому практически все расчеты в настоящее время нацелены на получение сравнительных оценок надежности работы различных схем грозозащиты. Для перехода к достаточно точному определению вероятности повреждения молнией конкретных линий и подстанций необходимо выполнить теоретические и экспериментальные исследования, по ряду направлений, в том числе:

- грозовая поражаемость линий и распределение ударов в пролеты и в опоры;
- вероятность прорыва молнии сквозь тросовую защиту с учетом влияния рабочего напряжения;
- поражение троса с последующим перекрытием гирлянд изоляторов на опорах;
- вольт-секундные характеристики линейной изоляции, с учетом того, что разность напряжений на гирлянде изоляторов в большинстве случаев отличается по форме от стандартного грозового импульса;
- процессы в заземлителях опор;
- распространение волн в многопроводных воздушных линиях на подходах;
- моделирование коротких отрезков неоднородных многопроводных линий на подстанциях;
- входные параметры оборудования в микросекундном диапазоне времени;
- импульсные сопротивления заземления оборудования подстанций;
- изменение в процессе эксплуатации параметров ОПН и РВ;
- допустимые перенапряжения для различного оборудования с разными сроками эксплуатации;

— оптимизация методов расчета грозозащиты подстанции.

Результаты этих исследований должны стать основой для разработки современных нормативных документов по грозозащите, изначально ориентированных на применение компьютерных продуктов.

Критерии выбора схемы грозозащиты.

Необходимо определить, что и в каких случаях является критерием правильного выбора схемы грозозащиты: соответствие нормированным показателям надежности грозозащиты (в частности T) или соответствие конкретным значениям параметров схем из набора, предлагаемого нормативными документами (число защитных аппаратов, их расстояние до защищаемого оборудования, сопротивление заземления опор на подходах и т. д.).

Первый критерий выбора схемы грозозащиты более универсален и позволяет учесть специфику конкретной подстанции (например, наличие единичной опоры на подходе с аномально высоким сопротивлением заземления, отсутствие троса на части подхода, большое расстояние между ограничителем и трансформатором и т. д.). Однако использование такого подхода требует определенной квалификации проектировщиков. Кроме того, сами значения T , подлежат уточнению. Представляется целесообразным отойти от математического ожидания в тысячи лет и перейти к более наглядному показателю: процент подстанций, на которых возможно возникновение аварий по грозовым причинам за весь назначенный срок службы. Тогда при сроке службы 30 лет и $T = 1000$ лет получим новый показатель T_{30} , равный 3%, что, видимо, можно считать удовлетворительной надежностью грозозащиты типовых подстанций. При $T = 100$ лет значение этого нового показателя T_{30} составит 30 %, то есть почти треть оборудования подвергнется опасным воздействиям из-за необоснованного выбора схем грозозащиты и параметров защитных устройств. Вряд ли это допустимо даже для серийного исполнения подстанций, не говоря уже об уникальном оборудовании. Второй критерий для выбора схемы грозозащиты, связанный с нормированием конкретных параметров, более прост и привычен. При этом в ряде случаев его использование приводит к тому, что подстанции по объективным причинам длительное время эксплуатируются с нарушениями ПУЭ, а показатели надежности грозозащиты при применении типовых решений для нестандартных вариантов оказываются существенно ниже рекомендуемых.

На основании всего изложенного можно сделать следующие выводы, что цель данной статьи состоит не столько в критике действующих нормативных документов, которые в целом обеспечивают надежную работу оборудования энергосистем, сколько в том, чтобы привлечь внимание к необходимости пересмотра ряда их положений с учетом опыта эксплуатации, развития теории атмосферных перенапряжений, а также массового внедрения современных защитных аппаратов и схем грозозащиты. Многие ученые, проектировщики и сотрудники энергокомпаний понимают,

что перечисленные в материале проблемы требуют безотлагательного решения. Для этого в нашей стране есть достаточный научный задел. В настоящее время основной вопрос состоит в координации и финансировании такой работы.

Список литературы

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 7-е изд., перераб. и доп.
2. Гуменова Н.И., Данилин А.Н., Ефимов Б.В. и др. Влияние локальных импульсных сопротивлений заземлений основного и защитного оборудования на надежность грозозащиты подстанции // Первая Российская конференция по молниезащите: Сборник докладов. Новосибирск: Сибирская энергетическая академия, 2007. С. 480.
3. Руководство по защите электрических сетей 6–1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений / Под науч. ред. Н.Н. Тиходеева. СПб: ПЭ-ИПК Минтопэнерго РФ, 1999.