

Применение ОПН в электрических сетях 6-750 кВ

(к.т.н. Дмитриев М.В., ЗАО «Завод энергозащитных устройств»)

Как известно, основными защитными аппаратами для защиты изоляции от грозových и коммутационных перенапряжений являются вентильные разрядники и нелинейные ограничители перенапряжений. В настоящее время вентильные разрядники практически сняты с производства, а в эксплуатации в большинстве случаев отслужили нормативный срок службы. Построение схем защиты изоляции оборудования как новых, так и модернизируемых распределительных устройств от грозových и коммутационных перенапряжений теперь оказывается возможным только с использованием ОПН. Именно поэтому сейчас важно разработать научно обоснованные и доступно изложенные рекомендации по применению нелинейных ограничителей напряжения, основанные на опыте эксплуатации, результатах аналитических расчетов и подробного компьютерного моделирования.

В статье даются краткие определения различным характеристикам ОПН и отмечается, что лишь две из них являются основополагающими, а также приводятся особые случаи применения ОПН в сетях 6-35 кВ и 110-750 кВ – это случаи, когда необходимо предъявлять «нестандартные» требования к местам установки и к характеристикам ОПН.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПН

К сожалению, в России до сих пор нет утвержденного государственного стандарта (ГОСТ) на ограничители перенапряжений, т.е., в частности, нет общепризнанной терминологии и системы обозначений. Учитывая это, ниже кратко дадим свои (на наш взгляд, логичные и понятные) определения основным характеристикам ОПН, разбив их на три смысловые группы.

Характеристики ОПН, от которых зависит его надежная работа в сети под рабочим напряжением и при воздействии квазистационарных перенапряжений

Наибольшее (длительно допустимое) рабочее напряжение ОПН, кВ – наибольшее действующее значение напряжения промышленной частоты $U_{нрo}$, которое неограниченно долго может быть приложено к ОПН (при напряжении большем, чем наибольшее рабочее, ток через ОПН начинает заметно возрастать, что может привести перегреву и повреждению аппарата).

Номинальное напряжение ОПН, кВ – действующее значение напряжения промышленной частоты, которое ОПН в определенных условиях может выдержать в течение 10 секунд после воздействия на него импульсов тока с нормированными параметрами.

Следует отметить, что в России традиционно под номинальным напряжением оборудования понимали то напряжение, которое может воздействовать на оборудование неограниченного долго – в этом смысле «номинальное напряжение ОПН» (10-секундное

напряжение ОПН) является неудачным переводом английского слова «rated», которое можно перевести и как «расчетное». Вместе с тем, под номинальным напряжением разрядника понимали то наибольшее напряжение, при котором конструкция разрядника обеспечивала отключение сопровождающего тока промышленной частоты после срабатывания искровых промежутков.

Характеристика «напряжение-время» ОПН – определяется как зависимость действующего значения выдерживаемого ОПН напряжения промышленной частоты от времени его приложения. Иногда указывается для случая с предварительным нагружением ОПН импульсами тока с нормируемыми параметрами, а иногда для случая без нагружения.

Характеристики ОПН, от которых зависит защищенность оборудования от грозовых и коммутационных перенапряжений

Остающееся напряжение ОПН, кВ – наибольшее значение напряжения на ОПН при протекании через него импульса тока указанного максимального значения и формы.

Остающееся напряжение определяется при импульсных токах стандартной формы.

Грозовой импульс тока формы 8/20 мкс – импульс тока, используемый для определения остающегося напряжения на ОПН в режиме ограничения грозовых перенапряжений.

Коммутационный импульс тока формы 30/60 мкс – импульс тока, используемый для определения остающегося напряжения на ОПН в режиме ограничения коммутационных перенапряжений.

Крутой импульс тока формы 1/10 мкс – импульс тока, используемый для определения остающегося напряжения на ОПН при большой скорости нарастания протекающего в нем импульсного тока.

Характеристики ОПН, от которых зависит его надежная работа при ограничении грозовых и коммутационных перенапряжений

Номинальный разрядный ток ОПН, кА – максимальное значение грозового импульса тока 8/20 мкс, используемое для классификации ОПН и характеризующее его свойства в режиме ограничения грозовых перенапряжений, вызванных удаленными от ОПН ударами молнии.

Импульс большого тока, кА – максимальное значение грозового импульса тока 4/10 мкс, используемое для оценки устойчивости ОПН к прямым ударам молнии.

Ток пропускной способности (импульс тока большой длительности), А – максимальное значение I_p прямоугольного импульса тока длительностью не менее 2000 мкс, используемое для классификации ОПН и характеризующее его способность рассеивать энергию коммутационных перенапряжений.

Рассеиваемая (поглощаемая) энергия, кДж – рассеиваемая ОПН энергия, полученная им при приложении одного импульса тока пропускной способности I_p в процессе испытаний ОПН (иногда указывается энергия двух импульсов тока пропускной способности).

Удельная рассеиваемая (поглощаемая) энергия (энергоемкость), кДж/кВ
 – рассеиваемая ограничителем энергия $W_{уд}$ одного импульса (иногда – двух импульсов) тока пропускной способности $I_{п}$, отнесенная к наибольшему рабочему напряжению ОПН (иногда к номинальному напряжению ОПН), полученная в процессе испытаний ОПН, используемая для классификации ОПН и характеризующая его способность рассеивать энергию коммутационных перенапряжений.

ВЫБОР ХАРАКТЕРИСТИК ОПН В ТИПОВЫХ И ОСОБЫХ СЛУЧАЯХ

Ограничитель перенапряжений представляет собой колонку рис.1 из последовательно соединенных N нелинейных сопротивлений – варисторов, изготавливаемых в виде шайб той или иной высоты h и диаметра D . В ряде случаев ОПН представляет собой несколько колонок варисторов, работающих параллельно.

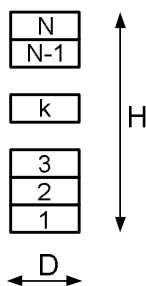


Рис.1. Внешний вид колонки из N последовательно соединенных варисторов.

Выбор наибольшего рабочего напряжения ОПН и энергоемкости – это, соответственно, выбор высоты $H = N \cdot h$ и диаметра D колонки варисторов. В свою очередь, известные высота (наибольшее рабочее напряжение $U_{нрo}$) и диаметр (энергоемкость $W_{уд}$) колонки варисторов практически однозначно определяют все остальные характеристики ОПН. Поэтому и в типовых, и в особых случаях выбор характеристик ОПН сводится к определению его наибольшего рабочего напряжения и энергоемкости с последующей проверкой достаточности в конкретных условиях эксплуатации прочих характеристик (остающихся напряжений и др.) такого ОПН. Именно этот подход к выбору характеристик ОПН представляется рациональным.

ОСОБЫЕ СЛУЧАИ ПРИМЕНЕНИЯ ОПН В СЕТЯХ 6-35 кВ

В сетях 6-35 кВ места установки и характеристики ОПН допустимо определять упрощенно за исключением особых случаев, перечисленных ниже и требующих проведения расчетов (аналитических или с использованием компьютерного моделирования процессов).

Защита от коммутационных перенапряжений конденсаторных батарей

ОПН может устанавливаться у батареи конденсаторов для ее защиты от коммутационных перенапряжений; при этом недопустимо наличие коммутационных аппаратов в цепи между ней и защитным аппаратом, так как в противном случае защита батареи от коммутационных перенапряжений, возникающих при ее включении и отключении, не обеспечивается.

Энергия, которая выделяется в ОПН, установленном у конденсаторной батареи, может быть значительной и определяется:

- величиной емкости батареи;
- возможностью возникновения повторных пробоев в межконтактном промежутке выключателя.

Проведение расчетов необходимо, главным образом, с целью правильного выбора энергоемкости ОПН ($W_{уд}$), обеспечивающей его надежную работу в режиме ограничения коммутационных перенапряжений. Остальные характеристики ОПН могут быть определены упрощенно.

Защита от грозовых перенапряжений изоляции ВЛ 6-35 кВ

В силу сравнительно невысокой импульсной прочности изоляция ВЛ 6-35 кВ достаточно часто перекрывается даже от индуцированных грозовых перенапряжений, вызванных ударами молнии вблизи от ВЛ (тем более такая изоляция перекрывается при прямых ударах молнии в ВЛ).

Установка ОПН на опорах ВЛ 6-35 кВ для защиты ее изоляции от грозовых перенапряжений является особым случаем использования ОПН, так как наиболее часто ОПН все же применяются в распределительных устройствах станций и подстанций.

Подвесные ограничители перенапряжений ОПН 6-35 кВ устанавливаются на опорах ВЛ 6-35 кВ параллельно гирляндам линейных изоляторов, т.е. между фазным проводом и траверсой опоры.

На основе ряда расчетов, проведенных для ВЛ 6-35 кВ, сделаны следующие обобщающие рекомендации относительно мест установки ОПН:

- для эффективной защиты изоляции всей ВЛ от грозовых перенапряжений необходима установка ОПН на каждой опоре (или через опору);
- для эффективной защиты изоляции отдельных опор ВЛ от грозовых перенапряжений необходима установка ОПН только на этих опорах;
- для исключения перекрытий изоляции на одноцепной опоре необходима установка ОПН сразу во все фазы на опоре;
- для исключения двухцепных перекрытий изоляции на двухцепных опорах установка ОПН достаточна только в фазы одной из цепей.

Система молниеотводов исключает прямые удары молнии в оборудование распределительных устройств, а значит и в установленные там ОПН. В случае установки ОПН на опорах ВЛ становятся возможными прямые удары молнии в ОПН, т.е. существует реальный риск выхода из строя этих защитных аппаратов. Особенно такой риск велик в случае установки ОПН на

ВЛ, не оснащенных грозозащитным тросом, так как в этом случае значительная часть ударов молнии в ВЛ приходится не на заземленный грозозащитный трос, а в фазные провода, т.е. фактически непосредственно в ОПН.

Снижение риска повреждения ОПН 6-35 кВ в случае их применения на воздушных линиях 6-35 кВ достигается:

- совместным применением ОПН с грозозащитными тросами;
- выбором ОПН повышенной энергоемкости с допустимым для него импульсом большого тока (импульс 4/10 мкс) амплитудой 100 кА;
- увеличением числа опор ВЛ, на которых установлены ОПН, так как это приводит к снижению выделяющейся энергии в каждом аппарате за счет рассеивания энергии разряда молнии не в одном ОПН, а в большом количестве работающих параллельно аппаратов.

Конкретное значение энергоемкости ОПН для ВЛ 6-35 кВ зависит от многих факторов (например, от наличия грозотроса) и должно определяться на основе расчетов. В частности, применение ОПН на ВЛ 6-35 кВ без тросовой защиты не рекомендуется, если энергоемкость ОПН менее $W_{уд} = 4$ кДж/кВ (приведено к $U_{нр0}$). Остальные характеристики ОПН могут быть определены упрощенно.

Защита от перенапряжений сетей генераторного напряжения

Выбор ОПН для защиты изоляции генераторов, а также другого оборудования сетей генераторного напряжения традиционно рассматривается отдельно. С одной стороны, это вызвано высокой стоимостью и ответственностью защищаемого оборудования, а с другой – необходимостью учета при выборе характеристик ОПН особенностей установленных на генераторах регуляторов возбуждения.

Защита от перенапряжений изоляции «экран-земля» однофазных кабелей высокого напряжения

В последнее время силовые кабели высокого напряжения 6-500 кВ все более широко используются для передачи и распределения электроэнергии, особенно в крупных городах и на промышленных предприятиях, где уровень электропотребления и плотность нагрузки весьма значительны. Наибольшее распространение получают силовые однофазные кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Экраны кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена выполнены из хорошо проводящего материала (алюминия или меди); заземление экранов более чем в одной точке ведет к появлению в них значительных токов, сопоставимых с током жилы кабеля. Если по условиям ограничения напряжения на экране обязательно его заземление в нескольких точках, то для снижения токов в экранах при трехфазной группе однофазных кабелей может быть применена транспозиция экранов.

Установка ОПН класса 3-35 кВ между экраном и землей для защиты изоляции «экран-земля» от грозовых и коммутационных перенапряжений необходима:

- на том конце том конце кабеля, на котором экран не заземлен (рис.2);
- если применена транспозиция экранов трехфазной группы кабелей, то в каждом узле транспозиции (рис.3).

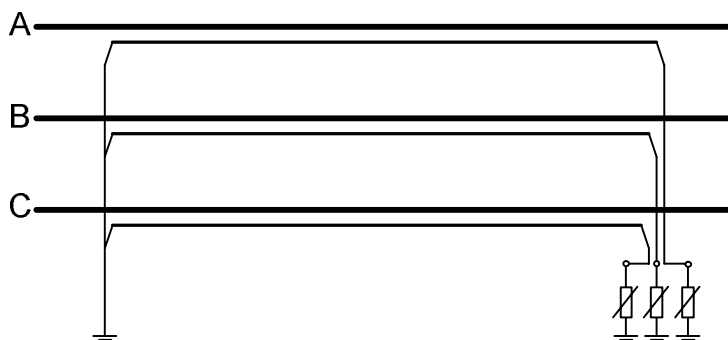


Рис.2. Схема соединения экранов группы из трех однофазных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена в случае, когда экран заземлен только с одной стороны.

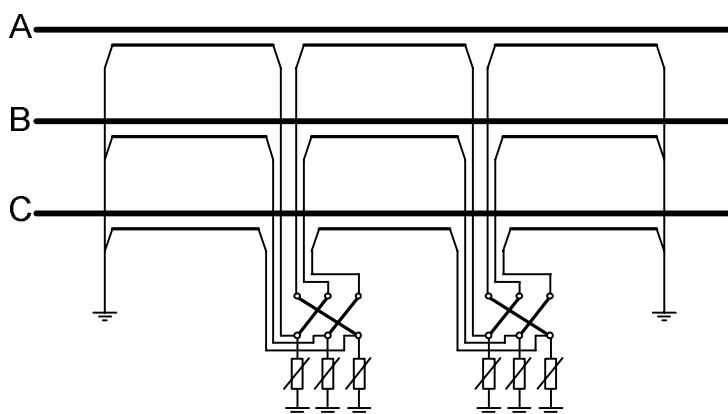


Рис.3. Схема соединения экранов группы из трех однофазных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена в случае, когда экран заземлен с двух сторон и применен один цикл транспозиции экранов.

Характеристики ограничителя перенапряжений, предназначенного для защиты изоляции экрана кабеля, должны выбираться исходя из двух основных критериев:

- обеспечения надежной защиты изоляции экрана при грозовых и коммутационных перенапряжениях;
- обеспечения надежной работы самого ОПН при квазистационарных перенапряжениях в месте его установки как в нормальном режиме, так и в аварийном режиме короткого замыкания вне кабеля.

Проведение расчетов необходимо с целью выбора наибольшего рабочего напряжения ОПН ($U_{НРО}$), которое определяется напряжением на изоляции «экран-земля» однофазных кабелей (см. журнал «Электро-Info», март 2007 г.). Нормальный длительно существующий симметричный режим и режим короткого замыкания (однофазного, двухфазного, двухфазного на землю,

трехфазного) в сети вне кабеля, длительность существования которого определяется релейной защитой и не превосходит нескольких секунд, а также характеристика «напряжение-время» ОПН являются основой для выбора наибольшего рабочего напряжения $U_{нрО}$.

Если для выбранного ОПН остающееся напряжение $U_{8/20}$ при расчетном грозовом токе (форма 8/20 мкс) составляет не более чем 0.9 от импульсной прочности $U_{исп}^{ГРОЗ}$ изоляции экрана при грозовых перенапряжениях, то выбор ОПН произведен правильно. Если напряжение $U_{8/20}$ выше импульсной прочности изоляции экрана $U_{исп}^{ГРОЗ}$, то необходимо изменять число циклов транспозиции и/или мест заземления экранов, что позволяет применять ОПН с меньшим рабочим напряжением $U_{нрО}$ и, соответственно, меньшими остающимися напряжениями. Остальные характеристики ОПН могут быть определены упрощенно.

Защита от перенапряжений в сетях с повышенным содержанием гармоник

Среди сетей с повышенным содержанием гармоник в качестве примера можно рассмотреть случай, когда ОПН устанавливается для защиты двигателя, оснащенного системой частотного пуска.

Выбор наибольшего рабочего напряжения ОПН (и других его характеристик) при наличии в сети высших гармоник является сложной задачей, не имеющей обоснованного решения.

Защита от перенапряжений в сетях с резистивно-заземленной нейтралью

В сетях с резистивно-заземленной нейтралью величина резистора выбирается в зависимости от решаемых задач:

- снижения дуговых и феррорезонансных перенапряжений;
- обеспечение селективности работы релейной защиты по поиску поврежденного присоединения.

В первом случае величина резистора выше, чем во втором, и поэтому в первом случае говорят о высокоомном заземлении нейтрали. Резистор, выбранный во втором случае исходя из обеспечения селективности работы релейной защиты, одновременно позволяет снизить до безопасного уровня дуговые и феррорезонансные перенапряжения, т.е. позволяет решать сразу две задачи.

Выбор наибольшего рабочего напряжения ОПН 6-35 кВ в сетях, имеющих резистивное заземление нейтрали, должен проводиться на основе расчетов с учетом величины резистора и максимальной длительности существования режима однофазного замыкания на землю. Остальные характеристики ОПН могут быть определены упрощенно.

ОСОБЫЕ СЛУЧАИ ПРИМЕНЕНИЯ ОПН В СЕТЯХ 110-750 кВ

В сетях 110-750 кВ места установки и характеристики ОПН допустимо определять упрощенно за исключением особых случаев, перечисленных ниже и требующих проведения расчетов (аналитических или с использованием компьютерного моделирования процессов).

РУ с присоединенными ВЛ 500-750 кВ длиной более 200-300 км

Проведение расчетов внутренних перенапряжений на ВЛ 500-750 кВ длиной более 200-300 км и в РУ 500-750 кВ, к которым эти ВЛ присоединены, необходимо с целью:

- определения квазистационарных перенапряжений и оценки их опасности для оборудования и, в частности, для ОПН;
- определения комплекса мер, направленных на снижение квазистационарных перенапряжений в тех случаях, когда они представляют реальную опасность для оборудования; например, такие опасные перенапряжения резонансной природы могут возникать в цикле ОАПВ на отключенной фазе линии «резонансной» длины, зависящей от числа присоединенных к ней шунтирующих реакторов;
- определения энергии, которая выделяется в ОПН при коммутационных перенапряжениях.

Расчеты внутренних перенапряжений, которые можно провести аналитически или с использованием компьютерного моделирования, являются основой для выбора характеристик ОПН ($U_{нро}$, $W_{уд}$), устанавливаемых на ВЛ 500-750 кВ (например, в непосредственной близости от входа РУ для защиты оборудования от грозовых перенапряжений).

Блочные и полублочные передачи 110-750 кВ

Схемами, в которых возможно возникновение опасных внутренних перенапряжений, являются так называемые блочные и полублочные передачи, в которых воздушная линия коммутируется в блоке с силовым трансформатором или автотрансформатором. В проектной практике следует избегать блочных и полублочных схем как опасных для оборудования и, в частности, для ОПН, однако ряд таких электропередач уже эксплуатируется и требует проведения расчетов в рамках замены устаревших вентильных разрядников на ОПН.

Проведение внутренних перенапряжений в блочных и полублочных передачах необходимо с целью:

- определения квазистационарных перенапряжений и оценки их опасности для оборудования и, в частности, для ОПН;
- определения комплекса мер, направленных на снижение квазистационарных перенапряжений в тех случаях, когда они представляют реальную опасность для оборудования;
- определения энергии, которая выделяется в ОПН при коммутационных перенапряжениях.

Следует понимать, что в блочных и полублочных передачах наибольшее рабочее напряжение ОПН, обеспечивающее его надежную эксплуатацию при квазистационарных перенапряжениях, может оказаться заметно выше фазного значения наибольшего рабочего напряжения сети, т.е. такой ОПН в ряде случаев будет неэффективно ограничивать грозовые и коммутационные перенапряжения на оборудовании.

В качестве примера на рис.4 приведена достаточно редко встречающаяся схема блочной передачи 750/500 кВ, в которой воздушная линия 500 кВ может коммутироваться в блоке с автотрансформатором 750кВ/500кВ выключателями 750 кВ.

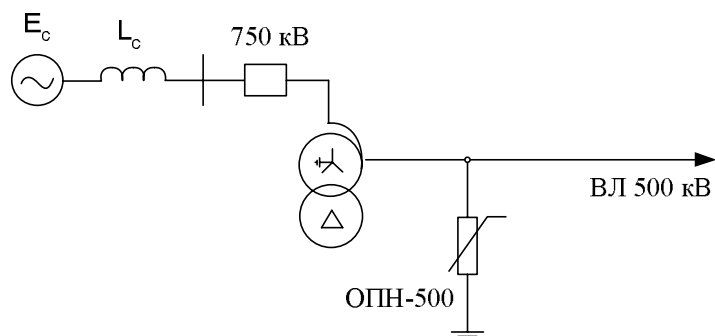


Рис.4. Схема блочной передачи 750/500 кВ.

Значительно более распространенными являются полублочные передачи 110-220 кВ (рис.5), в которых понижающие трансформаторы (110-220)/(6-10) кВ не имеют собственных выключателей 110-220 кВ и коммутируются в блоке с питающими ВЛ 110-220 кВ – это, как правило, тупиковые подстанции, транзитные подстанции, подстанции на отпайках, питаемые по ВЛ 110-220 кВ длиной до 40-50 км. Нейтрали трансформаторов 110-220 кВ на таких подстанциях зачастую разземлены.

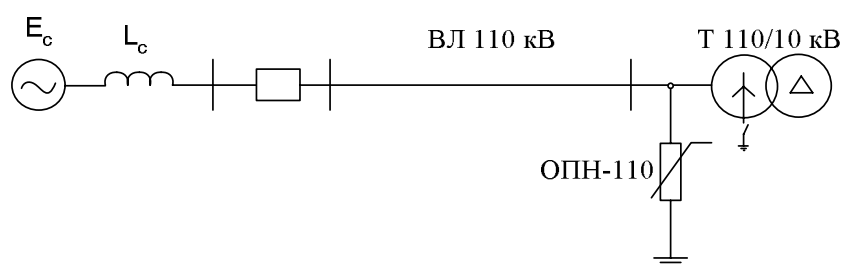


Рис.5. Пример полублочной передачи 110 кВ.

Основные характеристики ОПН для полублочных передач 110-220 кВ, определенные расчетным путем и проверенные опытом эксплуатации, таковы:

- наибольшее рабочее напряжение ОПН 110-220 кВ принимается на 20% выше наибольшего рабочего (фазного) напряжения сети;
- остальные характеристики ОПН могут быть определены упрощенно.

Электропередачи, оснащенные устройствами продольной компенсации

Проведение расчетов внутренних перенапряжений в схемах с устройствами продольной компенсации (УПК) необходимо с целью:

- определения квазистационарных перенапряжений (в том числе в режиме короткого замыкания, когда токи короткого замыкания могут создавать значительное падение напряжения частоты 50 Гц на емкости УПК);
- определения энергии, которая выделяется в ОПН при коммутационных перенапряжениях.

Расчеты внутренних перенапряжений являются основой для выбора характеристик ОПН ($U_{нро}$, $W_{уд}$), устанавливаемых для защиты УПК.

Схемы электроснабжения тяговых подстанций переменного тока 27.5 кВ от сетей 110-220 кВ

Рекомендации по выбору характеристик ОПН 110-220 кВ, устанавливаемых на стороне 110-220 кВ тяговых подстанций (ТПС) однофазного тока промышленной частоты 27.5 кВ, а также способы снижения риска повреждения этих ОПН приведены в журнале «Энергетик» №12 за 2006 год.

Эти исследования позволили с новых позиций обосновать необходимость проявления повышенного внимания к вопросам электроснабжения электрифицированных железных дорог от высоковольтных сетей общего назначения и сделать ряд важных выводов:

- В типовых схемах питания тяговых подстанций переменного тока 27.5 кВ в случае возникновения короткого замыкания на питающих воздушных линиях с их последующим отключением выделяется участок сети с изолированной нейтралью, что является нарушением требований ПУЭ.
- Наличие присоединенного к ТПС выделенного участка питающей сети с изолированной нейтралью при определенных обстоятельствах приводит к «обратной трансформации» на него напряжения из контактной сети 27.5 кВ, что вызывает в ряде случаев опасные для изоляции оборудования квазистационарные и коммутационные перенапряжения.
- Для исключения повреждений оборудования в схемах питания тяговых подстанций переменного тока 27.5 кВ рекомендуется:
 - по возможности заземлять нейтрали силовых трансформаторов на ТПС;
 - заменить вентильные разрядники 110-220 кВ на нелинейные ограничители перенапряжений, наибольшее рабочее напряжение которых $U_{нро}$ на 20% больше фазного значения наибольшего рабочего напряжения сети, а удельная поглощаемая энергия одного импульса $W_{уд} \geq 4$ кДж/кВ (приведено к $U_{нро}$);

- обеспечить координацию действий релейных защит электрических сетей общего назначения и системы электроснабжения электрифицированных железных дорог;
- при коротком замыкании в питающей сети отключать рабочий трансформатор ТПС от тяговой сети 27.5 кВ (например, выключателем на стороне 27.5 кВ) до выделения изолированного участка питающей сети 110-220 кВ.

Перечисленные меры обладают различной эффективностью и возможностью реализации.

Защита от грозовых перенапряжений изоляции ВЛ 110-750 кВ

В ряде случаев в силу объективных причин (высокие значения сопротивления заземления опор ВЛ из-за высокого удельного сопротивления грунта, невозможность применения грозозащитных тросов из-за высоких ветро-гололедных нагрузок и т.п.) традиционные средства грозозащиты не могут обеспечить необходимую грозоупорность ВЛ. Тогда дополнительным - дорогим, но эффективным - способом повышения грозоупорности ВЛ может стать установка ОПН на опорах ВЛ для защиты ее изоляции от перекрытий.

Подвесные ограничители перенапряжений ОПН 110-750 кВ устанавливаются на опорах ВЛ 110-750 кВ параллельно гирляндам линейных изоляторов, т.е. между фазным проводом и траверсой опоры. При этом используются два способа подключения ОПН:

- без искрового промежутка;
- через искровой промежуток (не путать с вентильным разрядником).

На основе ряда расчетов, проведенных для ВЛ 110-750 кВ, сделаны следующие обобщающие рекомендации относительно мест установки ОПН:

- для эффективной защиты изоляции всей ВЛ от грозовых перенапряжений необходима установка ОПН на каждой опоре (или через опору);
- для эффективной защиты изоляции отдельных («проблемных») опор ВЛ от грозовых перенапряжений необходима установка ОПН только на этих опорах;
- для снижения числа грозовых отключений, вызванных прорывами молнии на фазные провода, наиболее эффективно устанавливать защитные ОПН в верхние фазы (при вертикальном расположении или расположении проводов в «треугольник») и в крайние фазы (при горизонтальном расположении проводов);
- для снижения числа грозовых отключений, вызванных обратными перекрытиями изоляции с опоры на фазные провода, установка ОПН наиболее эффективна в крайние фазы ВЛ с горизонтальным расположением проводов, а на ВЛ с иным расположением проводов – в зависимости от сопротивлений заземления опор (при малых сопротивлениях заземления – в верхние фазы, а при больших сопротивлениях заземления – в нижние фазы);

- для исключения перекрытий изоляции на одноцепной опоре необходима установка ОПН сразу во все фазы на опоре;
- для исключения двухцепных перекрытий изоляции на двухцепных опорах установка ОПН достаточна только в фазы одной из цепей.

При установке ОПН на ВЛ 110-750 кВ важнейшим является вопрос о выборе его энергоемкости $W_{уд}$, которая существенно зависит от следующих факторов:

- от вероятности прорыва молнии на фазный провод, на котором установлен ОПН, а также от параметров этой молнии;
- от сопротивления заземления опоры ВЛ, на которой установлен(ы) ОПН;
- от числа фаз ВЛ на опоре, в которые установлены ОПН;
- от наличия ОПН, расположенных в той же фазе на соседних опорах;
- от типа ОПН (с искровым промежутком или без него).

Определение энергоемкости ОПН в каждом конкретном случае производится по результатам расчетов.

Наибольшее рабочее напряжение ОПН ($U_{нрО}$), устанавливаемых на ВЛ 110-750 кВ, зависит от типа ОПН (с искровым промежутком или без него). В случае ОПН без искрового промежутка наибольшее рабочее напряжение ОПН выбирается как в типовых случаях (или как в особых случаях, если есть их признаки: большая длина ВЛ, возможность коммутации ВЛ одновременно с трансформатором, другие признаки). В случае ОПН с искровым промежутком рабочее напряжение ОПН выбирается исходя из условий обеспечения надежного гашения дуги от тока промышленной частоты, который протекает в промежутке после его срабатывания от грозových перенапряжений.

На ВЛ 110-750 кВ рекомендуется устанавливать ОПН 110-750 кВ с применением отделителей, включаемых последовательно с ОПН и обеспечивающих отсоединение ограничителя перенапряжений в случае его повреждения.

Защита от перенапряжений КРУЭ 110-750 кВ

Вольт-секундная характеристика элегазовой изоляции существенно отличается от вольт-секундной характеристики воздушной и бумажно-масляной. У элегазовой изоляции нет упрочнения изолирующих свойств при малых временах воздействия перенапряжений. Поэтому для оборудования распределительных устройств с элегазовой изоляцией (КРУЭ) основную опасность представляют гроззовые перенапряжения (микросекундные фронты) и высокочастотные перенапряжения (наносекундные фронты).

Источником гроззовых перенапряжений является поражение молнией присоединенных воздушных линий. Источником высокочастотных – коммутации разъединителями и выключателями коротких участков шин внутри КРУЭ. Эти перенапряжения являются не спецификой отдельных случаев использования КРУЭ, а следствием свойств самого КРУЭ, его конструкции.

Защита от этого вида перенапряжений предусматривается изготовителем КРУЭ.

Выбор защиты от грозовых (и коммутационных) перенапряжений КРУЭ (а также присоединенных к нему силовых и измерительных трансформаторов, кабелей) осуществляется на стадии проектирования. В качестве защитных аппаратов применяются ОПН обычного типа (с воздушной изоляцией) или ОПН с элегазовой изоляцией (сокращенно ОПНЭ).

В случае защиты КРУЭ от перенапряжений необходимо проведение оценок и расчетов, которые позволят решить следующие задачи:

- принимая во внимание высокую стоимость КРУЭ, обосновать места установки ОПН, обеспечивающие надежную защиту изоляции КРУЭ от грозовых и коммутационных перенапряжений;
- выбрать тип защитного аппарата (ОПН или на порядок более дорогой ОПНЭ);
- выбрать характеристики ОПН и/или ОПНЭ.

Выбор характеристик ОПН и ОПНЭ, устанавливаемых для защиты КРУЭ, производится как в типовых случаях (или как в особых случаях, если есть их признаки: большая длина ВЛ, возможность коммутации ВЛ одновременно с трансформатором, другие признаки).

Защита от перенапряжений разземляемой нейтрали 110-220 кВ

В связи с развитием энергосистем увеличиваются токи короткого замыкания, что приводит к росту динамических воздействий на обмотки трансформаторов, утяжелению работы коммутирующей аппаратуры. Частичное разземление нейтралей силовых трансформаторов 110-220 кВ применяется в качестве эффективной меры ограничения токов однофазного короткого замыкания, которые составляют основную долю в общем числе коротких замыканий. Кроме того, разземление нейтралей силовых трансформаторов в ряде случаев способствует организации релейной защиты.

Разземление нейтрали силового трансформатора приводит к необходимости защиты изоляции нейтрали от воздействующих на нее в процессе эксплуатации грозовых (и коммутационных) перенапряжений, для чего в нейтраль устанавливаются специальные ОПН, обозначаемые ОПНН.