

Р.К.БОРИСОВ, канд. техн. наук, вед. науч. сотр., МЭИ (ТУ), Москва, Россия

О ВЫНОСЕ ВЫСОКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРИ КОРОТКОМ ЗАМЫКАНИИ НА ЗЕМЛЮ НА ПИТАЮЩЕМ ЦЕНТРЕ

У статті розглянуті заходи щодо зниження числа відключень споживачів електроенергії в грозовий сезон і часу відновлення електропостачання в розподільних електричних мережах.

The paper describes measures to decrease number of consumer power tripping during thunder season and to decrease power consumption recovery time in distribution power network.

В статье рассмотрены мероприятия по снижению числа отключений потребителей электроэнергии в грозовой сезон и времени восстановления электроснабжения в распределительных электрических сетях.

Развитие энергосистем сопровождается ростом токов короткого замыкания в сетях напряжением 110 кВ и выше. Напряжение на заземляющем устройстве подстанций соответственно также возрастает. В связи с этим возникает опасность выноса высокого потенциала в сети 0,4 кВ к потребителю электроэнергии, что приводит к нарушению условий электробезопасности и надежной работы электроприборов.

В распределительных сетях (РС) к питающим центрам (ПЦ) относятся электрические подстанции напряжением 35-220 кВ.

В сетях 35 кВ, как правило, нейтраль не заземляется, и при однофазном замыкании на землю через заземляющее устройство (ЗУ) подстанции протекают небольшие токи. Напряжение на ЗУ устройстве таких подстанций не высокое (менее 5 кВ).

Проблема выноса высокого потенциала с ЗУ подстанций напряжением 110кВ и выше при коротком замыкании (КЗ) на землю далеко не новая. В [1] в главе 1.7 рассматриваются два случая выноса потенциала: при питании по сети 0,4кВ (собственные нужды) внешнего потребителя электроэнергии и по отходящим коммуникациям (трубопроводы различного назначения, рельсовые пути, металлоконструкции, экраны, броня и оболочки кабелей 6-20 кВ).

В первом случае в соответствии с требованиями [1, 2] питание внешних потребителей должно осуществляться через разделительный трансформатор. Допускается также выполнять питание внешних потребителей от трансформатора с изолированной нейтралью на стороне 0,4 кВ по кабельной линии без металлической оболочки и без брони, или по воздушной линии.

Второй случай выноса высокого потенциала с ЗУ ПЦ на РП, ТП и, в конечном счете, к потребителю электроэнергии (П) хотя и рассматривается в нормативных документах, но мероприятий по защите от выноса потенциала

не предусмотрено. В [1, 2] указывается, что напряжение на заземляющем устройстве ПЦ при стекании с него тока замыкания на землю не должно, как правило, превышать 10 кВ. Напряжение 10 кВ допускается на заземляющих устройствах подстанций напряжением 110 кВ и выше, с которых исключен вынос потенциалов за пределы зданий и внешних ограждений электроустановок. При напряжении на заземляющем устройстве ПЦ более 5 кВ должны быть предусмотрены меры по защите изоляции отходящих кабелей связи и телемеханики и по предотвращению выноса опасных потенциалов за пределы электроустановки.

Следует заметить, что на практике встречаются и другие случаи, не указанные в нормативных документах. Например, нередко на переходные пункты (ПП) напряжением 110-220 кВ питание 0,4 кВ для вторичного оборудования подается от внешнего источника, от трансформаторной подстанции (ТП), расположенной за территорией переходного пункта. В этом случае, при КЗ на землю на ПП из-за заноса нулевого потенциала по кабелям 0,4 кВ происходит повреждение вторичного оборудования на ПП. Для таких случаев следует применять указания [1, 2] по защите от выноса потенциала: применять разделительный трансформатор для питания оборудования ПП по 0,4 кВ от ТП.

Что касается защиты изоляции кабелей связи и телемеханики, то здесь имеется, по крайней мере, два решения. На практике давно применяются специальные устройства для таких кабелей, которые позволяют устранить опасность повреждения изоляции при КЗ. В настоящее время более распространено применение оптоволоконных линий связи, для которых высокое напряжение на ЗУ подстанции не представляет опасности. Вынос потенциала по трубопроводам различного назначения устраняется применением современных труб из непроводящих материалов.

Остается одна не решенная проблема: вынос высокого потенциала по кабельным линиям (экран, оболочка и броня).

Схема выноса потенциала по кабельным линиям приведена на рис. 1, а схема замещения на рис. 2.

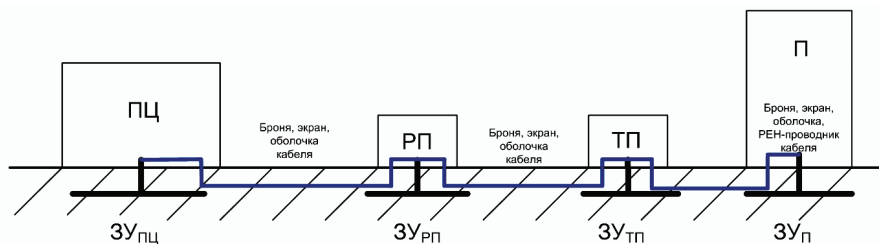


Рисунок 1 – Схема выноса потенциала по кабельным линиям от ПЦ до потребителей электроэнергии

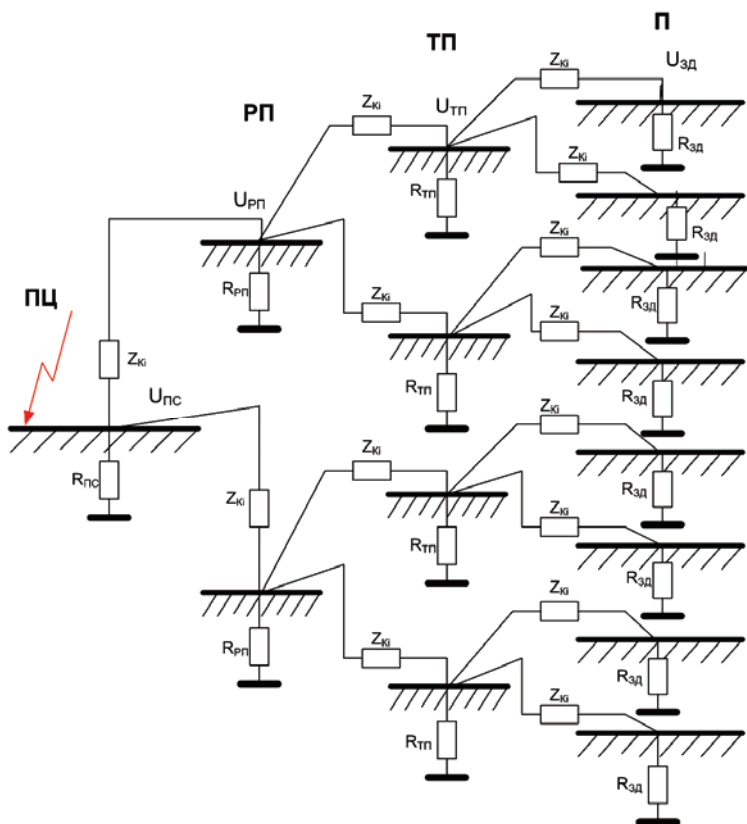


Рисунок 2 – Схема замещения выноса потенциала по кабельным линиям

Почему проблема выноса высокого потенциала с ПЦ стала особенно актуальной в настоящее время? Основная причина состоит в том, что в энергосистемах идет постоянный рост токов КЗ на землю. В настоящее время на некоторых подстанциях токи КЗ на землю превышают 60 кА. В ОАО «МОЭСК» принято решения устанавливать выключатели с разрывной способностью 50кА. Вторая причина состоит в том, что в городских условиях из-за отсутствия больших свободных земельных участков все чаще строятся подстанции с закрытым распределительным устройством (ЗРУ) или с подстанции с распределительным устройством с элегазовой изоляцией (КРУЭ).

Чтобы обеспечить напряжение на ЗУ ПЦ менее 5 кВ (в соответствии с требованиями [1]) при токе КЗ 50 кА необходимо выполнить ЗУ с сопротивлением менее 0,1 Ом.

Рассмотрим, насколько возможно это сделать на практике По упрощенной формуле сопротивление ЗУ можно определить, как:

$$R_{3У} = 0,44\rho/\sqrt{S},$$

где ρ – удельное сопротивление грунта; S – площадь ЗУ.

Для современных подстанций с КРУЭ площадь ЗУ, как правило, не превышает 100 м². Удельное сопротивление грунта верхнего слоя должно приниматься с учетом наиболее неблагоприятных климатических условий. Эквивалентное удельное сопротивление грунта обычно не менее 100 Ом · м. Отсюда ясно, что только горизонтальными заземлителями мы обеспечим сопротивление ЗУ существенно больше 0,1 Ом.

Для снижения сопротивления ЗУ применяются глубинные скважные заземлители. Они эффективны лишь тогда, когда достигаются слои с низким удельным сопротивлением грунта. Если этого не происходит, то фактически глубинные заземлители лишь несколько увеличивают площадь стекания тока с ЗУ. Даже если с помощью глубинного заземлителя достигаются слои с низким удельным сопротивлением, при ограниченной площади подстанции, а следовательно и ЗУ, сопротивление менее 0,1 Ом не получается.

Так, например, динамическое сопротивление глубинного заземлителя длиной 100 м составит чуть менее 0,5 Ом при удельном сопротивлении грунта (приведенном к двухслойной модели): верхний слой 200 Ом, нижний слой 20 Ом, глубина раздела слоев 1,5 м. При размерах подстанции 100x100 м² можно установить четыре глубинных заземлителя. При этом коэффициент использования будет примерно 0,8. Сопротивление ЗУ составит более 0,1 Ом. Большее количество глубинных заземлителей не даст ожидаемого эффекта, так как коэффициент использования будет уменьшаться.

Практика проектирования ЗУ показала, что даже применение скважных глубинных заземлителей не позволяет снизить сопротивление ЗУ до 0,1 Ом. В большинстве случаев напряжение на ЗУ современных ПЦ превышает 5 кВ. Применение выносного заземлителя в городских условиях невозможно. В этом случае происходит вынос высокого потенциала с ЗУ ПЦ.

Третьей причиной проблемы выноса высокого потенциала с ПЦ к потребителю является применение кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (СШП) с экранами из меди большого сечения.

Высокий потенциал может снижен на РП из-за падения напряжения на сопротивлении $Z_{Кі}$ кабельных линий (см. рис. 2). Ранее, когда применялись кабели 6-10 кВ с бумажно-масляной изоляцией, с броней и оболочкой, обычно так и происходило. Во-первых сопротивление свинцовой или алюминиевой оболочки и брони было относительно высокое, а во-вторых защитный покров не являлся изоляционным материалом. В результате выносимый с ЗУ ПЦ потенциал распределялся равномерно по длине кабеля, и происходило частично стекание тока с брони по длине кабеля. То есть кабель выполнял функцию дополнительного протяженного заземлителя.

Сопротивление экрана кабеля из СШП существенно ниже. Высокий потенциал с ЗУ ПЦ практически без снижения выносится на РП и далее на ТП.

При этом возникают дополнительные проблемы с обеспечением элект-

требезопасности и ЭМС на ТП и РП.

Рассмотрим реальный пример выноса потенциала с одного из ПЦ. При проектировании ЗУ на ПЦ напряжением 220/20 кВ с большим трудом (применяются глубинные скважные заземлители до 100м) обеспечено напряжение на ЗУ 8,2 кВ. Сопротивление ЗУ равно 0,13 Ом. На расстоянии 500м расположено ТП с ЗУ сопротивлением 0,5 Ом (по данным эксплуатирующей организации). По экранам кабелей (три фазы – пофазно) выносятся потенциал 8 кВ на ТП. На расстоянии 100 м расположено здание питающееся от ТП. Сопротивление ЗУ здания за счет системы уравнивания потенциалов составляет 0,1 Ом. Напряжение на ЗУ – 6 кВ. При этом по экранам кабелей из сшитого полиэтилена протекает ток 15 кА, а по нулевым проводникам кабелей 0,4кВ - 6 кА.

Согласно требованиям [1] сопротивление ЗУ в сети с изолированной нейтралью должно быть:

$$R_{\text{ТП}} \leq 250 / I,$$

где I - расчетный ток замыкания на землю, который должен быть определен для той из возможных в эксплуатации схем сети, при которой этот ток имеет наибольшее значение. При токе 9 кА, протекающим через ЗУ ТП сопротивление должно быть не более 0,028 Ом. Такого сопротивления мы не обеспечим никогда. Следовательно напряжение на ЗУ будет выше существенно 250 В и электробезопасность не обеспечивается. Причем, согласно требованиям [3] вне ТП мы должны обеспечить напряжение прикосновения и шага для населения не более 12 В.

В [4] установлено требование по наибольшему напряжению на ЗУ в электроустановках 0,4кВ при выносе потенциала в зависимости от времени отключения КЗ (см. таблицу).

Допустимые значения напряжений на изоляции 0,4 кВ

Допустимое критическое напряжение на оборудовании электроустановки до 1 кВ, В	Время отключения, с
$U_0 + 250$	Св. 5
$U_0 + 1200$	До 5

Эти требования на ТП не обеспечиваются.

У потребителя в здании мы не сможем обеспечить уравнивание потенциалов до безопасных значений для людей и оборудования. Кроме того, в здания приходят различные коммуникации, и существует большая вероятность повреждения оборудования.

Так, например, На одной из ПС произошло КЗ на землю в кабельном канале на кабелях 110 кВ. В расположенном на расстоянии примерно 200 м от ПС здании произошло повреждение мощных ИБП и другого оборудования.

Заключение

Проблему выноса потенциалов при КЗ на землю на ПЩ необходимо решать.

Сложность в решении этой проблемы еще в том, что проектирование и эксплуатация ЗУ ПЩ, РП, ТП и электроустановок потребителей осуществляется обычно различными организациями. Решая локальную задачу обеспечения требований по сопротивлению ЗУ и напряжению на ЗУ для отдельного из указанных объектов, проектировщики в настоящее время исключают из рассмотрения вопрос о выносе потенциала.

Необходимо провести расчетно-экспериментальные исследования на типовых объектах и разработать эффективные мероприятия по защите от выноса больших токов и потенциалов. Результаты таких исследований позволят ввести коррективы по защите от выноса потенциалов в действующие нормативные документы.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.

Список литературы: 1. Правила устройства электроустановок. Издание седьмое. 2. СТО 56947007-29.130.15.114-2012. Руководящие указания по проектированию заземляющих устройств подстанций напряжением 6-750 кВ переменного тока. 3. ГОСТ 12.1.038-82. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. ИПК Издательство стандартов, 1982. – С дополнениями и изменениями от 24.12.87 г. 4. ГОСТ 50571.18-2000 (МЭК 60364-4-442-93). Ч.4. Требования по обеспечению безопасности. Раздел 442. Защита электроустановок до 1кВ от перенапряжений, вызванных замыканиями на землю в электроустановках выше 1кВ. – М.: Изд-во стандартов, 2000.

Поступила в редколлегию 12.03.2012.