

Power Quality Application Guide

Заземление и ЭМС

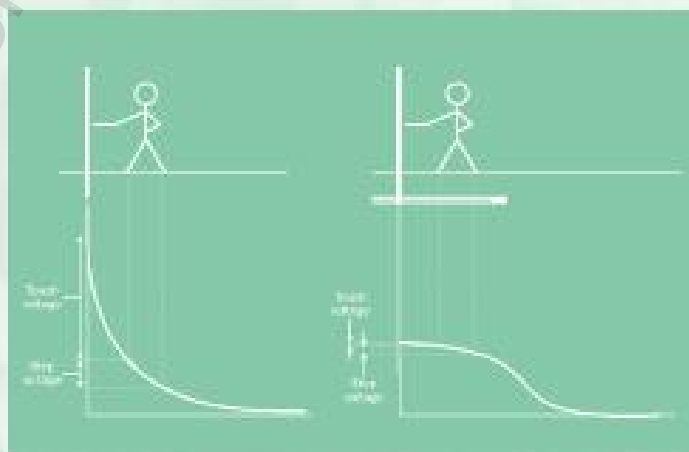


Earthing & EMC

A Systems Approach to Earthing

Системный подход к заземлению

6.1



Copper Development Association

IEE Endorsed Provider



Earthing & EMC

Прикладные аспекты качества электроэнергии

Раздел 6.1 Системный подход к вопросам заземления и электромагнитной совместимости



Reyer Venhuizen, KEMA T&D Power

Проблема заземления электроустановок и оборудования затрагивает различные аспекты строительства и инженерного оборудования современных промышленных и общественных зданий. Проектировщики и монтажники электроустановок согласовывают параметры системы с инженерами-строителями, специалистами по информационным технологиям и т. д. При этом разные группы специалистов не всегда говорят на одном техническом языке, а иногда не имеют общего комплексного видения проблемы. В настоящей публикации сделана попытка представить общий взгляд на вопросы заземления, с тем чтобы специалисты, связанные с этим вопросом, стали лучше понимать друг друга.

В целом любая система заземления должна удовлетворять трем требованиям:

- Защита от удара молнии и короткого замыкания. Система заземления должна защищать человека, предотвращать прямой материальный ущерб в результате возникновения пожара, взрывов или поражающего электрического импульса при прямом ударе молнии или вследствие перегрева проводников при коротком замыкании.
- Безопасность. Система заземления должна безопасным образом уводить токи прямого попадания молнии или вызванные коротким замыканием без наведения в электроустановке нештатных значений тока и напряжения, в том числе обеспечить безопасные уровни напряжения прикосновения и шага.
- Защита оборудования и сохранение функциональности. Система заземления должна безусловно обеспечить сохранность чувствительного электронного оборудования. Грамотная топография прокладки кабелей, зонирование и экранирование являются

важными элементами обеспечения бесперебойной работы компьютерного и другого чувствительного оборудования.

Несмотря на то что более подробно указанные требования рассматриваются в различных нормативах, подход к их применению должен быть интегрированным.

Системный подход

Изначальная задача защитных систем заземления заключалась в обеспечении безопасности человека и имущества в зоне заземления путем создания специального наикратчайшего пути с низким сопротивлением (на основной частоте переменного тока) для токов высокого значения, чтобы снизить риски их негативного воздействия.

Создание такого пути в землю с низкими значениями сопротивления несложно. Требуется лишь проводник с высоким значением электропроводности и высокой стойкостью против коррозии (как правило медный), заглубленный в землю настолько, чтобы избежать последствий эффектов замерзания или высыхания грунта, достаточно большой по площади контакта поверхности с землей и расположенный в таком месте, чтобы избежать воздействия или влияния других подобных систем. Большая площадь контакта с землей снижает плотность тока в почве и, как следствие, значение электрического сопротивления. Заземляющие электроды* различной формы позволяют контролировать градиент потенциала, что, как мы увидим далее, важно для обеспечения безопасных значений напряжений прикосновения и шага.

Проблемы начинают возникать по мере подсоединения к системе заземления оборудования. На практике на чистоту такого заземления влияет наличие вблизи других подобных систем заземления и качественный состав установленного оборудования.

Комбинированное использование защитного заземляющего и нейтрального проводников (PEN), как в системах TN-C, не может считаться удовлетворительным решением. В системах TN-C нейтральные токи, включая третью гармонику, смешиваются с токами заземления в нейтральном проводнике, защитных проводниках и металлической арматуре здания. Правильным решением следует признать системы TN-S, даже если они являются продолжением по источнику питания системы TN-C.

Традиционная практика устройства систем заземления ориентируется в основном на решение вопроса безопасности, и это правильно. Упомянутый принцип организации пути с низким значением сопротивления для высоких токов в землю был достаточен. Современные требования и практика требуют формирования электрического поля в почве для того, чтобы добиться контроля градиента потенциала. Ведь защитный проводник должен обеспечить и функционально-пригодную защиту современному оборудованию, в том числе предоставить путь на землю токам утечки (в пределах основной частоты), высокочастотным токам и т. д.

Ассортимент различных токов утечки разнится от установки к установке. Поскольку в большинстве своем токи утечки происходят от однофазных источников в каждой из трех фаз, то значение тока в нейтральном проводнике может как увеличиваться, так и уменьшаться в зависимости от конфигурации цепей и нагрузок на различных участках. Наиболее неблагоприятная ситуация складывается на участках, питающих современное вычислительное оборудование. Токи утечки безвредны, когда уходят напрямик в землю, но могут достигать опасных для жизни значений при нарушении соединений. Это требует более усложненного комплексного подхода к проектированию защитной системы.

Теоретически требуется страховка в виде дублирующих заземляющих проводников, причем каждый из них должен иметь номиналы из расчета полной нагрузки и надежные, устойчивые соединения. Так, предпочтительно, чтобы защитные проводники выполнялись из меди и монтаж осуществлял профессиональный электромонтажник, а не строительные рабочие путем установки стальных конструкций. В том случае когда функция защитного проводника возлагается на защитную оболочку кабелей, особое внимание следует уделять качеству соединений у разъемов. Принципы интегрированного проектирования должны распространяться на всю электроустановку, все ее компоненты, вплоть до рабочего стола пользователя, включая все разъемы и проводники.

С точки зрения функциональных задач электроустановки, высокочастотные токи могут представлять собой большую, нежели кажется, проблему. Большая часть оборудования, создающего высокочастотные токи в системе заземления, очень чувствительна к высокочастотным шумам. При этом если само оборудование создает высокочастотные токи, то чувствительно оно к высокочастотному напряжению. Если такие токи смогут быть доведены до земли без создания сколь-нибудь значительных перепадов напряжения, то проблема не существенна. Это, в свою очередь, требует системы заземления с низким сопротивлением во всем диапазоне частот переменного тока. Для снижения наведенных токов путь заземления должен быть достаточно близок к путям подачи электропитания. Следует также заметить, что в контексте обсуждаемых вопросов нам гораздо важнее сопротивление соединений системы заземления, представляющей некую поверхность выравнивания потенциалов, которую мы называем землей, нежели сопротивление точки (площади) контакта с землей в прямом значении, т. е. грунтом. При этом для вопросов безопасности и защиты от удара молнии последнее является критически важным.

Во времена, когда суммарная мощность установленного оборудования пользователей была относительно невелика, заземляющий проводник большого сечения обычно вели прямо к терминалу заземления или к отдельному заземляющему электроду. Путь возврата шумов лежал вблизи питающих проводников, что снижало их излучение. Однако длинные радиальные заземляющие проводники становятся объектом резонанса четверть-волны**, вызывающего увеличение сопротивления на некоторых частотах, а соответственно, делает их непригодными к применению сегодня для распределенных по всему объему здания системах. Современные компьютерные системы обычно занимают несколько этажей здания. Поддержание «уровненного потенциала» (в высокочастотной области) требует более современных решений.

Микроэлектронные компоненты претерпели значительные изменения, связанные с уменьшением рабочих токов и напряжений, и как следствие – энергопотребления. Это и привело к сближению уровней полезного сигнала и паразитных шумов, а также к теоретическому снижению надежности систем. Результаты такой эволюции частично компенсировались улучшением схемотехники микроэлектронных компонентов для улучшения их устойчивости к шумам, качественным развитием математического обеспечения, использования протоколов обнаружения ошибок и их исправления в сетях. Несмотря на эффективность этих мер, они снижают производительность сетей, направляя в информационные сети избыточное количество контрольной информации и передавая некорректную информацию вновь.

По мере роста шумов эти процессы становятся доминирующими вплоть до полного прекращения полезной работы. Пользователю кажется, что система вышла из строя, но на самом деле система деградировала до такой степени, что штатные защитные и предохранительные мероприятия не способны вернуть ей функциональность. При снижении уровня электрического шума до некоторого уровня работоспособность системы

восстанавливается. Очевидно, что эффективность передачи данных напрямую влияет на эффективность бизнеса. Как это обычно бывает, эффективность снижается именно тогда, когда она востребована наибольшим образом – при перегрузке сетей передачи данных. Снижение уровня электрического шума для систем обработки и передачи данных является прямым путем сохранения эффективности их функционирования. В настоящее время данные передаются по кабелю «витая пара», заметим – неэкранированная пара. Для зданий с высокой плотностью сетевой информационной инфраструктуры и для передачи данных со скоростью свыше 100 мб/с правильнее применять экранированные кабели (экранированная витая пара – STP).

Эффективным способом максимально снизить шумы является сплошное экранирование/заземление медной сеткой. Этот прием был весьма популярен в эпоху централизованного размещения компьютерного оборудования в компьютерных комнатах и до сих пор является одним из оптимальных решений. Поскольку эффективность этого приема требует сплошного, в том числе вертикального покрытия в зоне функционирования оборудования (обычно – здания), заземляющие сетки выполняют, как правило, из плоской перфорированной ленты для максимального снижения поверхностного эффекта. В случае использования вертикальных элементов конструкции здания, как например опоры фальшпола, важно проследить, чтобы все они были соединены гальванически с использованием медных шин самым коротким путем.

Может показаться, что стоимость установки сплошного заземления крайне высокая. Однако практика показывает, что затраты на сплошное заземление не такие большие, особенно если оно выполняется при строительстве здания. Дорогим это мероприятие оказывается только в случае дооборудования уже существующего здания. Оборудованное сплошной системой заземления здание более привлекательно для арендаторов, поскольку, во-первых, оно пригодно для более широкого круга задач, а во-вторых, в нем снижена вероятность проблем с компьютерным оборудованием. Соответственно, данное здание может впоследствии иметь высокую арендную плату, поскольку большой круг арендаторов заинтересован в стабильности функционирования компьютерного оборудования и готов за нее, такую стабильность, заплатить.

* В российской нормативно-технической документации принят термин «заземлитель», но в настоящем тексте сохранена терминология источника – «заземляющий электрод».

** При проектировании систем заземления, включая молниезащиты, следует стремиться предусмотреть все возможные последствия и обстоятельства, поскольку гораздо дешевле и эффективнее принять соответствующие меры на этапе первичного проектирования и монтажа, нежели впоследствии исправлять и наращивать готовую систему.

Реализация концепции на практике.

Заземляющий электрод

Параметры заземляющего электрода – размер, форма и место расположения – критически важны не только для обеспечения достаточно низкого сопротивления с грунтом (землей), но и для контроля формы электрического поля на поверхности. Сопротивление пары электрод-земля и ток заземления определяют разницу потенциалов между землей и системой. При высоких значениях тока утечки значение потенциала может быть очень высокими в районе заземляющего электрода и уменьшаться по мере увеличения расстояния до него. Высокие значения потенциала на грунте могут создать весьма неприятные ситуации.

Определимся с некоторыми терминами. Напряжение прикосновения (рис. 1) представляет собой напряжение между двумя точками цепи тока замыкания на землю и зависит от расстояния. Напряжение шага (рис. 1) представляет собой разность потенциалов между двумя точками поверхности земли на расстоянии шага (усредненно – 1 м), обусловленную растеканием токов замыкания на землю. Максимальные допустимые значения этих величин определяются различными нормами.

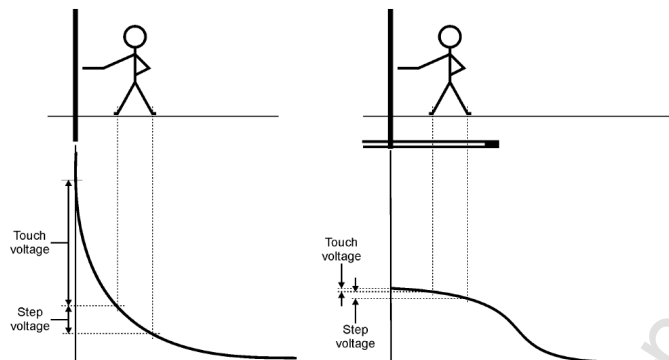


Рисунок 1.

Напряжение прикосновения и напряжение шага

На практике не представляет труда обеспечить действительно низкое значение сопротивления пары электрод-земля и, соответственно, выполнить все заземление посредством одного такого электрода. Типичная пространственная характеристика потенциала при растекании тока вблизи такого электрода изображена на рис. 1а. Очевидно, что при такой крутизне пространственной характеристики напряжений допустимых (безопасных) значений напряжения шага и прикосновения достигнуть трудно. На рис. 1б изображена типичная пространственная характеристика потенциала на поверхности земли при установке дополнительного горизонтального заземляющего электрода-кольца радиусом 1 м на глубине 0,5 м. Такой прием не только дополнительно снижает сопротивление пары электрод-земля, но и позволяет контролировать форму поля напряжения, уменьшая значения градиента потенциала, напряжений шага и прикосновения.

Как видно, напряжение прикосновения и шага вокруг места заземления значительно снижаются при устройстве дополнительного кольца, поскольку при этом уплощается поле напряженности обратно пропорционально и в соответствии с формой такого кольца в земле. При отсутствии контроля над формой поля напряженности значения напряжений прикосновения и шага наверняка превысят нормативные.

При организации заземляющего кольца или петли вокруг здания следует размещать его не ближе 1 м от стены здания на глубине, при которой на пару не окажут влияние возможное промерзание грунта зимой и высыхание летом. При отсутствии точных данных для определенной местности такая глубина должна быть не менее 0,5 м. Само кольцо или петля должны быть выполнены из меди сечением не менее 50 мм².

Заземляющее кольцо (петля) должны соединяться гальванически с системой заземления здания как внутри периметра, так и, по возможности, вне периметра здания или объекта в нескольких точках.

Система заземления участка

Путь с низким значением сопротивления к земле необходим, чтобы увести токи от удара молнии и замыкания в землю. Это ядро системы заземления и молниезащиты должно

быть выполнено в виде сетки, обеспечивающей соединение с низким значением сопротивления со всеми объектами с электрической проводимостью объекта и обеспечить распределенное соединение с землей. Она также должна обеспечить подходящую проводимость для всех возможно возникших токов, в том числе на кабелях и шинах, соединяющих удаленные объекты, и при этом обеспечить низкие значения напряжения касания и шагового напряжения.

На рис. 2 изображен вид сверху на сетку заземления завода. У зданий (1) стальная арматура и конструкции выполняют роль вертикальной и горизонтальной сетки заземления, соединенной с медной заземляющей петлей вокруг здания. В других случаях применена заземляющая сетка. На пространстве между зданиями шаг сетки составляет 5 м. Башня (2) и открыто расположенное оборудование (3) соединены с этой заземляющей сеткой. Каждый из объектов имеет несколько точек соединения с системой заземления. Для защиты кабелей между зданиями установлен защитный короб (4).

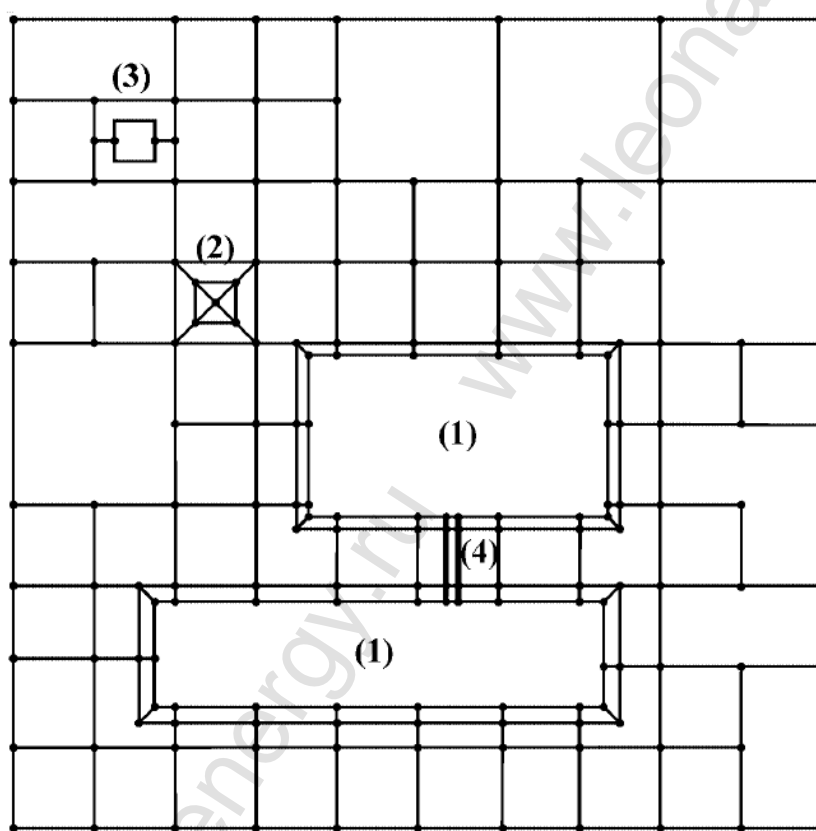


Рисунок 2.

Заземляющая
сетка
объекта

Система молниезащиты

Для снижения последствий от прямого попадания молнии организуется прямой путь с низким значением сопротивления от верхней точки объекта напрямую к земле. На уровне почвы токоотвод соединяется с заземляющим электродом и всей остальной системой заземления. На рис. 3 изображено устройство типичной системы молниезащиты.

Расстояние между соседними вертикальными токопроводами обычно составляет 10 м для обычного уровня защиты и 5 м для повышенного уровня защиты. Независимо от размеров и формы здания, число вертикальных токопроводов должно быть не менее двух, а их сечение не менее 20 мм^2 . Желательно на каждом этаже, но не реже чем каждые 20 м по вертикали соединять вертикальные токопроводы с системой заземления здания. Это делается для создания вокруг здания экрана Фарадея, за счет использования вертикальных токопроводов и горизонтальных элементов системы заземления.

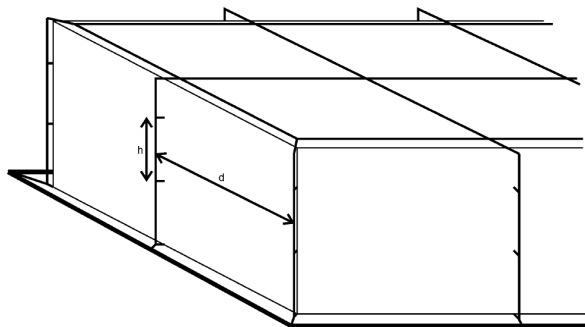


Рисунок 3.

Расположение тоководов
молниезащиты

Следует помнить, что ток от удара молнии является сверхскачком, поэтому последствия индуктивного и поверхностного эффекта снижаются при использовании плоских прямых проводников.

Продолжение в другом файле