

ТРЕБОВАНИЯ К ЗАЗЕМЛЯЮЩИМ УСТРОЙСТВАМ В КОНТЕКСТЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

О.К. Никольский, П.И. Семичевский

Изложены требования к характеристикам, конструкции и исполнению заземляющих устройств электроустановок зданий, удовлетворяющие электробезопасности и электромагнитной совместимости. Приведен алгоритм выполнения расчета заземляющего устройства и меры снижения электромагнитных влияний на работу электроустановок.

Ключевые слова: заземляющее устройство, электроустановка, электробезопасность, электромагнитная совместимость.

Основные положения

Одним из основных назначений заземляющего устройства является обеспечение электромагнитной совместимости электроустановок (ЭУ) и информационно-технологического оборудования (ИТО) в нормальном и аварийном режимах. Под термином «электромагнитная совместимость» будем понимать способность ЭУ и ИТО нормально работать в рассматриваемой электромагнитной среде, не оказывая вредного или опасного

воздействия на находящихся в этой среде людей и сельскохозяйственных животных. Заземляющее устройство здания или сооружения должно быть выполнено в соответствии с нормами МЭК по электромагнитной совместимости [1].

Согласно [2] все электроустановки разделяются по особенностям, влияющим на требования, предъявляемые к заземляющим устройствам, на четыре основных группы (таблица 1).

Таблица 1–Классификация электроустановок по требованиям электробезопасности

Номинальное напряжение электроустановки, кВ	Режим нейтрали	Классификация электроустановки
До 1 кВ	Заземленная нейтраль	Электроустановка до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью
	Изолированная нейтраль	Электроустановка до 1 кВ с изолированной нейтралью
Выше 1 кВ	Эффективно заземленная нейтраль	Электроустановка выше 1 кВ с эффективно заземленной нейтралью
	Изолированная нейтраль	Электроустановка выше 1 кВ с изолированной нейтралью

Требования, в свою очередь, разбиты на две категории: относящиеся к заземляющим устройствам почти всех электроустановок и названные общими и относящиеся к заземляющим устройствам отдельных групп электроустановок.

Общие требования в основном сводятся к следующему. Для заземления электроустановок в первую очередь должны использоваться естественные заземлители – металлические трубопроводы, оболочки и броня кабелей, рельсовые пути и т.п., а также электропроводящие части зданий и сооружений производственного или иного назначения, находящиеся в соприкосновении с землей

или заложенные в бетонные основания, фундаменты и т.п.

Если естественные заземлители обеспечивают соответствие нормам электрических характеристик заземлителя (сопротивление, напряжение прикосновения, напряжение на заземлители), то искусственные заземлители, специально выполняемые для целей заземления, следует применять лишь при необходимости уменьшения токов, протекающих по естественным заземлителям или стекающих с них а землю. Таким образом, в ряде случаев можно ограничиться использованием только естественных заземлителей. Это положение направлено на обос-

нование снижения затрат на заземляющие устройства.

Если электроустановки различного напряжения и назначения расположены друг от друга сравнительно близко, то рекомендуется выполнять одно общее заземляющее устройство, используя в первую очередь все естественные протяженные заземлители. Характеристики общего заземляющего устройства должны соответствовать требованиям, предъявляемым к заземляющим устройствам.

Заземляющие устройства электроустановок напряжением выше 1 кВ с эффективно заземленной нейтралью целесообразно проектировать и сооружать исходя непосредственно из нормы напряжения прикосновения. При этом, как показали длительные исследования [3], заземляющие устройства имеют наилучшие технико-экономические показатели. В то же время современные правила (7-е издание ПУЭ) допускают альтернативное формулирование требований к заземляющим устройствам: наряду с нормой напряжения прикосновения на территории электроустановки сохраняется и норма сопротивления заземляющего устройства (выполнение одной из этих норм освобождает от необходимости выполнять другую). Выбор же той или иной нормы при проектировании и сооружении заземляющих устройств оставлен на усмотрение проектных организаций. Помимо соответствия характеристик заземляющего устройства одной из двух указанных выше норм заземляющее устройство должно отвечать также требованиям, относящимся к напряжению при стекании тока замыкания на землю и к его конструктивному выполнению. Напряжение на заземляющем устройстве не должно превышать 10 кВ. Напряжение выше 10 кВ допускается лишь на заземляющих устройствах, конструкция которых исключает вынос потенциала за пределы зданий и внешних ограждений электроустановки.

Требования к конструкции заземляющего устройства

Норма сопротивления заземляющего устройства установлена в 0,5 Ом (эквивалентное сопротивление совокупности искусственных и естественных заземлителей не должно превышать 0,5 Ом). При этом с целью уменьшения возможного напряжения прикосновения путем выравнивания электрического потенциала одновременно строго регламентирована конструкция заземляющего устройства.

На территории электроустановки, занятой заземляемым оборудованием, должна быть выполнена заземляющая сетка, образованная надежно электрически соединенными между собой горизонтальными продольными и поперечными заземлителями (электродами). Продольные заземлители следует прокладывать вдоль осей электрооборудования со стороны обслуживания на глубине 0,5-0,7 м от поверхности земли и на расстоянии 0,8-1 м от фундаментов или оснований оборудования. Допускается увеличение расстояний от фундаментов или оснований оборудования до 1,5 м с прокладкой одного заземлителя для двух рядов оборудования, если стороны обслуживания обращены друг к другу, а расстояние между фундаментами или основаниями двух рядов не превышает 3 м.

Подобное размещение продольных заземлителей должно способствовать значительному уменьшению напряжения прикосновения. Действительно, при прикосновении к оборудованию со стороны обслуживания люди будут находиться на расстоянии, не превышающем, как правило, 1 м, т.е. почти всегда над продольным заземлителем. При этом положении людей напряжение прикосновения должно иметь одно из наименьших значений.

Поперечные заземлители нужно прокладывать в удобных местах между оборудованием на глубине 0,5-0,7 м от поверхности земли. Расстояние между соседними поперечными заземлителями рекомендуется принимать увеличивающимся от периферии к центру заземляющей сетки.

При этом первое и последующие расстояния (шаги), начиная от периферии, не должны превышать соответственно 4; 5; 6; 7,5; 9; 11; 13,5; 16 и 20 м. Такие шаги поперечных заземлителей способствуют наиболее полному выравниванию электрических потенциалов в пределах территории, на которой расположена заземляющая сетка. В местах присоединения нейтралей силовых трансформаторов и короткозамкательных к заземляющему устройству требуется прокладывать продольные и поперечные горизонтальные электроды (в четырех направлениях). Это требование основано на стремлении уменьшить рост напряжения прикосновения в местах ввода тока, обусловленный влиянием собственного продольного сопротивления горизонтальных электродов. Подчеркнем также обязательность прокладки горизонтальных электродов по периметру территории, на которой расположены заземляемое оборудование и заземлитель.

ТРЕБОВАНИЯ К ЗАЗЕМЛЯЮЩИМ УСТРОЙСТВАМ В КОНТЕКСТЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

Если заземляющее устройство выходит за пределы огороженной территории электроустановки, то горизонтальные заземлители вне территории электроустановки следует прокладывать на глубине не менее 1 м. Внешний контур в этом случае рекомендуется выполнять в виде многоугольника с тупым или закругленными углами. Это требование направлено в первую очередь на уменьшение возможного напряжения, приложенного к телу человека по пути нога – нога (шаговое напряжение) вблизи вершин углов контура.

Норма предельно допустимого напряжения прикосновения установлена в зависимости от возможной длительности воздействия. В качестве расчетного времени воздействия следует принимать сумму времени действия защиты и полного времени отключения выключателя. Причем при определении нормы напряжения прикосновения у рабочих мест, где при выполнении оперативных переключений могут возникать замыкания на конструкции, доступные для прикосновения производящему переключения персоналу, требуется принимать время действия резервной защиты, а для остальной территории электроустановки – основной защиты.

При выполнении заземляющих устройств в соответствии с нормой допустимого напряжения прикосновения размещение продольных и поперечных горизонтальных заземлителей подчинено необходимости ограничения напряжения прикосновения до нормы, а также удобству присоединения заземляемого оборудования. Вместе с тем с целью уменьшения влияния собственного продольного сопротивления горизонтальных заземлителей на напряжение прикосновения введено дополнительное требование: шаг между продольными и поперечными горизонтальными заземлителями должен быть не более 30 м. Глубина заложения горизонтальных заземлителей в землю должна быть не менее 0,3 м.

В требованиях, предъявляемых к заземляющим устройствам электроустановок напряжением выше 1 кВ с эффективно заземленной нейтралью, значительное внимание уделено заземлению ограды, ее электрической связи с заземляющим устройством и конструктивному выполнению последнего вблизи ограды. Внешнюю ограду электроустановки не рекомендуется присоединять к заземляющему устройству. С целью исключения электрической связи ограды с заземляющим устройством расстояние ограды до элементов заземляющего устройства, расположенных вдоль нее как с внутренней, так и с

внешней стороны, должно быть не менее 2 м. Выходящие за пределы ограды горизонтальные заземлители, трубы и кабели с металлической оболочкой должны быть проложены посередине между стойками ограды на глубине не менее 0,5 м.

В случаях, когда к электроустановке подходят воздушные линии напряжением 110 кВ и более, ограду требуется заземлять, но не путем соединения с заземляющим устройством электроустановки. Заземление ограды нужно выполнять с помощью вертикальных заземлителей длиной 2-3 м, установленных у стоек ограды по всему ее периметру через 20-50 м. Установка таких заземлителей не требуется у ограды с металлическими стойками из железобетона, арматура которых соединена электрически с металлическими звеньями ограды. В обоих случаях при обрыве провода и его падении на ограду необходимо обеспечить условия для возникновения тока замыкания на землю, достаточного для срабатывания релейной защиты.

Для заземляющих устройств электроустановок выше 1 кВ с изолированной нейтралью и до 1 кВ с целью упрощения их расчета и проектирования не применяют в качестве нормы предельно допустимый ток, проходящий по телу человека, и напряжение прикосновения. Их использованием ограничивают лишь на стадии обоснования требований, предъявляемых к сопротивлению заземляющих устройств.

Для заземляющих устройств электроустановок напряжением выше 1 кВ с изолированной нейтралью основной нормой фактически является напряжение на заземляющем устройстве. Это напряжение не должно превышать 125 В, если заземляющее устройство одновременно используют для электроустановок напряжением до 1 кВ, и 250 В при использовании заземляющего устройства только для электроустановок напряжением выше 1 кВ с изолированной нейтралью.

С целью повышения уровня электробезопасности непосредственно на территории открытых электроустановок напряжением выше 1 кВ с изолированной нейтралью введено дополнительное требование к конструкции заземляющих устройств. Вокруг территории, на которой расположено подлежащее заземлению оборудование, необходимо прокладывать горизонтальный заземлитель на глубине менее 0,5 м. К этому «контурному» заземлителю должно подсоединяться все заземляемое оборудование. Такое выполнение заземляющего устройства направлено на

уменьшение напряжения прикосновения до допустимых значений.

Кроме того, сопротивление заземляющего устройства не должно превышать 4 Ом, если заземляющее устройство одновременно используют для электроустановки напряжением 0,38 кВ с глухозаземленной нейтралью, и 10 Ом, если используют только электроустановку напряжением выше 1 кВ с изолированной нейтралью.

В электроустановках напряжением до 1 кВ с заземленной нейтралью требования, предъявляемые к заземляющим устройствам, учитывают прежде всего особенности обеспечения электробезопасности людей при замыканиях на корпус. Сопротивление заземляющих устройств, к которым присоединяют нейтрали генераторов или трансформаторов или выводы источника однофазного тока, нормируют в зависимости от линейного напряжения в трехфазных сетях или от напряжения источника однофазного тока, а также от эквивалентного удельного сопротивления земли.

При линейном напряжении 660, 380 и 220 В или напряжении источника однофазного тока, равном 380, 220 и 127 В, и при удельном сопротивлении земли до 100 Ом·м включительно сопротивление заземляющего устройства в течении всего срока его службы не должно превышать соответственно 2, 4 и 8 Ом. Требуемое сопротивление заземляющего устройства должно быть обеспечено с учетом использования естественных заземлителей, а также системы повторных заземлений нулевого провода воздушных линий (ВЛ) напряжением до 1 кВ, однако лишь в случаях, когда число ВЛ не менее двух.

При удельном сопротивлении земли более 100 Ом·м допускается увеличивать нормы сопротивления заземляющих устройств в 0,01ρ раз, но не более чем в 10 раз (ρ – удельное сопротивление земли).

Для электроустановок напряжением до 1 кВ с изолированной нейтралью сопротивление заземляющих устройств должно соответствовать условию:

$$R \leq U/I,$$

где R – сопротивление заземляющего устройства, Ом;

U – напряжение прикосновения, принимаемое равным 50 В;

I – полный ток замыкания на землю, А.

Как правило, не требуется принимать значение сопротивления заземляющего устройства менее 4 Ом.

Алгоритм расчета заземляющего устройства

Расчет заземляющего устройства имеет целью определить основные его параметры – количество, размеры и порядок размещения одиночных заземлителей и заземляющих проводников, при которых напряжения прикосновения и шага в период замыкания фазы на заземленный корпус не превышают допустимых значений.

Используемая в течении многих лет методика инженерных изысканий и расчета заземляющих устройств основывалась на допущении, что удельное сопротивление грунта неизменно по глубине. Вместе с тем хорошо известно, что грунты имеют слоистое строение, причем границы раздела слоев в большинстве случаев расположены почти горизонтально. Известно также, что различные типы грунтов имеют различные величины удельных сопротивлений, величина которых определяется минеральным составом, внутренней структурой, пористостью, влагонасыщенностью и минерализацией растворов в порах, температурой и давлением. Отсюда следует, что один и тот же тип грунта может иметь различное удельное сопротивление от 8 до 20 Ом·м, а пески от 500 до 10000 Ом·м и более. Даже в сравнительно однородном по структуре грунте из-за зимнего промерзания, летнего высыхания и весеннего увлажнения удельное сопротивление значительно изменяется в зависимости от глубины грунта и времени. Обычно удельное сопротивление верхних слоев больше нижележащих. В редких случаях бывает наоборот, например, когда под поверхностью земли находятся горные породы, обладающие, как правило, достаточно большим сопротивлением. Такое же положение наблюдается в теплое время года в районах вечной мерзлоты, когда глубинные слои земли, более холодные, чем верхние, имеют более высокое сопротивление.

Изменения величины удельного сопротивления грунта в зависимости от времени под влиянием сезонных изменений влажности и температуры называют сезонными изменениями удельного сопротивления грунта.

Учет неоднородности земли приводит к построению двухслойной модели. Учет двухслойной структуры грунта значительно повышает точность расчетов. Удельные сопротивления слоев земли определяются, как правило, опытным путем по специальным методикам.

ТРЕБОВАНИЯ К ЗАЗЕМЛЯЮЩИМ УСТРОЙСТВАМ В КОНТЕКСТЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

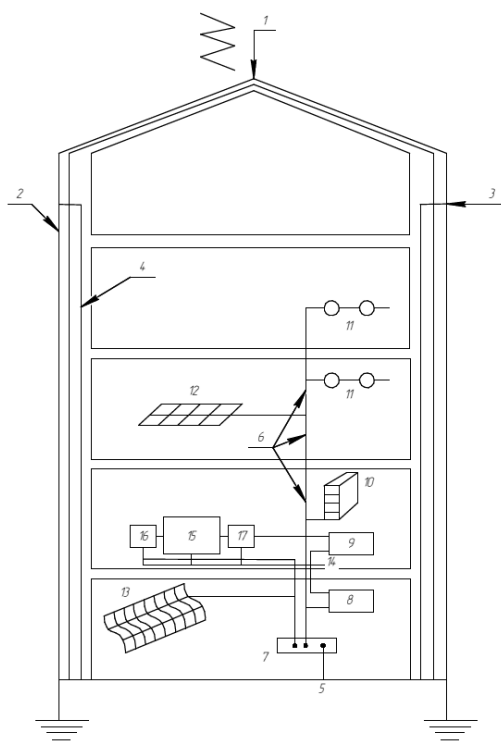


Рисунок 1 – Заземляющее устройство здания: 1 – молниеприемник; 2 – молниезащитные спуски; 3 – уравнивающие проводники; 4 – стальной каркас или арматура железобетонного каркаса здания; 5 – фундаментный заземлитель или арматура железобетонных фундаментов здания; 6 – система электропитания; 7 – главный заземляющий зажим; 8 – главная распределительная шина; 9 – система непрерывного питания; 10 – распределительный щит; 11 – выключатель; 12 – уравнивающая сетка; 13 – металлические кабель-проводы; 14 – местная система уравнивания потенциалов; 15 – информационно-технологическое оборудование; 16 – телефон; 17 – электронные системы здания и квартир

Расчет заземлителей (в однородном или многослойном грунте) можно выполнять по допустимому сопротивлению растекания тока заземлителя или по допустимым напряжениям прикосновения и шага.

Расчет выполняется в следующей последовательности:

1. Формируются исходные данные.
2. Определяется расчетный ток замыкания на землю.
3. Вычисляется требуемое сопротивление заземляющего устройства.
4. Рассчитывается необходимое сопротивление растеканию искусственного заземлителя.
5. Выбирается тип заземлителя и составляется предварительная схема заземляющего устройства (размещение на плане установки, принятые для сооружения заземлителя электроды и заземляющие проводники).
6. Уточняются параметры заземлителя.

Для расчета заземляющего устройства необходимы следующие сведения:

- 1). Характеристика электроустановки – тип установки, виды основного оборудования, рабочее напряжение, способы заземления нейтрали трансформаторов и генераторов.
- 2). План электроустановки с указанием основных размеров и размещения оборудования.

3). Формы и размеры электродов, из которых предусмотрено соорудить проектируемый грунтовой заземлитель, а также предполагаемая глубина погружения их в землю.

4). Данные измерений удельного сопротивления грунта на участке, где должен быть сооружен заземлитель, и сведения о климатических условиях.

5). Данные о естественных заземлителях: какие сооружения могут быть использованы для этих целей и сопротивления их растеканию тока, полученные непосредственным измерением; если по каким-либо причинам измерить сопротивление естественного заземлителя невозможно, должны быть даны сведения, позволяющие определить это сопротивление расчетным путем.

6). Расчетный ток замыкания на землю (или его определение опытным путем).

7). Расчетные (или опытные) напряжения прикосновения и шага и время действия защиты.

Подробная методика и примеры расчета заземляющих устройств изложены в [4]. На рисунке 1 приведена иллюстрация выполнения заземляющего устройства здания в соответствии с требованием ПУЭ.

К мерам снижения электромагнитных влияний на работу электроустановок и ИТО зданий (рисунок 2) следует отнести:

- выбор надлежащих мест взаимного расположения электрооборудования, создающего помехи, нарушающие нормальную работу;
- использование защитных устройств с выдержкой времени для исключений нежелательных срабатываний в период переходных процессов;

- применение металлических экранов и надлежащее отделение контрольных кабелей от силовых;
- исключение индуктивных петель путем разделения кабелепроводов контрольных и силовых электрических цепей;
- переход от системы TN-C электропитания к системам TN-C-S или TN-S.

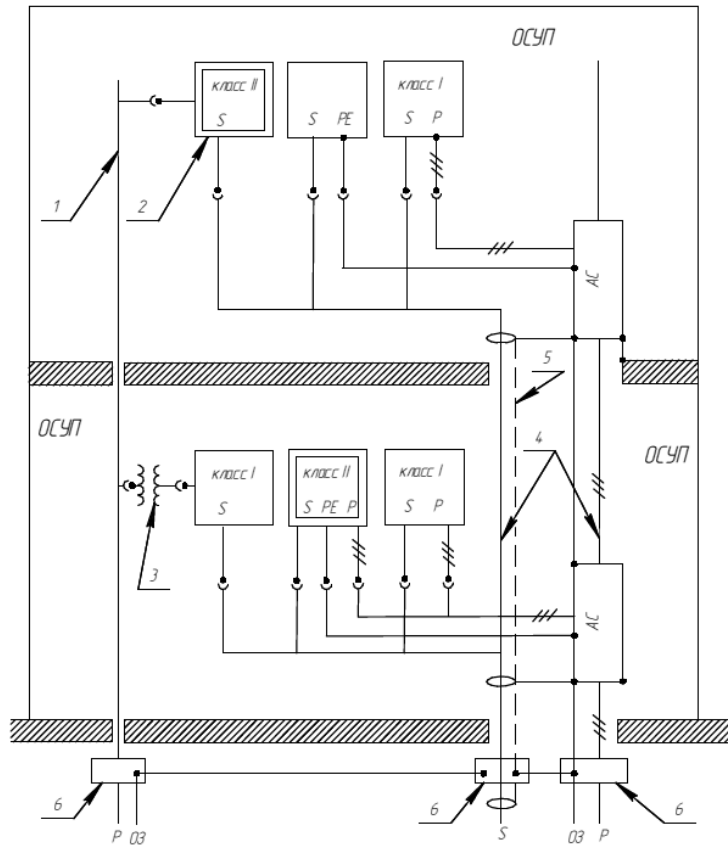


Рисунок 2 – Соответствие заземляющего устройства здания условиям электромагнитной совместимости: 1 – существующая питающая линия (TN-C); 2 – оборудование класса II; 3 – разделяющий трансформатор; 4 – новые трассы силовых (TN-S) и контрольных кабелей; 5 – защитный экран контрольного кабеля; 6 – УЗП; S – контрольный кабель информационно-технологического оборудования; PE – заземляющий рабочий проводник; OЗ – общий заземлитель; OSUP – основная система уравнивания потенциалов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карякин, Р. Н. Заземляющие устройства электроустановок: справочник / Р. Н. Карякин. – М.: Энергосервис, 2000. – 424 с.
2. Правила устройства электроустановок, 7-е изд., М., 2003. – 153 с.
3. Карякин, Р. Н. Нормативные основы устройства электроустановок / Р. Н. Карякин. – М.: Энергосервис, 1998. – 277 с.
4. Бургсдорф, В. В. Заземляющие устройства электроустановок / В. В. Бургсдорф, А. И. Якобс. – М., 1987. – 215 с.

Никольский Олег Константинович – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Электрификации производства и быта» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, тел. 8 (385) 36-71-29

Семичевский Петр Иванович – к.т.н., профессор кафедры «Электроснабжения сельского хозяйства» Московского государственного агроинженерного университета им. В.П. Горячкина