

# ЗАЩИТА ОБЪЕКТОВ И СООРУЖЕНИЙ СВЯЗИ

## ОТ ОПАСНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ТЕХНОГЕННОГО И ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРА

**Как уберечь современное цифровое оборудование объектов связи от импульсных воздействий? Почему количество отказов оборудования, вызванных импульсными воздействиями (перенапряжениями) увеличивается год от года? Этим вопросам посвящена предлагаемая статья.**

### ПРИРОДА ИМПУЛЬСНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Импульсные воздействия – это короткие (десятки микросекунд) импульсы высокой энергии, возникающие на входах электронного оборудования объекта связи. О путях появления этих воздействий на входах оборудования мы поговорим позже, а пока выясним, почему число отказов оборудования, вызванных импульсными воздействиями (перенапряжениями), увеличивается.

Импульсные воздействия на оборудование объектов связи носят естественный и техногенный характер (рис.1). К естественным причинам, обусловленным грозовой активностью в регионе, относятся:

- прямые удары молнии в объект или его элементы, близкие и удаленные удары молнии, в том числе – высотные (межоблачные) разряды;
- прямые удары молнии в ЛЭП как на "высокой" (6–10 кВ и выше), так и на "низкой" (0,4 кВ) стороне; влияние близких, удаленных и высотных разрядов на распределительные сети 0,4 кВ.

Источники техногенной природы – это:

- нестационарные режимы на "высокой" стороне ЛЭП;
- коммутация комплексных нагрузок на распределительных сетях 0,4 кВ.

Энергия воздействия на оборудование объекта убывает в порядке приведенного перечисления, т.е. прямой удар молнии в объект оказывает гораздо большее по энергии воздействие на оборудование, чем импульсное воздействие, вызванное коммутацией нагрузок.

Однако с точки зрения интенсивности проявления картина обратная – воздействия техногенной природы случаются

во много раз чаще, чем вызванные естественными причинами. Например, импульсных воздействий из-за коммутации нагрузок несоизмеримо больше, чем прямых ударов молнии в объект связи. Кроме того, естественные источники перенапряжений действуют, как правило, в течение грозового сезона, а техногенные источники – круглогодично.

Число и интенсивность гроз на территории нашей страны за последнее время не претерпели заметных изменений, если не воспринимать всерьез ничем не подтвержденные мифы о глобальном изменении климата. Техногенные источники перенапряжений за последнее десятилетие также существенно не изменили свою интенсивность. Почему же возросло число сбоев и аварий в оборудовании объектов связи?

Причина заключается, прежде всего, в изменении элементной базы оборудования на объектах связи. При переходе на микропроцессорную технику, при всех ее достоинствах, само оборудование стало в большей степени подвержено импульсным перенапряжениям. Например, для поражения шагового искателя электромеханической АТС необходима энергия 10–15 Дж, а для поражения современного процессора достаточно единиц микроджоулей. Современная техника в 10 тыс. раз более чувствительна к сторонним воздействиям, в том числе и импульсного характера, чем техника "старого парка". Для достижения порога пробоя теперь достаточно энергии не только импульса молнии при прямом попадании в объект, но и энергии импульсов, порожденных удаленными разрядами и даже импульсов техногенной природы. Аналогично, импульсным воздействиям подвержено и активное оборудование оптических линий связи.

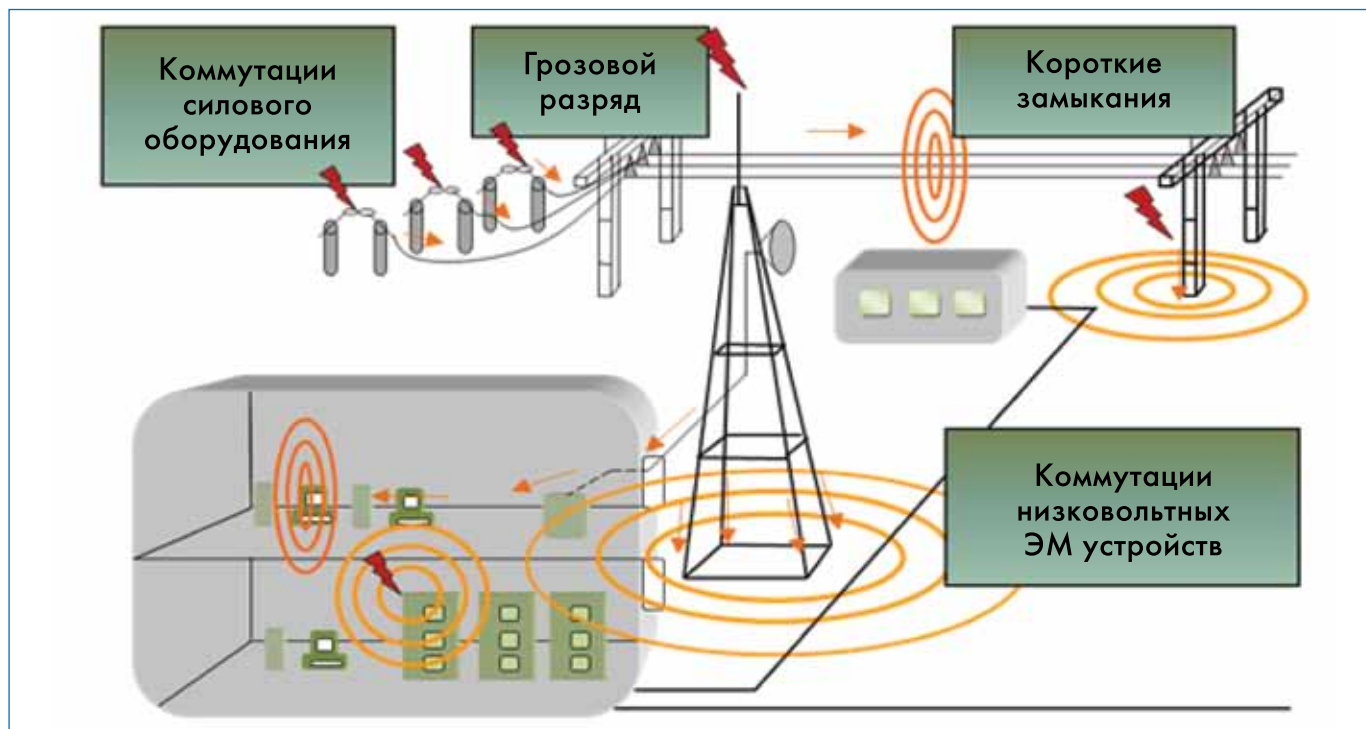


Рис. 1 Источники перенапряжений

### ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИМПУЛЬСНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

По современным представлениям, отраженным в нормативных документах (СО 153-34.21.122-2003. Инструкция по молниезащите зданий, сооружений и промышленных коммуникаций), ток молнии может достигать 200 кА. Эта величина получена для восходящих положительных молний. Разряд молнии имеет сложную структуру, но основную энергию несет первый импульс (первый удар) (рис.2).

Временные параметры импульса природной молнии имеют существенный разброс, поэтому для оценки стойкости оборудования и работоспособности устройств защиты от импульсных перенапряжений рассчитаны усредненные характеристики и на их основе разработана форма стандартного испытательного импульса (рис.3).

Импульс с параметрами 10/350 мкс ( $T_1/T_2$ , соотношение длительности фронта и длительности импульса по уровню

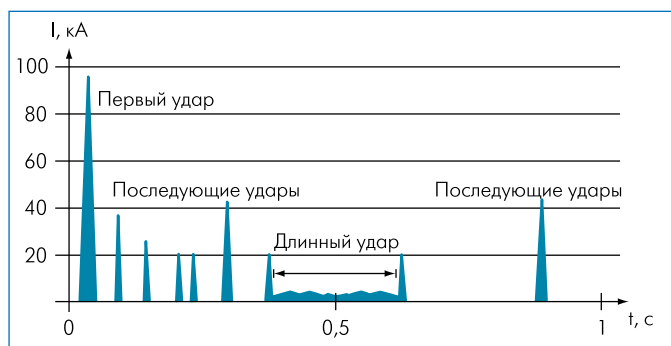


Рис.2 Состав разряда

50% спада, см. рис.3) описывает прямой ток молнии. Данный импульс характерен для ситуации, возникающей при попадании молнии в элементы объекта или в воздушную линию 0,4 кВ, питающую объект. Импульс с параметрами 8/20 мкс описывает удаленный (не прямой) удар молнии. Подобные воздействия возникают на оборудовании объекта при удаленных, в том числе высотных разрядах молнии. Кроме того, подобные импульсы приходят на оборудование объекта и от техногенных источников.

Какие мероприятия должны быть проведены на объекте для повышения стойкости оборудования к импульсным перенапряжениям? Прежде всего, на любом объекте должна быть спроектирована и смонтирована внешняя система молниезащиты. Устройство, принципы построения и расче-

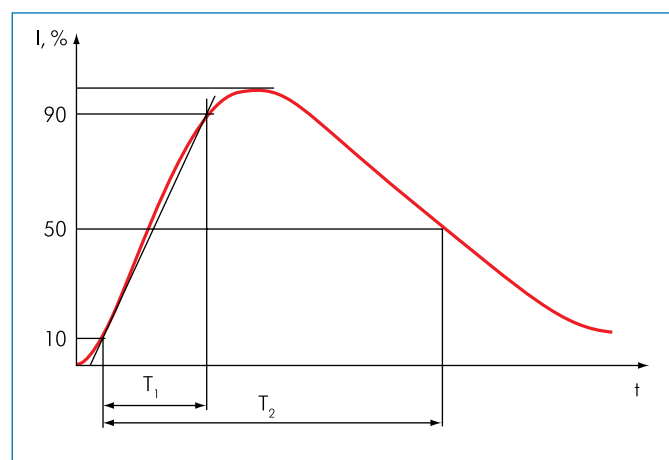


Рис.3 Стандартный испытательный импульс

та системы внешней молниезащиты подробно рассмотрены в инструкциях РД 34.21-122-87 и СО 153-34.21.122-2003. Отметим только, что вызывает ряд вопросов применение к современным объектам, имеющим в своем составе антенно-мачтовые сооружения (АМС) высотой 100 м и более, формул расчета зон защиты на основе защитного конуса. Например, в книге профессора Э.М.Базеляна "Физика молнии и молниезащиты" (см. Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Физика молнии и молниезащиты. – М.: Физматлит, 2001) приведена фотография молнии, поражающей Останкинскую башню в районе середины. Другой пример – на территории Среднеобского ПТУС наблюдался удар молнии в мачту ниже первого яруса оттяжек. По теории защитного конуса такие события невозможны. Однако, если теория противоречит практике, она, как минимум, нуждается в доработке. Поэтому для расчетов зон защиты объектов высотой 100 и более метров, в том числе и АМС, мы рекомендуем пользоваться методом "катящейся сферы", который упомянут в инструкции СО 153-34.21.122-2003. При оценке зон защиты по этому методу приведенные выше примеры вполне возможны.

#### ПУТИ ПРОНИКНОВЕНИЯ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Рассмотрим пути проникновения перенапряжений на оборудование объекта связи. Резистивный путь (рис.4) – это прямой удар молнии в объект. Наиболее вероятная точка удара молнии – это АМС (изображена на рис.4 в виде елки) или система внешней молниезащиты на кровле объекта. Далее токи молнии через систему токоотводов стекают на заземлитель, сопротивление которого обычно около 4 Ом. При токе молнии 200 кА локальный бросок потенциала земли составит 800 кВ, при токе среднестатистической молнии по Ленинградской области в 25 кА бросок потенциала земли – 100 кВ. Это напряжение через заземляющие проводники окажется приложенным к корпусам оборудования. Потенциал фазных проводников питающей линии, опирающейся на удаленный заземлитель трансформаторной подстанции (ТП), составит 220 В. В результате разность потенциалов между корпусами и питающими (сигнальными) проводниками оборудования составит от 100 до 800 кВ. Это многократно превышает импульсную стой-

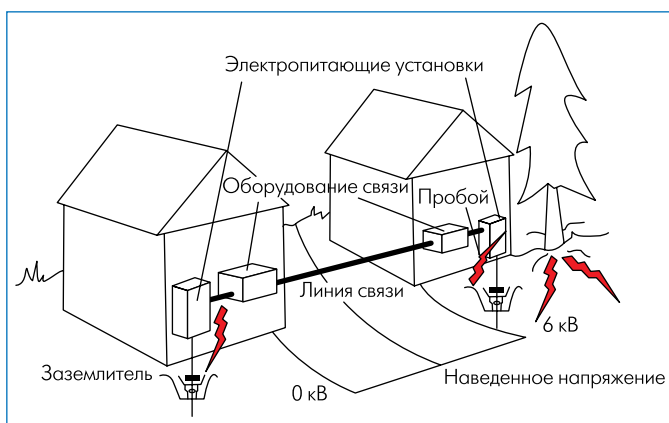


Рис.4 Резистивный путь проникновения перенапряжений

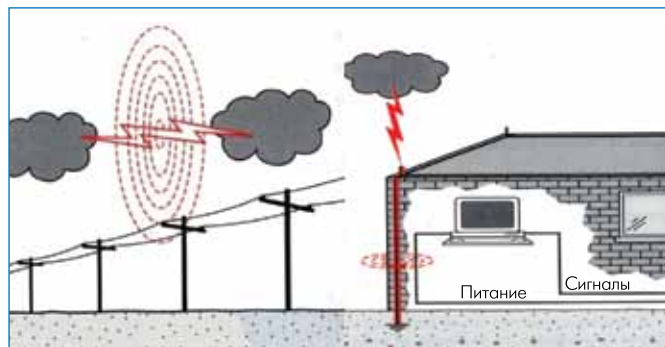


Рис.5 Индуктивный путь проникновения перенапряжений

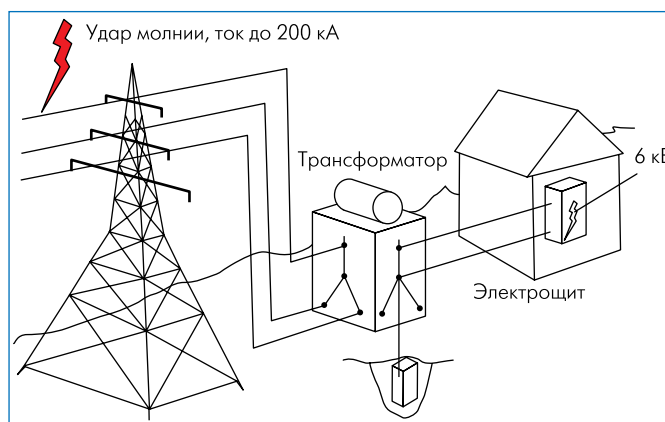


Рис.6 Емкостный путь проникновения перенапряжений

кость изоляции на вводах питания, не говоря уже о стойкости изоляции информационных вводов оборудования. В результате происходит пробой и выход из строя системы.

Индуктивный путь (рис.5) обусловлен удаленным ударом молнии, в том числе и высотными разрядами. В данном случае влияние разряда – полевое (индуктивное). На воздушную сигнальную линию или линию питания, а также на броню подвесного оптического кабеля от удаленного (высотного) разряда наводится импульс с параметрами  $8/20$  мкс. Вторая разновидность данного воздействия – это взаимодействие между влияющей и подверженной влиянию системами проводников. В качестве влияющей системы могут выступать токоотводы, броня магистральных кабелей связи и иные проводящие структуры, вводимые в объект, например – система водоснабжения и отопления. При параллельной прокладке влияющая система передает часть накопленной энергии в подверженную влиянию систему, в качестве которой выступают системы питания переменным и постоянным током или система сигнальных (информационных) проводников. В результате на питающих или информационных вводах оборудования появляются импульсные воздействия.

Емкостный путь (рис.6) связан с ударом молнии в ЛЭП. В случае удара молнии в высокую сторону ЛЭП, что происходит достаточно часто, от места воздействия в обе стороны расходятся волны перенапряжений. Достигая ТП, энергия через межобмоточные емкости достаточно эффективно передается на низкую сторону линии питания, далее попадает на ввод питания объекта и на оборудование. При

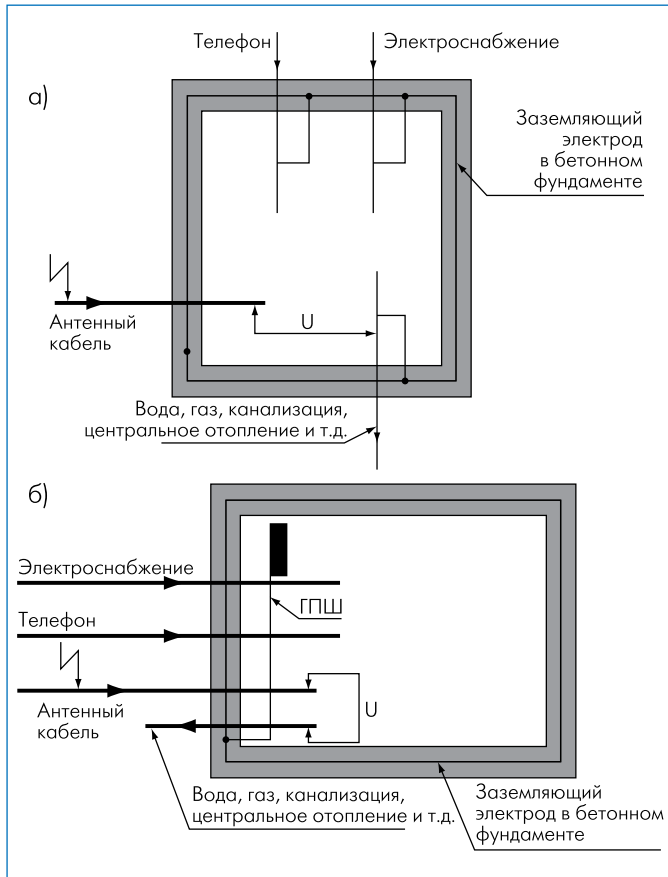


Рис.7 Монтаж объекта связи: а) без учета требований ГОСТ, б) с учетом требований ГОСТ

наличии оптоволоконных кабелей, проложенных на опорах, опасность поражения оборудования увеличивается – к воздействию, пришедшему по линии питания объекта, добавляются прямые токи молнии, протекающие по броне и иным проводящим структурам кабеля.

Отметим, что волоконно-оптическое оборудование с точки зрения стойкости к импульсным перенапряжениям от всех трех типов воздействий на объект связи не имеет решающих преимуществ перед оборудованием с медножильными кабелями.

### МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ ОБОРУДОВАНИЯ ОТ ИМПУЛЬСНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Основная мера по защите оборудования от импульсных перенапряжений – это создание на объекте системы выравнивания потенциалов. Основными документами, регламентирующими данное мероприятие, являются ПУЭ гл. 1,7 (Заземление и защитные меры электробезопасности), ГОСТР 50 571 (Электроустановки зданий) и инструкция РД 45.155.2000 (Заземление и выравнивание потенциалов аппаратуры ВОЛП на объектах проводной связи).

На рис.7 показана правильная (рис.7а) и неправильная (рис.7б) схемы ввода инженерных коммуникаций в здание, исходя из требований стойкости к импульсным перенапряжениям. Требования нормативной документации вполне определены. К сожалению, на практике объектов, выполненных по этой схеме, ничтожно мало.

Рассмотрим один из типичных примеров отступления от норм данных документов. В приведенном на рис.8 примере импульсные токи молнии по потенциалуравнивающему проводнику текут в направлении заземлителя объекта, заземлителя ТП, брони кабелей связи, а также систем жизнеобеспечения (водопровод, канализация и т.п.) как удаленных заземлителей, что приводит к появлению различных потенциалов в местах подключения (заземления) аппаратных комплексов. Эта разность потенциалов прикладывается к вводным каскадам питающих и информационных вводов оборудования. Когда она превышает стойкость изоляции, следует пробой и сбой/авария оборудования. Следовательно, оборудование объекта, смонтированного по данной схеме, не может противостоять импульсным перенапряжениям.

При соблюдении требований ГОСТ (рис.9) протекание токов молнии по потенциалуравнивающему проводнику в направлении заземлителя объекта, заземлителя ТП, брони кабелей связи, а также систем жизнеобеспечения исключено и не приводит к появлению различных потенциалов в местах подключения (заземления) аппаратных комплексов. Весь процесс растекания сосредоточен на главной заземляющей шине. Уравнивающие токи по кольцевой потенци-

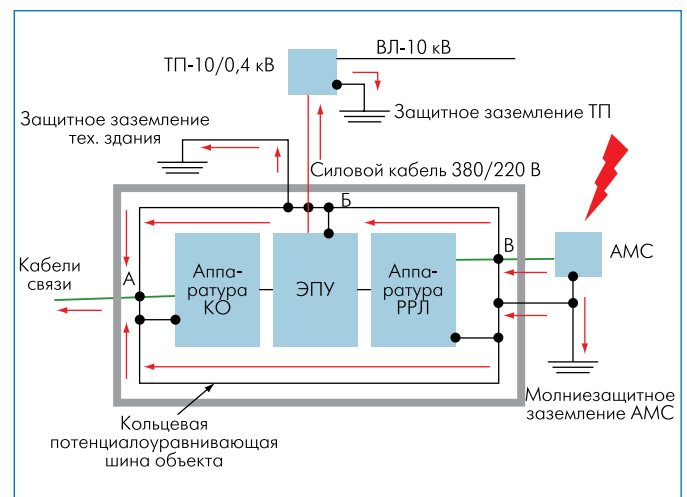


Рис.8 Ввод коммуникаций "ежом"

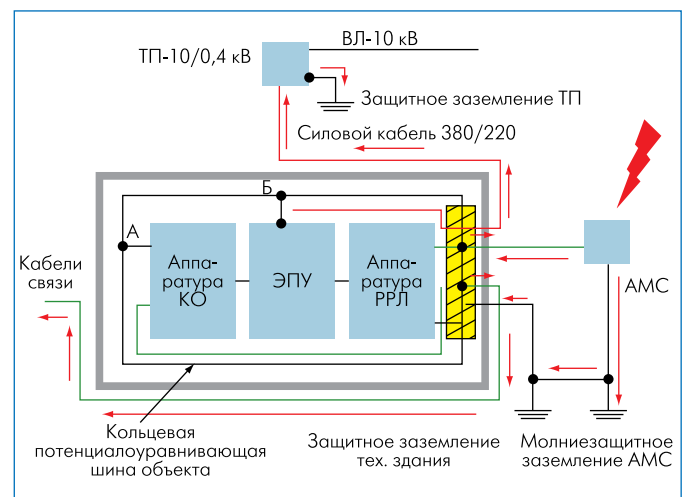


Рис.9 Ввод коммуникаций по ГОСТ





Рис. 10 ЩЗИП – внешний вид

алоуровнивающей шине не протекают, потенциал шины одинаков для всего объекта. В результате потенциал корпусов аппаратуры одинаков для всего объекта, разность потенциалов на внутренних питающих и информационных вводах оборудования не возникает.

Вывод: при выполнении требований ГОСТ и ПУЭ по созданию на объекте системы уравнивания потенциалов стойкость оборудования объекта к импульсным воздействиям повышается. Подключать к данной системе остальные проводящие системы (сигнальные и питающие системы проводников) необходимо через специализированные устройства защиты. В случае оптического оборудования система сигнальных проводников отсутствует, правда не всегда, но система питающих проводников переменным током 0,4 кВ и/или постоянным током в любом случае остается. Схемы подключения, параметры устройств защиты (цепей питания и сигнальных цепей), а также выбор мест их установки в соответствии с требованиями зонной концепции защиты неоднократно обсуждались в литературе.

С целью упрощения работ по защите объекта связи от перенапряжений компания "СТР" разработала и выпускает ряд стандартных щитов защиты от импульсных перенапряжений (ЩЗИП) для размещения в различных точках объекта (рис.10). Для изготовления щита по условиям заказчика достаточно заполнить опросный лист, в котором указываются параметры, необходимые для выбора схемы и типа устройств защиты.

Для повышения помехоустойчивости оборудования со стороны линии питания желательно использовать схему питания объекта с системой TN-S или TN-C-S. Насколько это актуально, иллюстрирует простой пример. При запуске оптоволоконного оборудования в центральном здании узла связи в Великом Новгороде система сообщала о неисправности из-за высокого коэффициента ошибок. Выявленная причина – высокий уровень шумов в системе питания оборудования, порождаемых самим объектом. Устойчивая и бесперебойная работа оптического оборудования началась только после индивиду-

ального перевода его на систему питания TN-S (разделение PE и N проводников осуществлено на ГЗШ объекта).

## КОНСТРУКТИВНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЗАЕМЛИТЕЛЯМ

Отдельно остановимся на заземлении объекта связи. Заземляющее устройство объекта связи обычно выполняет несколько совмещенных функций. Защитное заземление оборудования необходимо для защиты персонала от поражения электрическим током. Рабочее (функциональное) заземление служит для нормального функционирования оборудования. Молниеприемное заземление предназначено для передачи в "землю" энергии молнии от системы молниеприемников. Эти функции заземления, как правило, выполняет единое заземляющее устройство, представляющее собой группу заземлителей, связанных в единый комплекс через главную заземляющую шину объекта. Какое должно быть сопротивление заземляющего устройства (общее сопротивление заземляющего устройства в точке подключения оборудования) для выполнения этих функций?

Сопротивление защитного заземления должно обеспечивать безопасность персонала от поражения электрическим током в полосе частот до 50 Гц (токи промышленной частоты) и на постоянном токе. Рабочее (функциональное) заземление для объектов связи обладает, как правило, сопротивлением заземляющего устройства 4 Ом, при особых требованиях устанавливаемого оборудования – 2 Ом. Иногда встречаются и иные требования.

В молниеприемном заземлении задача заземляющего устройства – эффективно и в возможно большем объеме передать в "землю" энергию молнии. По современным воззрениям, на молниеприемный заземлитель уходит около 50% энергии молнии, оставшаяся часть энергии растечется по объекту и будет потрачена на создание разностей потенциалов между различными проводящими структурами объекта.

Ток молнии носит импульсный характер, а любой импульсный процесс представлен широким спектром частот. На амплитудно-частотной характеристике тока молнии (рис.11) видно, что основная энергия сосредоточена в полосе частот до 250–300 кГц. Очевидно, что заземляющее устройство должно обладать малым импедансом во всей этой полосе.

Общеизвестно, что сопротивление растеканию заземляющего устройства объекта при контроле или изготовлении измеряется на постоянном токе или на частотах, близких к 50 Гц. В результате возникает проблема – необходимо обеспечить работу с заданными параметрами в более широкой полосе частот, чем при измерениях.

Помимо требований по сопротивлению, устройство заземления должно быть долговечным, нормальный срок его службы – порядка 20 лет. Как выполнить эти требования?

Малое сопротивление растеканию достигается размещением заземлителя в грунтах с малым удельным сопротив-

лением или увеличением площади поверхности заземлителя. Идея переноса заземлителя в зону грунтов с малым удельным сопротивлением очень интересна, но не всегда осуществима на практике. В самом деле, при выборе местоположения объекта связи учитывается множество факторов, и сопротивление грунта – далеко не самый важный из них. Поэтому сопротивление грунтов в месте расположения объекта, как правило, не оптимально.

Увеличение площади поверхности заземлителя – это путь, по которому обычно вынуждены идти проектировщики или службы эксплуатации при проектировании (изготовлении) заземлителей. В результате около объекта связи возникают целые "поля" заземлителей в виде 2,5–3-метровых уголков, забитых в грунт и соединенных системой стальных полос. Сопротивление подобной структуры сильно зависит от температуры и влажности грунта, а значит – от времени года. С учетом неблагоприятных сезонных условий приходится увеличивать число элементов заземляющего устройства на 30–50%, что сказывается на его габаритах. В условиях поселка, а тем более города, очень непросто выбрать место для подобного устройства по соседству с объектом связи. Ведь в этом объекте сосредоточено множество кабелей – магистральных, абонентских и питающих.

Кроме того, для бесперебойной работы оборудования, особенно – современного цифрового, очень важен низкий уро-

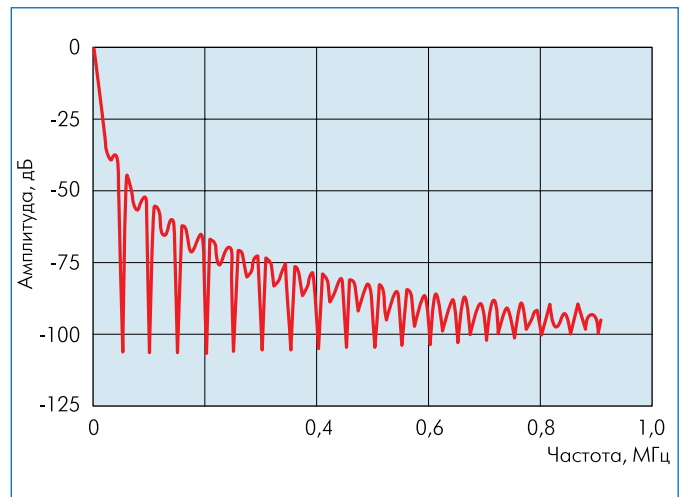


Рис. 11 АЧХ импульса молнии

вень наведенных шумов на заземляющем устройстве. Заземлитель, выполненный из множества горизонтальных полос и вертикальных элементов, имеет сложную пространственную структуру. Расположить подобное устройство по соседству с объектом связи и не попасть в зону влияния кабелей энергетики, магистральных кабелей связи или иных проводящих структур (водопровод, газопровод и т.п.) сторонних организаций в стесненных условиях крупного населенного пункта практически невозможно. У сложного заземляющего устройства всегда



Рис. 12 Конструкция глубинного заземлителя

найдутся составляющие, расположенные рядом и под малым углом к влияющим проводникам. В результате по элементам устройства начинают циркулировать наведенные токи, влекущие большой уровень шумов на заземляющем устройстве.

Малое сопротивление в полосе частот импульса молнии и импульсных воздействий техногенной природы можно обеспечить только уменьшением общих габаритов заземляющего устройства. У сложной крупногабаритной пространственной структуры велика собственная индуктивность, следовательно – низка проводимость для токов высоких частот. Большие габариты устройства вынуждают увеличивать и длину заземляющего проводника, что приводит к еще большему увеличению индуктивности заземляющего устройства и его сопротивления в области высоких частот. Кроме того, важно состояние поверхности заземлителя, так как в области высоких частот при распространении тока по проводнику заметную роль играет скин-эффект. Поэтому поверхность проводника, подверженная коррозии, вносит дополнительное сопротивление.

Долговечность устройства обычно достигается увеличением поперечного сечения элементов заземляющего устройства в расчете на более длительный процесс коррозии. Использование заземлителей из оцинкованной горячим способом стали, особенно отечественного производства, рядом специалистов признано не приемлемым, поскольку коррозионная стойкость такого покрытия невелика, что влечет малый срок службы. В частности, подобные результаты были представлены на Второй всероссийской конференции по заземлению, прошедшей в Новосибирске в 2002

году. Каким образом совместить в одном устройстве все эти противоречивые требования?

### ГЛУБИННЫЕ ЗАЗЕМЛИТЕЛИ

Решение поставленной задачи может заключаться в использовании заземляющих устройств иной конструкции – глубинных заземлителей. Устройства подобного рода рассмотрены еще в трудах основоположников теории и практики заземления В.В.Бурсдорфа и Р.Н.Карякина. Идея использования глубинного заземлителя состоит в том, что на глубинах 6–10 м обычно наблюдается существенное – в 5–10 и более раз – уменьшение удельного сопротивления грунта относительно приповерхностного слоя. В результате каждый метр глубинного заземлителя оказывается "эквивалентным" 5–10 м заземлителя в приповерхностной зоне. По опыту работы нашего предприятия в Санкт-Петербурге, на заземлителе, погруженном на глубину до 20 м, достигается сопротивление растеканию менее 4 Ом (лучший результат – 0,3 Ом). Кроме того, заземление объекта посредством одного (двух) электродов существенно экономит место. Следовательно, заземляющие устройства проще разместить на территории объекта, в том числе – в подвале здания. Помимо удобства в обслуживании и контроле, такое решение упрощает процедуры согласования проекта, а также гарантирует сохранность устройства от ущерба, наносимого земляными работами сторонних организаций.

Заземляющее устройство в виде единичного вертикального стержня (рис.12) проще разместить в зоне минимального влияния. Следовательно, уменьшаются наводки со стороны влияющих структур. Расположение заземляющего устройства вблизи объекта или в подвале здания позволяет уменьшить длину подверженного влиянию заземляющего проводника. Все это снижает уровень наведенных шумов на заземляющем устройстве объекта.

Сокращение длины заземляющего проводника снижает его индуктивность, что улучшает проводимость в области высоких частот. Изготовление заземлителя из стальных стержней с защитным покрытием (меднение) позволяет уменьшить сопротивление поверхности электрода токам высокой частоты за счет высокой проводимости и коррозионной стойкости покрытия, а также достичь срока службы в 25–30 лет.

Сама конструкция глубинного заземлителя отличается высокой технологичностью. Заземляющее устройство монтируется методом последовательного погружения составного электрода. Бригада из двух человек проводит все работы за один рабочий день, включая подготовку места и восстановление покрытия. Глубина погружения обычно составляет 20 м (максимально достигнутая – 38 м). Необходимые инструменты – электроломоток с энергией удара 20 Дж. Для доставки бригады, комплектующих и инструмента к месту проведения работ достаточно легкового автомобиля.

## КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

В завершение следует сказать, что только комплексный подход к защите современного, в том числе оптического оборудования связи позволяет многократно увеличить его стойкость к импульсным воздействиям и обеспечить длительную безаварийную работу объекта. Современное оборудование не может устойчиво функционировать без организации на объекте:

- системы защиты от импульсных перенапряжений со стороны питания переменным и постоянным током. Для оборудования с медножильными кабелями дополнительно необходима система защиты сигнальных линий;
- системы уравнивания потенциалов;
- качественного малощумящего заземления.

Практическое решение этой задачи на конкретном объекте, как правило, индивидуально и требует сбора подробной информации о ситуации на объекте с учетом всех особенностей его систем и их взаимодействия. Такая информация собирается в процессе обследования объекта специалистами, после чего формируется проектное решение. На основании проекта комплектуются устройства защиты и материалы для изготовления системы. В частности, работы по обследованию, проектированию и монтажу системы защиты оборудования объекта связи от импульсных воздействий могут быть выполнены силами специалистов нашей организации – ЗАО "СТР". ○



## Стандарт 802.11n утвержден!

Не прошло и семи лет, как IEEE утвердил финальную версию стандарта высокоскоростного беспроводного доступа для локальных сетей IEEE 802.11n. Случилось это 11 сентября 2009 года. Стандарт обеспечивает скорость обмена свыше 600 Мбит/с. В качестве финальной версии была утверждена версия draft 11.0 – случай почти небывалый, учитывая, что уже несколько лет производители выпускают оборудование, соответствующее IEEE 802.11n draft 2.0. А собственно создание стандарта официально началось 11 сентября 2002 году. Но хорошо, что все хорошо кончается. Компаниям, которые представляли свыше 400 специалистов из 20 стран – удалось договориться, совместимость с версией draft 2.0 практически сохранена.

Таким образом, в самое ближайшее время можно ожидать массового появления устройств 802.11n, сертифицированных альянсом Wi-Fi.

*По материалам IEEE.*