

Читателей журнала продолжают интересовать вопросы, связанные с обеспечением электробезопасности. Сегодня наш постоянный автор рассказывает о сопротивлении металлической связи электрического оборудования с заземляющим контуром и способах его измерения.

СОПРОТИВЛЕНИЕ СВЯЗИ В ЗАЗЕМЛЯЮЩЕМ УСТРОЙСТВЕ

Методики измерения

Отдельные элементы заземляющего устройства (ЗУ) электрических станций и подстанций могут иметь плохую электрическую связь с другими элементами ЗУ, в том числе с заземленными нейтралью трансформаторов. Это вызвано некачественным монтажом при строительстве, коррозией заземлителей или их механическим повреждением.

В зданиях и сооружениях часто отсутствует надлежащая связь между отдельными фрагментами системы заземления и главной шиной уравнивания потенциалов. Подобные дефекты, в случае протекания по ЗУ тока молнии или короткого замыкания (КЗ), могут привести к появлению в пределах заземляющего устройства электроустановки высоких разностей потенциалов, опасных для персонала, изоляции цепей различного назначения, а также способных вызывать сбои и повреждения электронной аппаратуры.

Для выявления подобных дефектов используются различные методики, сводящиеся, по сути, к измерению сопротивления связи между всеми основными доступными для прикосновения элементами ЗУ и некоторой единой опорной точкой.

Отметим, что наличие единой опорной точки является принципиальным моментом. Дело в том, что обычная диагностика контактных соединений (замер переходного сопротивления между корпусом (шасси) аппарата или конструкции и заземляющим проводником, или даже вскрытым заземлителем на ОРУ подстанции) при всей очевидной полезности такой операции не дает гарантии электрической целостности ЗУ объекта. Чтобы понять почему, рассмотрим ОРУ подстанции.

Проложенные в грунте заземлители подвержены коррозии, иногда их разрушение вызвано строительными работами и т.п. В этих условиях заземляющий проводник или заземлитель, связь с которым проверяется, может сам оказаться не связанным с основной частью ЗУ объекта. Подобные случаи неоднократно фиксировались в процессе работ, проводившихся нашей организацией. Иногда выясняется, что целые ячейки ОРУ практически не связаны заземлителями с ЗУ основной части подстанции.

В «Методических указаниях по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок» (РД 153 - 34.0-20.525-00 РАО «ЕЭС России») на подстанциях 220 кВ и выше рекомендуется измерять сопротивление связи между заземлением аппаратов и конструкций на ОРУ, с одной стороны, и заземлением нейтрали одного из трансформаторов. В качестве предельно допустимого значения принимается величина 0,2 Ом.

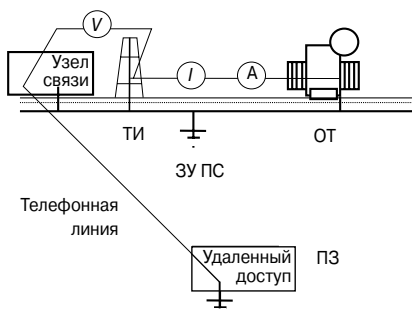
Поскольку длина измерительных цепей на реальном объекте часто достигает сотен метров, измерения должны проводиться по четырехпроводной схеме (т.е. должны использоваться отдельные проводники для подачи измерительного тока и для измерения разности потенциалов). Такие или подобные им измерения уже дают намного более полную информацию об электрической целостности ЗУ.

Кстати, на ПС 110 кВ необходимость в оценке целостности заземляющего устройства стоит, пожалуй, еще более остро, чем на подстанциях 220 кВ и выше, т.к. ток однофазного КЗ, протекающий через ЗУ, будет (при той же самой мощности) больше, чем на ПС 220 кВ и выше. Поэтому ограничение требований РД подстанциями 220 кВ и выше следует, по-видимому, отнести к числу парадоксов отечественной нормативно-технической документации.

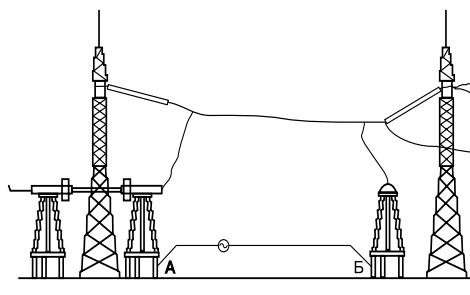


Михаил Матвеев,
к.ф.-м.н., ООО «ЭЗОП», г. Москва

■ Рис. 1. Измерение сопротивления основания

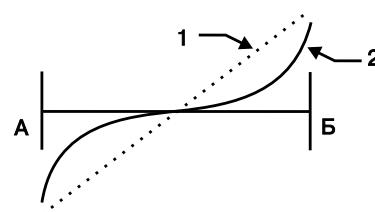


■ Рис. 2. Схема протекания тока с возвратом через ЗУ



■ Рис. 3. Эпюры напряжения вдоль заземлителя, связывающего конструкции А и Б:

- 1 – в случае бесконечно большого удельного сопротивления земли,
- 2 – для реального сопротивления земли.



В практике нашей организации при оценке электромагнитной обстановки (для защиты электронной аппаратуры от помех) уже более 10 лет успешно применяется несколько другая методика: измерение сопротивления основания относительно опорной точки.

Далее это сопротивление будем называть сопротивлением основания (не путать с сопротивлением основания, используемым при определении сопротивления прикосновения).

Отличие применяемой методики в том, что один из потенциальных полюсов измерительного прибора присоединяется к заземлению проверяемого аппарата (конструкции), а второй – к дополнительной опорной точке, предназначенной для измерения потенциала (например, к удаленному зонду или заземлению релейного щита подстанции), а не к той же опорной точке, что при вводе тока.

В качестве внешнего зонда может быть использована, в частности, выведенная из работы телефонная пара, заземленная на удаленном объекте. На узле связи ПС эта пара крессируется к точке измерения на ОРУ и присоединяется к одному из полюсов измерителя напряжения. Второй полюс измерителя напряжения вместе со вторым полюсом источника тока присоединяется к заземлению измеряемого аппарата (конструкции). В итоге для определения **сопротивления основания** требуется просто разделить значение напряжения между точкой измерения и потенциальным зондом на величину тока прогрузки.

Схема измерений показана на рис. 1, где ЗУ ПС – ЗУ подстанции, ПЗ – потенциальный зонд (удаленный объект с собственным ЗУ, связанный с ПС линией связи), ТИ – точка измерения, ОТ – опорная точка (один из силовых трансформаторов), I – источник тока, V – селективный вольтметр.

Чтобы понять физику процессов, протекающих при таких измерениях, рассмотрим изменение потенциала вдоль протяженного проводника (далее – заземлителя), проложенного в грунте и связывающего две заземленные конструкции – А и Б.

Когда между этими конструкциями будет включен источник тока, то по заземлителю и прилегающему к нему грунту потечет ток земляного возврата (рис. 2). Если бы земля являлась изолятором, то весь ток возвращался бы к генератору по этому продольному заземлителю. В этом случае распределение потенциала вдоль заземлителя было бы равномерным (кривая 1 на рис. 3), т. е. его погонное сопротивление остается неизменным по длине.

В реальности земля (грунт) имеет конечную проводимость $\neq 0$, поэтому ток по мере удаления от места его ввода перераспределяется между продольным заземлителем и землей. При этом вблизи точек ввода и вывода тока занятый им объем грунта будет небольшим, но он быстро увеличивается по мере удаления от концов заземлителя к его середине. На электростанции или ПС это усиливается тем, что в растекании тока принимает участие большое количество заземлителей, образующих сложный заземлитель сетчатой структуры.

Если считать продольный заземлитель вместе с объемом грунта, занятого током, некоторым эквивалентным проводником тока земляного возврата, то этот проводник будет иметь переменное сечение. Наибольшее сечение будет в середине, а наименьшее – в точках ввода и вывода тока, т. е. в точках А и Б. Соответственно погонное сопротивление такого проводника будет наибольшим вблизи его концов и распределение мгновенного значения потенциала вдоль него будет неравномерным. Всё это приводит к тому, что при протекании тока по петле в пределах ЗУ максимум потенциала (по модулю) оказывается в точке ввода тока, затем потенциал довольно быстро снижается (кривая 2 на рис. 3).

Такой характер изменения потенциала определяет опасность напряжения прикосновения. По этой же причине сопротивление электрической связи между двумя точками А и Б ЗУ можно (с некоторой погрешностью) представить суммой двух сопротивлений: **сопротивления основания** конструкции А и **сопротивления основания** конструкции Б. Под **сопротивлением основания** конструкции А или Б при этом понимается отношение потенциала, измеренного в точке А (или соответственно Б), к току генератора, включенного между ними.

Нетрудно понять, что **сопротивления оснований** конструкций А и В в сумме дают сопротивление связи между конструкциями А и В, измеренное в соответствии с РД 153 - 34.0-20.525-00. Для нахо-

дящегося в хорошем состоянии ЗУ **сопротивления основания** лежит обычно в пределах 0,1 Ом. Значения порядка 0,5 Ом и выше свидетельствуют о явном нарушении металлосвязи с ЗУ.

Методика измерения сопротивлений оснований имеет ряд преимуществ, и в первую очередь – понятный физический смысл подобных измерений.

Так, во-первых, если в качестве дополнительной опорной точки при измерении потенциала выбирается заземление релейного щита (РЩ) ПС, то умножение величины сопротивления на ток КЗ дает оценку разности потенциалов, которая при КЗ на проверяемый аппарат (конструкцию) будет приложена к изоляции вторичных кабелей, подходящих к нему (ней) или проходящих рядом и уходящих на РЩ.

В случае пробоя изоляции, а также если вторичные цепи заземляются на ОРУ, эта разность потенциалов будет приложена непосредственно к входам аппаратуры на РЩ. Оценка является строгой, если весь ток подпитки КЗ возвращается к нейтрали трансформатора, выбранного в качестве опорной точки для токовой цепи.

В реальности подпитка КЗ частично происходит из энергосистемы. При этом для более точной оценки разности потенциалов применяется методика имитационного моделирования, предусматривающая проведение нескольких измерений. Подобные измерения имеют смысл проводить для отдельных аппаратов и конструкций, значения сопротивления основания которых близки к предельным (обычно – 0,1 – 0,5 Ом, а при токах однофазных КЗ более 10 кА – даже менее 0,1 Ом). Это вызвано тем, что даже при наличии металлосвязи с ЗУ разность потенциалов может оказаться слишком велика. Иными словами, существующих элементов системы заземления не всегда достаточно для эффективного выравнивания потенциалов.

Во-вторых, при измерении **сопротивления основания** измеренное сопротивление характеризует связь именно проверяемого аппарата (конструкции) с ЗУ объекта. При измерении сопротивления связи качество связи проверяемой и опорной точек с ЗУ равным образом влияет на результирующую величину. В-третьих, при измерении **сопротивления связи** по четырехпроводной схеме токовая и потенциальная цепь на больших участках прокладываются параллельно. Это создает возможность искажения измеряемого значения за счет наводки со стороны токовой цепи. При измерении **сопротивления основания** такой проблемы обычно не возникает (т.к. токовая и потенциальная цепь не параллельны), а при измерении **сопротивления связи** ее можно решить, разнеся эти цепи на 10 м или больше.

В целом же оба метода позволяют получить информацию об электрической целостности заземляющего устройства.

Оценка сопротивлений связи и сопротивлений оснований отдельных элементов ЗУ производится без отсоединения грозозащитных тросов, оболочек отходящих кабелей и других естественных заземлителей.

При необходимости, в ходе измерений оценивается вклад естественных заземлителей в полученную величину сопротивления.

В реальности картина измерений бывает сильно искажена помехами, практически неизбежными на территории действующего энергообъекта. Поэтому используются специальные интегрированные цифровые приборы, совмещающие в себе фактически источник тока и простейший селективный вольтметр. Такие приборы выпускаются рядом отечественных и зарубежных производителей.

Важно, чтобы рабочая частота используемых приборов отличалась от промышленной частоты (50 Гц) и её гармоник. При этом частота должна быть не слишком большой (большинство зарубежных приборов, например, использует диапазон 50–150 Гц). При использовании более высоких частот возникают значительные погрешности за счет повышения полного сопротивления протяженных элементов заземляющего устройства с ростом частоты.

Эти методы могут использоваться не только на ПС, но и внутри любых сооружений для контроля состояния ЗУ.

В качестве опорной точки в этом случае выбирается главная шина выравнивания потенциалов в здании. Если применяется методика дополнительного потенциальным зондом, то в качестве по-следнего может использоваться заземлитель, устанавливаемый, например, во дворе здания.