

Грозазащита воздушных линий электропередачи

В последние годы в Российской Федерации для защиты изоляции воздушных линий от грозовых перенапряжений стали применяться защитные аппараты, собранные на основе оксидо-цинковых варисторов. Необходимость их применения продиктована возрастающими требованиями к качеству передаваемой энергии, снижению числа отключений ВЛ и перерывов в электроснабжении.

Следует отметить, что для выполнения таких ответственных проектов сейчас привлекаются не только зарубежные, но и отечественные производители защитных аппаратов. С 2007 года НПО «Полимер-Аппарат» выполнены поставки защитных аппаратов для воздушных линий электропередачи всех классов напряжения до 500 кВ. В данной статье содержится краткое описание истории, конструкции и опыта эксплуатации защитных аппаратов на воз-

душных линиях Российской Федерации.

Для защиты изоляции воздушных линий электропередачи НПО «Полимер-Аппарат» выпускает два типа аппаратов: линейные ОПН и линейные разрядники типа РВЛ.

Линейные ОПН (рис. 1) представляют собой полноценные ограничители перенапряжений подвешенного исполнения, предназначенные непосредственно для защиты линейной изоляции.

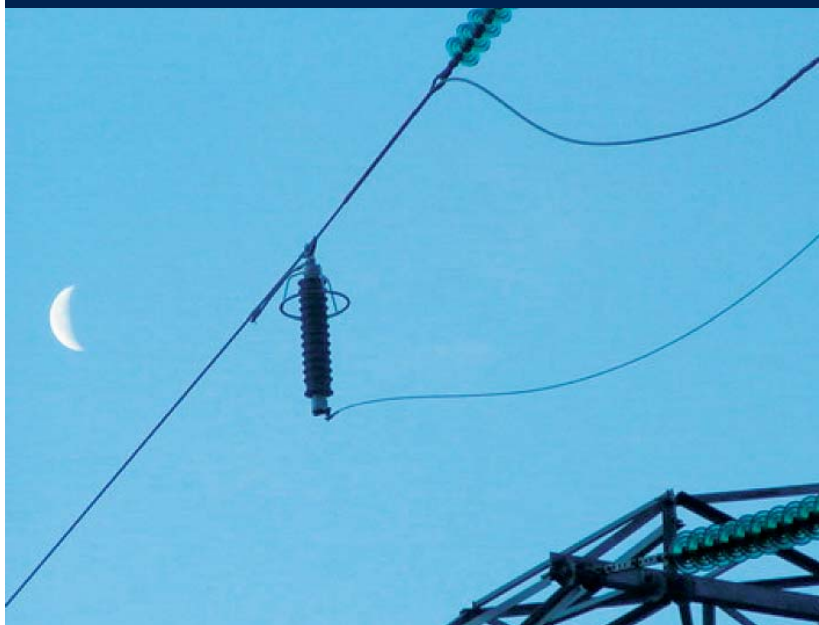
Линейные разрядники типа РВЛ (рис. 2) представляют собой ограничители перенапряжений, установленные на траверсах ВЛ и отделённые от фазного провода внешним искровым промежутком. При этом наличие искрового промежутка позволяет использовать ОПН с рабочим напряжением меньшим, чем напряжение фазного провода.

Зарубежный опыт грозозащиты воздушных линий с применением защитных аппаратов,

Рис. 2. Линейный разрядник РВЛ 220 кВ производства НПО «Полимер-Аппарат»



Рис. 1. Линейный ограничитель перенапряжений производства НПО «Полимер-Аппарат» на ВЛ 110 кВ Шепси — Туапсе ПС «Тяговая»



собранных на основе оксидо-цинковых варисторов ОПН, отражённый в публикациях, можно трактовать практически в любом свете. В зависимости от мнения автора можно подобрать публикации о преимуществах защиты ВЛ с помощью ограничителей перенапряжений с искровым промежутком или без него. Противники указанных систем грозозащиты вообще умудряются найти статьи китайских специалистов, которые свидетельствуют об отрицательном опыте защиты ВЛ ограничителями перенапряжений. Единственный критерий оценки системы грозозащиты — это достигнутый результат. В нашей стране уже есть небольшой, но значимый результат применения защитных аппаратов на воздушных линиях. И этот результат однозначно положительный.

В России линейные ОПН впервые были успешно применены для защиты изоляции ВЛ 400 кВ Линке-1/Линке-2 в 2004 году. Воздушная линия 400 кВ Линке-1/Линке-2 выполнена на двухцепных опорах. На всём протяжении ВЛ установлены два грозозащитных троса. Линия используется для транзита электроэнергии в Финляндскую Республику. Для развязки энергосистем двух государств на линии выполнена вставка постоянного тока. Соответственно двухцепные отключения данной линии приводят к продолжительным перерывам электроснабжения, что недопустимо.

Наличие двух грозозащитных тросов в полной мере обеспечивало отсутствие непосредственных попаданий молнии в провода ВЛ. Однако в грозовые сезоны происходили как одноцепные, так и двухцепные отключения.

ВЛ 400 кВ Линке-1/Линке-2 проходит по скальным грунтам Карельского перешейка. Сопротивления заземления некоторых опор превышали 500 Ом. При попадании молнии в грозозащитный трос или непосредственно в опору с малым сопротивлением заземления ток молнии по телу опоры стекает в землю. Если сопротивление заземления опоры велико, на траверсе может возникнуть потенциал, достаточный для перекрытия линейной изоляции. Пробой изоляции под воздействием грозовых перенапряжений с большой вероятностью переходит в силовую дугу и вызывает отключение воздушной линии, что и происходило регулярно.

Для предотвращения данных отключений (отключения из-за «обратных» перекрытий) на ВЛ были проведены работы по установке дополнительных заземлителей. На опорах, сопротивление заземления которых не удалось уменьшить до допустимых значений традиционными методами, были установлены ограничители перенапряжений параллельно линейной изоляции. При попадании в опору или грозозащитный трос ток молнии не только стекает по телу опоры в землю, но и растекается по фазным проводам через ограничители перенапряжений. При этом перекрытия изоляции и отключения ВЛ не происходит.

Рис 3. Применение линейных ОПН производства НПО «Полимер-Аппарат» вместо грозозащитного троса



Положительный опыт эксплуатации ВЛ 400 кВ Линке-1/Линке-2 (с 2004 года по настоящее время двухцепных отключений ВЛ не происходило) наглядно показал эффективность применения ОПН на воздушных линиях электропередачи при защите от «обратных перекрытий».

В случае с «обратными перекрытиями» ОПН защищает изоляцию в сочетании с грозозащитным тросом, однако ограничители перенапряжений могут заменить собой и сам грозозащитный трос. В этом случае ОПН устанавливаются на верхние провода, которые и исполняют роль грозозащитного троса.

Такой способ грозозащиты может применяться на переходных пролётах через водоёмы и другие преграды на рельефе трассы ВЛ, участках ВЛ с ослабленной изоляцией, участках трассы ВЛ, проходящей через районы с локальной повышенной грозопоражаемостью, а также в гололёдных районах. То есть в местах, где подвеска грозозащитных тросов нецелесообразна.

Ярким примером применения линейных ОПН вместо грозотроса являются ВЛ Сочинского региона. Первая из реконструируемых линий, двухцепная ВЛ 110 кВ Шепси — Туапсе ПС «Тяговая», проходит вдоль побережья Чёрного моря по отрогам Главного хребта Западно-

го Кавказа. Длина — 10,3 км. На ВЛ установлены только анкерные опоры в габаритах 220 кВ. Длины пролётов до 360 м. Разность высот установки соседних опор достигает 100 м. Количество отключений до реконструкции с установленным грозозащитным тросом — 2,7 в год. Из них грозовых — всего 0,6 в год. Основной причиной отключений на данной ВЛ являлись ветровые и гололёдно-ветровые нагрузки, зачастую связанные с обрывом грозозащитного троса. После установки ОПН (2007 год) производства НПО «Полимер-Аппарат» на двух верхних фазах (рис. 3) грозовых отключений данной ВЛ не происходило. При реконструкции ВЛ грозозащитный трос не монтировался и, соответственно, отключений, связанных с его повреждением, также не было.

Опыт эксплуатации линейных ОПН на ВЛ 110 кВ Шепси — Туапсе ПС «Тяговая» наглядно показал эффективность принятой системы грозозащиты. С 2009 года все проекты по реконструкции ВЛ, «питающих» олимпийские объекты Сочинского региона, выполняются с применением линейных ОПН.

В настоящее время по научным проектам грозоупорности ВЛ с применением линейных ОПН, выполненным ОАО «НИИПТ», проведены работы по реконструкции и строительству более чем 30 линий.

Рис 4. Линейные ОПН-330 производства НПО «Полимер-Аппарат»

В свою очередь НПО «Полимер-Аппарат» изготовлено более 4000 линейных ограничителей перенапряжений для ВЛ 110 кВ. Эксплуатация первой линии начата в конце 2007 года, а реконструкция последних завершается в настоящее время, и грозовых отключений эксплуатируемых линий не зафиксировано.

Линейные ограничители могут быть успешно применены как на одноцепных, так и на двухцепных ВЛ. Число и место установки линейных ограничителей определяется сопротивлением заземления опор, наличием грозозащитного троса и конструкцией опор ВЛ. Воздушные линии классов напряжения 330 кВ и выше часто выполняются

с горизонтальным расположением проводов, соответственно для защиты от прямых ударов молнии необходимо устанавливать ОПН на все три его фазы. Этот вариант является наиболее дорогим, но и наиболее эффективным. Число грозовых отключений в данном случае определяется только вероятностью повреждения ОПН, которая при правильном выборе ОПН и производстве стабильно высокого качества очень мала. В большинстве проектов грозозащиты ВЛ с помощью ОПН применяется данная схема. Однако количество ударов молнии в средний провод ВЛ с горизонтальным расположением проводов существенно меньше, чем в крайние провода, и в некоторых случаях допустимо устанавливать линейные ОПН только на крайних фазах ВЛ. Подобным образом в 2011 году выполнена грозозащита воздушных линий 330 кВ ОАО «ФСК ЕЭС» протяжённостью 138 км (рис. 4).

Монтаж ограничителей перенапряжений проводился весь грозовой сезон 2011 года. Однако полученный результат — бесперебойная работа линии вместо обычных пятнадцати-двадцати отключений в год — уже свидетельствует об эффективности выбранной системы грозозащиты.

Приведённые примеры использования линейных ОПН для защиты от «обратных перекрытий» и «вместо грозозащитного троса» могут использоваться и совместно. Двухцепная ВЛ 35 кВ Таганай — ТМР оснащена линейными ограничителями перенапряжений на пяти из шести проводов (рис. 5).

Монтаж ограничителей перенапряжений закончен до начала грозового сезона 2011 года. Ни одного грозового отключения за сезон 2011 года не зафиксировано. До реконструкции линии число её отключений составляло ~ 6 раз в год.

ОПН, как средство грозозащиты ВЛ, были предложены ещё в 1999 году [1]. Однако отсутствие высокотехнологичного производства в Российской Федерации не позволяло рассматривать отечественные ОПН как средство защиты изоляции ВЛ.

Рис 5. Линейные ОПН производства НПО «Полимер-Аппарат» на ВЛ 35 кВ Таганай — ТМР

В настоящее время использование современных новаторских технологий, обеспечивающих высокую надёжность и стабильное качество аппаратов при массовом производстве, позволяют НПО «Полимер-Аппарат» предлагать для рассмотрения линейные ОПН как реальную альтернативу грозозащитному тросу при строительстве новых линий и на линиях, где проводится демонтаж состарившегося грозозащитного троса.

А обеспечить надёжную защиту изоляции воздушных линий, проходящих по грунтам с высоким сопротивлением заземления опор, сегодня возможно только с применением защитных аппаратов, собранных на основе оксидно-цинковых варисторов.

При изготовлении защитных аппаратов для воздушных линий производитель должен обеспечивать их соответствие особым требованиям эксплуатации. При использовании ОПН на воздушных линиях ключевое значение приобретает надёжность самих защитных аппаратов. Если на обычной линии установлено только 6 защитных аппаратов (на подстанциях), то на ВЛ, защищённой ОПН, их может быть несколько сотен. Соответственно,



чтобы сохранить надёжность ВЛ на том же уровне, надёжность ОПН должна быть на два порядка выше обычной, что возможно только при применении современных технологий массового производства, снижающего до минимума использование ручного труда, т.е. зависимость от человеческого фактора (рис. 6).

С функциональной точки зрения линейные ОПН должны ограничивать напряжение на изоляции и предотвращать её перекрытие. В нормальном рабочем режиме они не должны ухудшать изоляцию линии, а повреждение линейного ОПН не должно приводить к её длительному отключению. Кроме того, ограничителям необходимо иметь

Рис. 7. ОПН на траверсе опоры ВЛ 110 кВ Сочинская ТЭС — ПС «Сочи»



Рис. 8. Установка линейного ОПН на расщеплённый провод

следующие характерные особенности: большой срок службы; повышенную надёжность; стойкость к воздействию внешних климатических факторов; лёгкость монтажа. Ограничители не должны нуждаться в обслуживании и контроле или должен быть обеспечен дистанционный контроль их состояния.

По конструктивному исполнению линейные ограничители отличаются от подстанционных ОПН только конструкцией фланцев. Ограничитель состоит из ZnO-элементов, собранных в колонку и помещённых в изоляционный полимерный корпус (см. рис. 2.). Более предпочтительным для линейных ОПН считается полимерный корпус в оболочке из кремнийорганической резины. Корпус ОПН в обязательном порядке оборудован устройством сброса давления для предотвращения его взрывного разрушения и повреждения при этом изоляции линии.

В процессе эксплуатации повреждение линейного ограничителя маловероятно, но возможно. Для отделения повреждённого аппарата разработано специальное устройство «отделитель», отсоединяющее шлейф, соединяющий аппарат с опорой или фазным проводом (в зависимости от варианта подвеса ОПН). После срабатывания отделителя линия действием АПВ включается под напряжение.

Возможны два способа установки линейных ОПН на опоре.

Первый способ — ограничитель закрепляется на траверсе опоры и гибким проводником подключается к проводу (рис. 7).

Второй, более предпочтительный способ — вариант свободной подвески, когда один фланец линейного ОПН крепится к поддерживающему зажиму провода или же с помощью специального зажима к самому проводу, а другой конец гибким заземляющим проводником подключается к опоре (рис. 8).

Также возможно применение на ВЛ обычных опорных ОПН, но

это всегда связано с применением дополнительных металлоконструкций, например кронштейнов, продлевающих траверсу опоры, или дополнительных площадок (траверс).

Если для линейных ОПН способ установки на ВЛ не влияет на защитные характеристики, то для линейных разрядников он приобретает определяющее значение.

Линейные разрядники были разработаны в Сибирском научно-исследовательском институте энергетики. На последнем этапе (2007 г.) разработка проводилась с привлечением потенциальных производителей данных защитных аппаратов — НПО «Полимер-Аппарат». Результатом разработки явились линейные разрядники, собранные на основе оксидо-цинковых варисторов, типа РВА (см. рис. 6) классов напряжения 35—330 кВ (рис. 9).

Разрядник состоит из рабочего резистора (РР) в изоляционной крышке и внешнего искрового промежутка (ИП), образованного между электродом, закреплённым на РР, и фазным проводом. Рабочий резистор с помощью специальной арматуры устанавливается на траверсе опоры ВЛ. Внешний искровой промежуток образуется между электродом, закреплённым на нижнем фланце РР, и проводом ВЛ. Конструкция электродов

Рис. 9. Линейные разрядники типа РВА производства НПО «Полимер-Аппарат» на ВЛ 110 кВ Алёхинского — Ай-Пимского месторождений

и способ крепления разрядника позволяют сохранять величину искрового промежутка постоянной в любых погодных условиях. При воздействии грозových перенапряжений, представляющих опасность для изоляции линии, искровой промежуток пробивается и напряжение на изоляции ограничивается до уровня остающегося напряжения на РР при данном разрядном токе. После протекания разрядного тока (тока молнии) в промежутке остаётся ионизированный канал, по которому протекает сопровождающий ток, вызванный рабочим напряжением ВЛ. Этот ток не превышает долей ампера и обрывается в течение одного полупериода промышленной частоты. Импульсное перекрытие не переходит в дугу короткого замыкания.

Защитная характеристика разрядника скоординирована с импульсной прочностью изоляции таким образом, чтобы при воздействии грозových перенапряжений происходило опережающее срабатывание (перекрытие ИП) разрядника по отношению к перекрытию линейной изоляции. Это условие должно обеспечиваться при всех возможных скоростях нарастания грозového перенапряжения — не менее 2 МВ/мкс.

В 2007 году была проведена работа по теоретическому выбору параметров разрядников серии РВЛ. И впоследствии осуществлены экспериментальные исследования импульсной электрической прочности фазной изоляции ВЛ 35, 110, 220 и 330 кВ и электрической прочности РВЛ производства НПО «Полимер-Аппарат» при различных длинах искровых промежутков и параметрах рабочего резистора. Проведены численные (компьютерные) исследования грозových воздействий на разрядники и проанализированы условия обрыва сопровождающего тока после срабатывания разрядника. На основе исследований для различных классов напряжения были выбраны длины искро-

Рис. 10. Линейные разрядники на анкерных опорах с большим углом поворота



вых промежутков разрядников, пропускная способность и уровень остающегося напряжения рабочих резисторов.

В 2009 году линейные разрядники производства НПО «Полимер-Аппарат» были установлены на ВЛ 110 кВ Алёхинского — Ай-Пимского месторождений (см. рис. 9.). Необходимость установки разрядников на данной ВЛ была обусловлена необходимостью бесперебойного питания объектов нефтедобычи. Разрядники установлены на одной из цепей ВЛ, что позволило не только обеспечить отсутствие грозových двухцепных отключений данной ВЛ, но и более чем вдвое уменьшить число одноцепных грозových отключений.

С 2011 года находятся в эксплуатации воздушные линии 220 кВ Тында — Дипкун и Тында — НГРЭС № 1,2 (см. рис. 2), защищённые линейными разрядниками. Основная сложность при использовании разрядников — обеспечение величины и стабильности искрового промежутка. Поскольку длительно допустимое напряжение рабочего резистора значительно меньше рабочего напряжения ВЛ, одним из условий установки разрядников

является отсутствие любых изоляционных конструкций в его искровом промежутке. На рис. 10 показана наиболее сложная конструкция разрядника — для анкерных опор с большим углом поворота. Обычно число таких разрядников на ВЛ невелико, и основное их количество выполняется в «простом» варианте (см. рис. 2 и рис. 9).

ВЫВОДЫ

НПО «Полимер-Аппарат» может осуществлять защиту изоляции воздушных линий от грозových перенапряжений оборудованием, собранным на основе оксидно-цинковых варисторов. Для защиты изоляции ВЛ применяются как линейные ОПН, так и линейные разрядники. Тип защитного аппарата определяется по экономическим показателям из условий обеспечения заданного уровня надёжности.

При проектировании новых или реконструкции старых ВЛ должна рассматриваться возможность и экономическая целесообразность использования защитных аппаратов как в сочетании с грозозащитным тросом, так и без него.

При выборе поставщика защитных аппаратов оценивается надёжность его продукции. К поставке должны быть допущены только производители, обладающие современным технологическим парком оборудования, обеспечивающим стабильно высокое качество продукции при массовом производстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. «РД 153-34.3-35.125-99. Руководство по защите электрических сетей 6–1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений». Под научной редакцией Н.Н. Тиходеева.
2. Журавлёв П.В. «Защита ВЛ от грозы: история, опыт, перспективы». Журнал «ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение», 2011 г., № 6 (9), с. 98–101.