

Aleksiej KOSJAKOW

Оценка влияния конструкции заземляющего устройства подстанции на напряжение кондуктивных помех от токов молнии

Реферат

В статье описаны способы обеспечения электромагнитной совместимости при ударах молнии в молниеотводы подстанции. Предложена новая конструкция двухуровневого заземляющего устройства, обеспечивающая минимизацию напряжения кондуктивных помех на портах микропроцессорного оборудования при ударах молнии.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на электрических подстанциях применяется большое количество микропроцессорных устройств релейной защиты, автоматики, связи, помехоустойчивость которых к электромагнитным помехам на несколько порядков ниже, чем у традиционно применяемого электромеханического вторичного оборудования. Вследствие этого, во все технические задания на проектирование современных подстанций включаются требования по обеспечению электромагнитной совместимости (ЭМС), в процессе эксплуатации подстанций выполняется обследование электромагнитной обстановки [1].

Электромагнитная совместимость обеспечивается выбором микропроцессорных устройств, у которых уровень помехоустойчивости превышает уровень соответствующей электромагнитной помехи на объекте, определяемой расчетным путем при оценке электромагнитной обстановки (ЭМО).

Электромагнитная совместимость обеспечивается, в первую очередь, основными мероприятиями [2, 3, 4], к которым относятся компоновочные решения в распределительном устройстве и конструкция заземляющего устройства (ЗУ).

Как правило, типовые проектные решения по заземляющим устройствам, разработанные до появления на подстанциях микропроцессорного оборудования релейной защиты, автоматики, связи, не обеспечивают электромагнитную совместимость микропроцессорного оборудования, потому заземляющее устройство для каждой подстанции проектируется индивидуально, с учётом требований электромагнитной совместимости.

Из всех видов электромагнитных воздействий значительные проблемы возникают при обеспечении электромагнитной совместимости микропроцессорного оборудования к кондуктивным помехам от токов, растекающихся по заземляющему устройству при ударе молнии в молниеприёмники подстанции.

Целью настоящей работы является определение оптимальной конструкции заземляющего устройства подстанции, обеспечивающего электромагнитную совместимость вторичного оборудования при ударах молнии.

1. ТИПОВЫЕ ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ЗАЗЕМЛЯЮЩЕМУ УСТРОЙСТВУ ПОДСТАНЦИИ

Типовое проектное решение по заземляющему устройству (ЗУ) подстанции включает контурный заземлитель, выполненный в виде сетки из горизонтальных заземляющих

электродов, дополненных вертикальными заземляющими электродами [1].

Основные требования к конструкции ЗУ приведены в Правилах устройства электроустановок, в соответствии с которым заземляющее устройство должно конструироваться либо по величине сопротивления заземляющего устройства (не более 0,5 Ом), либо по напряжению прикосновения (65 В на рабочих местах). Выполнение этих требований нацелено на обеспечение, в первую очередь, электробезопасности персонала объекта электроэнергетики.

Конструкция ЗУ разрабатывается индивидуально для каждого объекта, а её эффективность проверяется проведением комплекса расчётов и измерений.

Помимо требований электробезопасности конструкция ЗУ должна обеспечивать:

- термостойкость экранов контрольных кабелей, в случае заземления их по обоим концам при коротких замыканиях (КЗ), посредством выравнивания потенциала на электродах ЗУ;
- выравнивание разности потенциалов при КЗ между портом микропроцессорного устройства и корпусом оборудования на открытом распределительном устройстве (ОРУ) при КЗ;
- ослабление помех, обусловленных растеканием токов молнии по ЗУ.

Обеспечить термическую стойкость экранов и выравнивание разности потенциалов между портом микропроцессорного устройства и корпусом оборудования на ОРУ оказывается наиболее эффективно за счёт выполнения более частой сетки ЗУ, однако не во всех случаях это возможно и необходимо.

Ослабление помех вызванных разрядом молнии, в отдельных случаях встречает значительные затруднения, так как падение напряжения импульсной помехи в процессе растекания тока молнии по электродам ЗУ приводит к большой разности импульсных потенциалов между точками ЗУ. Причиной тому являются импульсные характеристики разряда молнии (по СО 153-34.21.122-2003 амплитуда 100 кА, длительность фронта 10 мкс, время полуспада 350 мкс), что приводит к большому падению напряжения на индуктивном сопротивлении заземлителей.

Степень неравномерности распределения потенциала на ЗУ при разряде молнии показана ниже на примере ПС 220 кВ Анна (Пермский край) со следующими показателями:

- площадь 120x150 м²;
- шаг сетки ЗУ составляет 10 м;
- сопротивление верхнего слоя грунта 20 Ом*м;
- сопротивление нижнего слоя грунта 50 Ом*м;

– глубина раздела слоёв грунта 4 м.

При разряде молнии в молниеотвод, как показано на рис. 1, возникает большой потенциал на ЗУ в месте разряда молнии, быстро убывающий по мере удаления от молниеотвода.

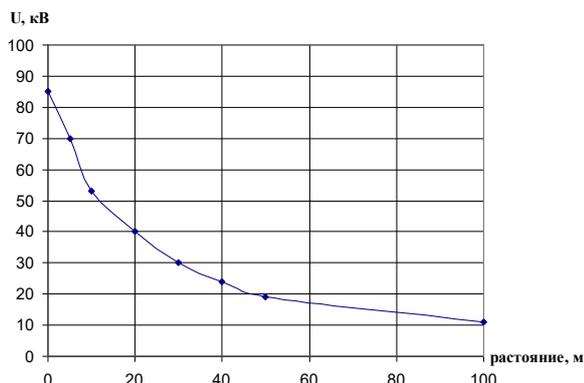


Рис. 1. Распределение потенциала на ЗУ при разряде молнии

Амплитуда потенциала от тока молнии зависит от величины удельного электрического сопротивления грунта и конструкции ЗУ. Чем сопротивление грунта меньше, тем меньше импульсный потенциал на молниеотводе. На рис. 2 показана зависимость разности потенциалов между молниеотводом и фиксированной точкой на ОРУ от расстояния.

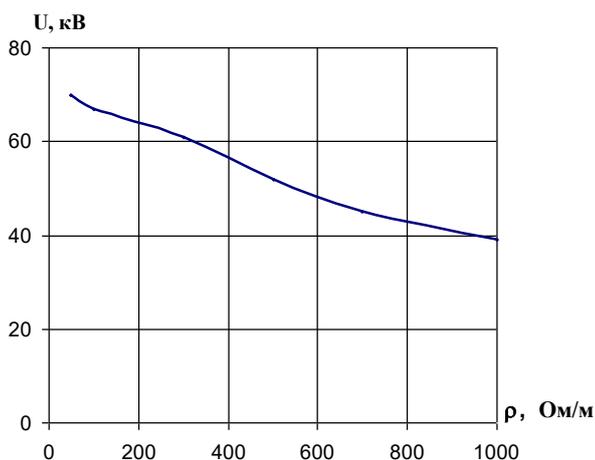


Рис. 2. Зависимость разности потенциалов между молниеотводом и фиксированной точкой на ОРУ от сопротивления грунта при разряде молнии

Разность потенциалов между оборудованием ОРУ и общеподстанционного пункта управления (ОПУ) в проиллюстрированном на рис. 1 примере достигает 30 кВ, тогда как порты микропроцессорного устройства испытываются на импульсный потенциал помехи 4 кВ (четвёртый уровень помехоустойчивости). Для снижения разности потенциалов необходимо улучшать растекание тока молнии по электродам ЗУ за счёт выполнения более частой сетки ЗУ. Однако, в некоторых случаях молниеотводы расположены в центральной части ОРУ рядом с оборудованием, что приводит к попаданию потенциала на корпуса оборудования ОРУ по коротким электродам ЗУ по наикратчайшему пути.

Эта разность потенциалов может быть опасной для микропроцессорных устройств. Существует два механизма опасного импульсного воздействия на микропроцессорные устройства:

- опасный потенциал с корпуса измерительного трансформатора на ОРУ через заземлённую вторичную обмотку фазы «В» попадает в измерительные цепи, идущие контрольным кабелем в ОПУ, где прикладывается к порту микропроцессорного устройства, на корпусе которого потенциал значительно меньше;
- с корпуса оборудования ОРУ (например, выключателя или разъединителя) может произойти перекрытие на клеммнике или просто произойти пробой изоляции кабеля. И далее потенциал попадает на порт микропроцессорного устройства.

Типовые проектные решения по заземляющему устройству подстанции не позволяют снизить потенциал кондуктивных помех до допустимого уровня 4 кВ.

2. ЗАЗЕМЛЯЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ПОДСТАНЦИИ С РАЗРЫВАМИ У МОЛНИЕОТВОДОВ

Для предотвращения занесения опасного импульсного потенциала на оборудование, при проектировании заземляющего устройства можно выполнить разрывы в сетке ЗУ, как показано на рис. 3, между молниеотводом и заземляющими проводниками оборудования с целью увеличить путь тока молнии. Разрывы в сетке ЗУ выполняются таким образом, чтобы минимальное расстояние по электродам ЗУ от молниеотвода до заземляющих проводников оборудования ОРУ было не менее 60 м. Для вышеприведённого примера разность потенциалов (между оборудованием ОРУ и ОПУ) составит 10 кВ.

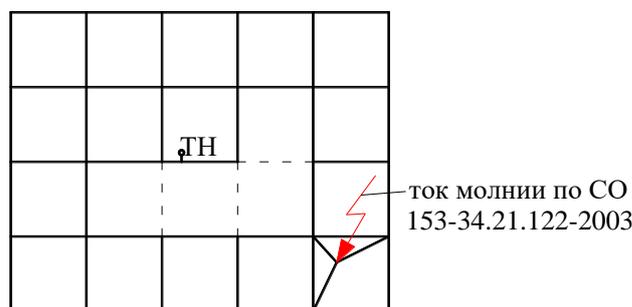


Рис. 3. Выполнение разрывов в ЗУ между оборудованием и молниеотводом (места разрыва сетки ЗУ показаны пунктиром)

Однако при расположении молниеотводов в центральной части ОРУ или на объектах малой площади выполнение разрывов технически невозможно. Кроме того, при этом нарушается равномерность сетки ЗУ, что входит в противоречие с задачей выравнивания потенциала на электродах ЗУ при КЗ.

3. ДВУХЪЯРУСНОЕ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ПОДСТАНЦИИ

В ходе поиска путей преодоления указанного выше противоречия автором статьи предложено новое решение – двухъярусное ЗУ [5].

Двухъярусное ЗУ позволяет решать задачу выравнивания потенциалов при КЗ и задачу снижения кондуктивно заносимого импульсного потенциала молнии на корпус оборудования практически независимо друг от друга, а это повышает свободу проектировщика в выборе компоновочных решений, особенно

при повышенных требованиях к компактности объекта или плохих грунтах.

Сущность изобретения заключается в том, что все заземляющие спуски молниеотводов заземляются на нижний ярус, тогда как оборудование подстанции заземляется на верхний ярус (рис. 4).

Оба яруса соединяются между собой в нескольких точках, наиболее удалённых от молниеотводов и заземляющих спусков оборудования. При соединении ярусов ЗУ сопротивление растеканию тока КЗ существенно не снижается, так как площадь территории распределительного устройства не изменяется, однако существенно снижается импульсное сопротивление току молнии. Пришедший с нижнего яруса на верхний ярус импульсный потенциал распределяется равномернее, так как путь тока молнии увеличился. Таким образом, разность импульсная потенциалов между корпусом оборудования на ОРУ и корпусом оборудования в ОПУ будет минимальная.

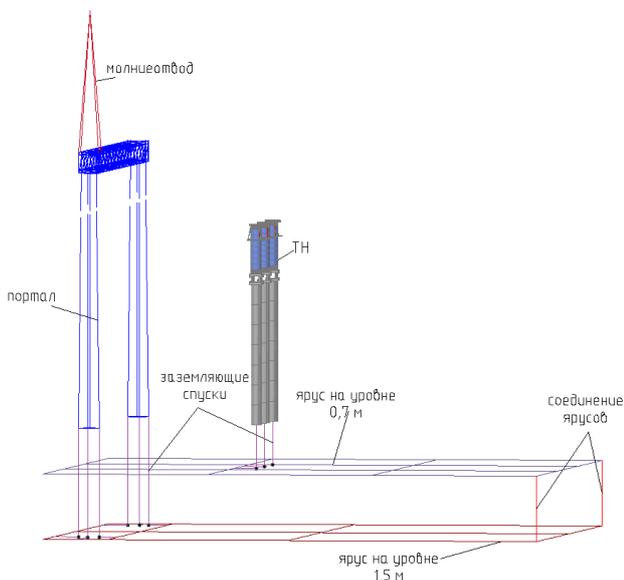


Рис. 4. Общий вид двухъярусного заземляющего устройства

Расчёты показали, что даже при условии выполнения среднего шага сетки ЗУ нижнего яруса в несколько раз большим, чем у первого яруса, потенциал, занесённый на верхний уровень ЗУ (к оборудованию), оказывается значительно меньше, чем при организации разрывов в сетке ЗУ за счёт удлинения пути тока до оборудования. Вследствие этого, разность потенциалов между заземляющими проводниками оборудования и ОПУ будет значительно меньше в сравнении с традиционным исполнением заземляющего устройства.

Особенностью расчётов двухъярусного заземляющего устройства является то, что при больших значениях удельного сопротивления грунта необходимо проверять условие обратного перекрытия через грунт со второго яруса на первый.

- Двухъярусное ЗУ эффективно применять для подстанций:
- с ограниченной площадью;
 - с молниеотводами, расположенными в центральной части;
 - с высоким значением удельного сопротивления грунта.

Впервые данное решение применено в проекте ПС 220 кВ Анна (Пермский край). Специалистами института «Уралэнергосетьпроект» сконструировано двухъярусное ЗУ со средним шагом сетки второго яруса 20 м, размещённого на глубине 1,5 м (ярусы соединены в 4 точки), конструкция

которого позволила снизить импульсную разность потенциалов, приложенную к порту микропроцессорного оборудования, с 30 кВ (при отсутствии разрывов) до допустимых 4 кВ.

Оценка эффективности двух методов снижения кондуктивных импульсных помех на рассматриваемой подстанции приведена на рис 5.

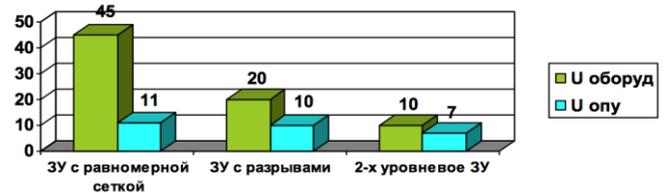


Рис. 5. Оценка эффективности снижения кондуктивных импульсных помех при ударах молнии за счёт изменения конструктивных решений по заземляющему устройству

При проведении реконструкции объекта (в отличие от нового строительства) обеспечить допустимую ЭМО на всей подстанции, как правило, очень сложно. Все подстанции условно можно разделить на две группы: это подстанции с молниеотводами, установленными по периметру, и подстанции, в которых большое количество молниеотводов, часть из которых расположена в центральной части ОРУ в непосредственной близости к оборудованию.

В первом случае удаётся добиться требуемой ЭМО, изменяя конфигурацию ЗУ, за счёт прокладки и демонтажа электродов ЗУ. Тем самым можно обеспечить допустимую длину пути тока молнии до оборудования, чтобы снизить потенциал в требуемых точках до нормируемых значений.

Во втором случае увести ток молнии (потенциал) от оборудования из-за близкого расположения с молниеотводами невозможно. Как видно на рис. 4, наиболее эффективное решение – сооружение двухъярусного ЗУ, что возможно в том числе и при реконструкции подстанции.

ВЫВОДЫ

Таким образом, применение предложенного двухъярусного ЗУ имеет следующие преимущества:

- эффективная защита микропроцессорных устройств от импульсных перенапряжений при разряде молнии;
- свобода в выборе компоновочных решений на территории подстанции, в частности, при расположении молниеотводов на расстоянии до оборудования и кабельных каналов менее нормируемых, что позволяет сократить площадь под территорию подстанции.

Недостатком двухъярусного ЗУ является то, что оно увеличивает расход металла и создаёт технологические сложности для прокладки заземлителей на глубине 1,5 м, поэтому его применение требует обоснования для каждого конкретного объекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.240.10.028-2009, *Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС)*. ОАО «Институт «Энергосетьпроект», Москва 2009.
2. Kosjakow A.A., *Projektowanie kompatybilności elektromagnetycznej na podstacjach 110-500 kV*. PRad, Radom 2010.

3. Kosjakow A.A., System zapewnienia kompatybilności elektromagnetycznej w zakładach energetycznych. Logistyka Nauka 2014, nr 6.
4. Kosjakow A.A., Kompatybilność elektromagnetyczna na podstacjach trakcyjnych prądu zmiennego. Technika Transportu Szynowego 2015, nr 12.
5. Косяков А.А., Стенников Д.Е., Липаткин В.А., Двухъярусное заземляющее устройство. Патент Российской Федерации №2391757. Бюллетень изобретений 2010, №16.

Ocena wpływu konstrukcji uziemienia podstacji na napięcie zakłóceń przewodowych powstałych od prądów piorunowych

Streszczenie

Artykuł opisuje sposoby zapewnienia kompatybilności elektromagnetycznej podczas uderzeń pioruna w piorunochrony podstacji. Przedstawiona jest nowa konstrukcja dwupoziomowego uziemienia, która minimalizuje napięcie zakłóceń przewodowych na portach sprzętu mikroprocesorowego podczas wyładowań atmosferycznych (uderzeń pioruna).

Autor:

dr inż. **Aleksiej Kosjakow** – Uralski Państwowy Uniwersytet Transportu Kolejowego, Jekaterynburg, Rosja