ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЕТЕВАЯ КОМПАНИЯ
ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»



СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ
ОАО «ФСК ЕЭС»

СТО 56947007-
29.240.044-2010

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства

Стандарт организации

Дата введения: 21.04.2010

ОАО «ФСК ЕЭС»
2010

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», объекты стандартизации и общие положения при разработке и применении стандартов организаций Российской Федерации - ГОСТ Р 1.4-2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения», правила построения, изложения, оформления и обозначения национальных стандартов Российской Федерации, общие требования к их содержанию, а также правила оформления и изложения изменений к национальным стандартам Российской Федерации - ГОСТ Р 1.5-2004.

Сведения о стандарте организации (Методических указаниях)

1 РАЗРАБОТАН: ООО «Научно-производственная фирма. Электротехника: наука и практика» (НПФ ЭЛНАП) при участии Московского энергетического института (МЭИ ТУ), ОАО «ФСК ЕЭС», ОАО «СО ЕЭС», ООО «Электроэнергетика: защита от помех» (ЭЗОП).

2 ВНЕСЕН: Департаментом информационно-технологических систем, Дирекцией технического регулирования и экологии ОАО «ФСК ЕЭС»

3 УТВЕРЖДЕН: приказом ОАО «ФСК ЕЭС» от 21.04.2010 № 265.

4 ВВЕДЕН ВЗАМЕН: РД 34.20.116-93 «Методические указания по защите вторичных цепей электрических станций и подстанций от импульсных помех».

Содержание

Введение ... 4
1 Область применения ... 4
2 Нормативные ссылки ... 4
3 Общие положения ... 6
4 Термины и определения ... 7
5 Обозначения и сокращения ... 9
6 Общие указания ... 10
8 Заземляющее устройство ... 17
8.1 Общие положения ... 17
8.2 Заземляющее устройство подстанций с открытыми распределительными устройствами ... 18
8.3 Заземление зданий и сооружений ... 23
8.4 Заземление КРУЭ ... 25
8.5 Заземление шкафов и панелей ... 25
9 Кабельная канализация ... 26
9.1 Общие положения ... 26
9.2 Методика расчета импульсных помех, наводимых во вторичных цепях при коротких замыканиях и коммутациях в первичных цепях ... 27
10 Молниезащита ... 30
11 Система оперативного постоянного тока ... 35
12 Система электропитания переменным током ... 36
13 Защита от электромагнитных полей радиочастотного диапазона ... 38
14 Защита от магнитных полей промышленной частоты ... 39
15 Защита от разрядов статического электричества ... 40
16 Авторский надзор за выполнением проекта и приемо-сдаточные испытания ... 43
Приложение А Библиография ... 45
Приложение Б Помехоустойчивость вторичного оборудования и систем связи ... 46
Приложение В Напряженность магнитного поля от токоограничивающих реакторов и шин первичных цепей ... 53
Приложение Г Программы для расчета уровней электромагнитных воздействий ... 72
Приложение Д Импульсные помехи ... 79
Приложение Е Заземление экранов кабелей ... 82
Приложение Ж Выбор сечения элементов заземляющих устройств ... 90
Приложение З Коэффициенты экранирования ... 97
Приложение И Типовые решения по обеспечению ЭМС вторичного оборудования и систем связи на электросетевых объектах ... 105

Введение

«Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства» (далее по тексту: Методические указания) разработаны в соответствии с Положением о технической политике ОАО «ФСК ЕЭС, СТО 56947007-29.240.10.028-2009 «Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС)».

Методические указания предназначены для решения вопросов обеспечения электромагнитной совместимости вторичного оборудования и систем связи при проектировании объектов электросетевого хозяйства.

Методические указания применяют при новом строительстве, техническом перевооружении и реконструкции объектов ЕНЭС, а также объектов, присоединяющихся к сетям ЕНЭС.

В Методических указаниях использованы требования и нормы, содержащиеся в Федеральных законах, Постановлениях Правительства Российской Федерации, нормативно-технических документах, действующих в электроэнергетике и ОАО «ФСК ЕЭС».

С вводом Методических указаний и стандарта «Руководство по обеспечению электромагнитной совместимости вторичного оборудования и систем связи электросетевых объектов» отменяются «Методические указания по защите вторичных цепей электрических станций и подстанций от импульсных помех» (РД 34.20.116-93).

1 Область применения

Настоящие Методические указания распространяются на объекты электросетевого хозяйства класса напряжения 6-750кВ.

В Методических указаниях рассмотрены технические решения по обеспечению электромагнитной совместимости (ЭМС) вторичного оборудования при компоновке объектов электросетевого хозяйства, выполнении проекта заземляющих устройств, молниезащиты, кабельной канализации, систем оперативного постоянного тока и электроснабжения на напряжении 0,4кВ переменного тока.

В Методических указаниях представлены методики расчета наибольших уровней электромагнитных воздействий на вторичное оборудование. В приложениях приведены справочный материал к разделам, примеры типовых проектных решений, обеспечивающих выполнение условий электромагнитной совместимости вторичного оборудования на объектах электросетевого хозяйства.

2 Нормативные ссылки

Настоящие Методические указания разработаны на основе следующей нормативно-технической документации:

- СТО 56947007-29.240.10.028-2009. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ.

- ГОСТ Р 51317.4 (МЭК 61000-4). Совместимость технических средств электромагнитная. Требования и методы испытаний.

- ГОСТ Р 51525 (МЭК 600255-22). Реле электрические. Совместимость технических средств электромагнитная. Требования и методы испытаний.

- ГОСТ Р 51317.6.2 (МЭК 61000-6-2-97). Совместимость технических средств электромагнитная. Помехоэмиссия от технических средств, применяемых в промышленных зонах. Нормы и методы испытаний.

- ГОСТ Р 51317.6.5 (МЭК 61000-6-5). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых на электростанциях и подстанциях. Требования и методы испытаний.

- ГОСТ Р 51318.22. Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи индустриальные от оборудования информационных технологий. Нормы и методы испытаний.

- ГОСТ Р 50932. Устойчивость оборудования проводной связи к электромагнитным помехам. Совместимость технических средств электромагнитная. Требования и методы испытаний.

- ГОСТ Р 50799. Устойчивость технических средств радиосвязи к электростатическим разрядам, импульсным помехам и динамическим изменениям напряжения сети электропитания. Совместимость технических средств электромагнитная. Требования и методы испытаний.

- ГОСТ Р 50628. Совместимость электромагнитная машин электронных вычислительных персональных. Устойчивость к электромагнитным помехам. Технические требования и методы испытаний.

- ГОСТ Р 50745. Системы бесперебойного питания приемников переменного тока и устройства для подавления сетевых импульсных помех. Совместимость технических средств электромагнитная. Требования и методы испытаний.

- ГОСТ Р 51179 (МЭК 870-2-1). Устройства и системы телемеханики. Ч.2. Условия эксплуатации. Раздел 1. Источники питания и электромагнитная совместимость.

- ГОСТ Р 50571.21 (МЭК 60364-5-548). Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Раздел 548. Заземляющие устройства и системы уравнивания электрических потенциалов в электроустановках, содержащих оборудование обработки информации.

- ГОСТ Р 50571.22 (МЭК 60364-7-707). Требования к специальным электроустановкам. Заземление оборудования обработки информации.

- ГОСТ Р 50571.19 (МЭК 60364-4-443).Требования по обеспечению безопасности. Защита от перенапряжений. Защита электроустановок от грозовых и коммутационных перенапряжений.

- ГОСТ Р 50571.20 (МЭК 60364-4-444).Требования по обеспечению безопасности. Защита от перенапряжений. Защита электроустановок от перенапряжений, вызванных электромагнитными воздействиями.

- ГОСТ 13109. Качество электрической энергии. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

- Стандарт МЭК 62305 в 5-ти частях. Молниезащита. 2003г.

- Стандарт МЭК 60099-4. Металлооксидные ограничители перенапряжений без искровых промежутков для электрических сетей переменного тока.

- Стандарт ANSI/TIA/EIA-607-1994 (Август 1, 1994). Требования к телекоммуникационной системе выравнивания потенциалов и заземления зданий.

- Правила устройства электроустановок. Раздел 1.7. Заземление и защитные меры электробезопасности.

- СО 153-34.21.122-2004. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций.

- РД 34.35.310-97. Общие технические требования к микропроцессорным устройствам защиты и автоматики энергосистем.

- РД 34.20.116-93.Методические указания по защите вторичных цепей электрических станций и подстанций от импульсных помех.

- СО 34.35.311.2004. Методические указания по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях.

- РД 153-34.0-20.525-00. Методические указания по проверке состояния заземляющих устройств электроустановок.

- РД 153-34.0-15.501-00. Методические указания по контролю и анализу качества электроэнергии системах электроснабжения общего назначения.

- Методические указания по ограничению высокочастотных коммутационных перенапряжений и защите от них электротехнического оборудования в распределительных устройствах 110кВ и выше. -М: СПО ОРГРЭС, 1998.

- Earthling of GIS. An application guide. (Заземление КРУЭ. Практическое руководство). CIGRE. Group 23.10. Elektra. №151. 1993.

- РД 153-34.0-03.150-00. Межотраслевые правила (правила техники безопасности) по охране труда при эксплуатации электроустановок

- СанПиН 2.2.4.1191 - 03. 2.2.4. Физические факторы производственной среды. Электромагнитные поля в производственных условиях. Минздрав России. 2003.

3 Общие положения

Вторичное оборудование, системы связи, кабели вторичной коммутации на протяжении всего срока службы подвергаются электромагнитным воздействиям разного вида. Невыполнение условий ЭМС приводит к

повреждению вторичного оборудования, неправильным действиям (отказам, излишним или ложным срабатываниям) устройств РЗА, перекрытию изоляции кабелей вторичной коммутации и клемм шкафов вторичной коммутации, сбою в работе автоматизированных рабочих мест персонала и т.д., существенно снижает надежность работы энергообъекта.

Критерием выполнения условий ЭМС является обеспечение электромагнитной обстановки, при которой наибольшие возможные уровни электромагнитных воздействий всех видов на объекте электросетевого хозяйства не превышают допустимых значений для каждого конкретного вторичного оборудования.

ЭМС вторичного оборудования и систем связи достигается при выполнении основных требований:

- применение вторичного оборудования с высоким уровнем помехозащищенности;
- применение первичного и вторичного оборудования с ограниченным уровнем эмиссии электромагнитных воздействий;
- выполнение комплекса организационных и технических мероприятий, обеспечивающих ограничение электромагнитных воздействий.

Каждое устройство испытывают на устойчивость к электромагнитным воздействиям. В технической документации на устройство производитель должен указывать уровень помехоустойчивости устройства, степень жесткости испытаний, а также уровень эмиссии электромагнитных воздействий. При аттестации оборудования, устанавливаемого на объектах ОАО «ФСК ЕЭС», следует предъявлять требования по испытанию на помехоустойчивость и помехоэмиссию. Рекомендуемые степени жесткости испытаний и параметры испытательных воздействий для устройств вторичного оборудования и систем связи приведены в Приложении Б.

Устойчивая и надежная работа вторичного оборудования и систем связи возможна только при условии создания на объекте ЭМО, при которой уровни электромагнитных воздействий всех видов не превышают допустимые для каждого конкретного устройства значения.

4 Термины и определения

Для целей настоящих Методических указаний применяются следующие термины и их определения:

Внешние устройства молниезащиты - комплекс, состоящий из молниеприемников, токоотводов и заземлителей.

Внешний контур заземления (здания) - замкнутый горизонтальный заземлитель, проложенный вокруг здания.

Внутреннее устройство заземления (здания) - совокупность заземляющих проводников, расположенных внутри здания.

Выносной заземлитель - заземлитель, выполненный за пределами территории энергообъекта.

Вторичное оборудование - аппаратура (устройства) релейной защиты и электроавтоматики, противоаварийной автоматики; автоматизированной системы управления технологическим процессом; автоматизированной системы диспетчерского управления; системы сбора и передачи информации; автоматизированной информационно-измерительной системы коммерческого учета электроэнергии; противопожарной системы; охранной сигнализации; видеонаблюдения; система оперативного постоянного тока; система собственных нужд напряжением 0,4кВ переменного тока; системы управления и сигнализации вспомогательного оборудования; система диагностики силового оборудования, контрольные кабели и т.п.

Заземляющее устройство - совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

Заземлитель - проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду.

Заземляющий проводник - проводник, соединяющий заземляемую часть (точку) с заземлителем.

Защитный проводник (PE-проводник) - проводник, предназначенный для целей электробезопасности.

Зона нулевого потенциала (относительная земля) - часть земли, находящаяся вне зоны влияния какого-либо заземлителя, электрический потенциал которой принимается равным нулю.

Излучаемая электромагнитная помеха - электромагнитная помеха, распространяющаяся в пространстве.

Класс (степень) жесткости - соответствующий уровень испытательного электромагнитного воздействия.

Кондуктивная электромагнитная помеха - электромагнитная помеха, распространяющаяся в проводящей среде.

Молниеприемник - часть молниеотвода, предназначенная для перехвата молнии.

Магистраль заземления - заземляющий проводник с двумя или более ответвлениями.

Напряжение прикосновения - напряжение между двумя точками цепи тока замыкания на землю (на корпус) при одновременном прикосновении к ним человека.

Разряд статического электричества - импульсный перенос электрического заряда между телами с разными электростатическими потенциалами при непосредственном контакте или при сближении их на некоторое, достаточно малое расстояние.

Пульсации напряжения постоянного тока - процесс периодического или случайного изменения постоянного напряжения относительно его среднего уровня в установившемся режиме работы источника, преобразователя электрической энергии или системы электроснабжения.

Показатель качества электрической энергии - величина, характеризующая качество электрической энергии по одному или нескольким ее параметрам.

Разность потенциалов на заземляющем устройстве - разность потенциалов, возникающая между различными точками заземляющего устройства при коротком замыкании на подстанции, вызванная продольными токами и сопротивлением проводников заземляющей системы.

Сопротивление заземляющего устройства - отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземлителя в землю

Ток замыкания на землю - ток, стекающий в землю в месте замыкания.

Токоотвод - часть молниеотвода, предназначенная для отвода тока молнии от молниеприемника к заземлителю.

Устойчивость к электромагнитной помехе, помехоустойчивость - способность ТС сохранять заданное качество функционирования при воздействии на него внешних помех с регламентируемыми значениями параметров в отсутствие дополнительных средств защиты от помех, не относящихся к принципу действия или построения ТС.

Уровень устойчивости к электромагнитной помехе, уровень помехоустойчивости - максимальный уровень электромагнитной помехи конкретного вида, воздействующей на определенное ТС, при котором ТС сохраняет заданное качество функционирования.

Электромагнитная совместимость технических средств (ЭМС ТС) - способность ТС функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим ТС.

Электромагнитная обстановка - совокупность электромагнитных явлений, процессов в заданной области пространства, в частотном и временном диапазонах.

Электромагнитная помеха - электромагнитное явление, процесс, которые ухудшают или могут ухудшить качество функционирования ТС.

Электромагнитное возмущение (воздействие) - любое электромагнитное явление, которое может ухудшить работу прибора, оборудования или системы или неблагоприятно влиять на срок службы.

Электромагнитное излучение от источника помехи - явление, процесс, при котором электромагнитная энергия излучается источником помехи в пространство в виде электромагнитных волн.

5 Обозначения и сокращения

АБ - аккумуляторная батарея
АВР - автоматическое включение резервного питания и оборудования
АСУ - автоматизированная система управления
ВЛ - воздушная линия
ВЧ - высокочастотная
ГЩУ - главный щит управления
ЗУ - заземляющее устройство

КЗ - короткое замыкание
КРУ - комплектное распределительное устройство
КРУЭ - комплектное распределительное устройство с элегазовой изоляцией
МЭК - Международная электротехническая комиссия
ОПН - ограничитель перенапряжений нелинейный
ОРУ - открытое распределительное устройство
ОПУ - общеподстанционный пункт управления
ПС - подстанция
РУ - распределительное устройство
РЗА - релейная защита и автоматика
РЩ - релейный щит
СОПТ - система оперативного постоянного тока
ТС - техническое средство, аппаратура
ТН - трансформатор напряжения
ТТ - трансформатор тока
УРОВ - устройство резервирования в случае отказа выключателей
ЩПТ - щит постоянного тока
ЭМО - электромагнитная обстановка
ЭМС - электромагнитная совместимость

6 Общие указания

6.1 Создание требуемой ЭМО для объектов нового строительства, комплексного технического перевооружения и реконструкции, расширения действующих объектов, при модернизации, замене отдельных устройств обеспечивается выполнением комплекса мероприятий:

- разработка технических решений по обеспечению ЭМС на стадии проекта;
- реализация принятых проектных решений в конструкторской, строительной, монтажной и другой документации на стадии разработки рабочей документации;
- авторский надзор за выполнением проектных решений при производстве строительно-монтажных работ;
- проведение приемо-сдаточных испытаний с целью подтверждения достаточности выполненных мероприятий.

6.2 Условия обеспечения ЭМС должны быть выполнены для следующих систем:

- релейной защиты;
- электроавтоматики: противоаварийной и автоматического регулирования;
- автоматизированной системы управления технологическим процессом;
- автоматизированной системы диспетчерского управления;
- системы сбора и передачи информации;
- автоматизированной системы контроля, учета и управления электропотреблением;
- противопожарной системы;
- охранной сигнализации.
- видеонаблюдения;

- оперативного постоянного тока;
- электроснабжения переменным током на напряжении 0,4кВ;
- системы управления и сигнализации вспомогательного оборудования;
- диагностики силового оборудования;
- связи.

6.3 На этапе приемо-сдаточных испытаний должен быть предусмотрен технический контроль электромагнитной обстановки и электромагнитной совместимости в объеме, указанном в СО 34.35.311-2004 «Методические указания по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях».

6.4 Для проведения расчетных оценок электромагнитной обстановки необходимы исходные данные. Объем исходных данных и методика их получения зависит от вида разрабатываемого проекта:

- вновь строящейся подстанции;
- полной реконструкции (техперевооружение) подстанции с заменой первичного и вторичного оборудования;
- поэтапной реконструкции (техперевооружение) подстанции с заменой части первичного и вторичного оборудования;
- частичной реконструкции (техперевооружение) подстанции с заменой отдельных систем;
- замены или оборудования новых отдельных систем; замены или установки новых устройств РЗА, связи и других систем.

Общими исходными данными для проведения оценки выполнения условий электромагнитной совместимости на подстанции являются:

- нормируемые параметры;
- электрическая оперативная схема, характеристики силового оборудования;
- результаты предпроектных изысканий;
- схема расположения оборудования с трассами прокладки кабелей цепей вторичной коммутации;
- расчетные значения токов однофазного (двухфазного) короткого замыкания на каждом из РУ 110 кВ и выше и токов двухфазного замыкания на РУ 6-35 кВ;
- характеристики оборудования систем оперативного постоянного тока и переменного тока.

6.5 В качестве нормируемых параметров должны быть приняты уровни испытательных электромагнитных воздействий (помехоустойчивость) для вторичного оборудования и устройств связи.

При проектировании заземляющих устройств дополнительно устанавливают допустимые токи в экранах, броне и оболочке кабелей цепей вторичной коммутации по условиям термической стойкости.

При проектировании молниезащиты устанавливают допустимые расстояния от заземляющего устройства молниеотводов до контрольных

кабелей, чтобы исключить возможность перекрытия с заземляющего устройства на кабели при ударе молнии в молниеотводы.

Для системы электроснабжения напряжением 0,4 кВ переменного тока применяют нормируемые параметры по ГОСТ 13109 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

6.6 Разработка проектных решений по обеспечению ЭМС вторичного оборудования и систем связи должна быть выполнена в соответствии с СТО 56947007-29.240.10.028-2009. «Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС)».

Для обеспечения ЭМС вторичного оборудования и систем связи при разработке проекта осуществляют:

- предпроектные изыскания и сбор исходных данных;
- расчетную оценку уровней электромагнитных воздействий на вторичное оборудование и системы связи;
- сопоставление рассчитанных уровней электромагнитных воздействий с уровнями помехоустойчивости вторичного оборудования и устройств связи;
- разработку технических решений по снижению уровней электромагнитных воздействий до допустимых значений.

6.7 Критерием обеспечения ЭМС являются условия, при которых уровень всех видов электромагнитных воздействий ниже уровня помехоустойчивости вторичного оборудования и систем связи.

6.8 Применение Методических указаний предусматривает решение вопросов ЭМС при компоновке объекта, разработке проекта заземляющего устройства, молниезащиты, кабельной канализации, СОПТ и собственных нужд, а также разработку специальных мероприятий по защите от статического электричества и электромагнитных полей.

Рекомендуется следующий порядок решения вопросов ЭМС при проектировании подстанций.

а) Сбор исходных данных, необходимых для расчетов уровней электромагнитных воздействий, а также данных о помехоустойчивости вторичного оборудования и систем связи.

б) Компоновка подстанции с учетом рекомендаций, изложенных в разделе 7. После выполнения компоновки подстанции должны быть проведены расчетные оценки напряженности электромагнитных полей. Для приближенных оценок напряженности электромагнитных полей используют справочные данные Приложения В, а для точных расчетов специальные компьютерные программы (см. Приложение Г). Если уровень напряженности электромагнитных полей превышает допустимые значения по помехоустойчивости вторичного оборудования и систем связи, то должны быть рассмотрены решения по изменению компоновки.

в) Разработка проекта заземляющего устройства подстанции в соответствии с требованиями ПУЭ и с учетом рекомендаций раздела 8.

Расчеты напряжений и токов, воздействующих на вторичное оборудование и системы связи при КЗ с помощью компьютерной программы. Сравнение полученных результатов расчетов с допустимыми значениями. При превышении допустимых значений разрабатывают мероприятия по усилению заземляющего устройства в соответствии с рекомендациями раздела 8.

г) Разработка проекта кабельной канализации с учетом рекомендаций раздела 9. Расчет уровней импульсных помех во вторичных цепях при коммутациях силового оборудования и КЗ с помощью компьютерной программы. Сравнение полученных результатов расчетов с допустимыми значениями. При превышении допустимых значений разрабатывают мероприятия по снижению уровней импульсных помех в соответствии с рекомендациями раздела 9.

д) Разработка проекта молниезащиты с учетом рекомендаций раздела 10. Расчет уровней импульсных помех во вторичных цепях при ударах молнии в молниеотводы с помощью компьютерной программы. Сравнение полученных результатов расчетов с допустимыми значениями. При превышении допустимых значений разрабатывают мероприятия по снижению уровней импульсных помех в соответствии с рекомендациями раздела 10.

е) Разработка проекта систем электропитания постоянного и переменного тока с учетом рекомендаций разделов 11 и 12.

ж) Применение мероприятий по защите от электромагнитных полей и разрядов статического электричества в соответствии с рекомендациями разделов 13-15.

Результаты расчетов уровней электромагнитных воздействий и разработанные мероприятия по обеспечению ЭМС вторичного оборудования и систем связи должны быть представлены в специальном разделе проекта по ЭМС. В разделе проекта по ЭМС должны быть приведены сравнительные данные по расчетным уровням электромагнитных воздействий и помехоустойчивости вторичного оборудования и систем связи. Примеры проектных решений по обеспечению ЭМС для различных подстанций приведены в Приложении И.

7 Компоновка оборудования, зданий и помещений

7.1 Уровень воздействий напряжений и токов промышленной частоты, электромагнитных полей и импульсных помех на вторичное оборудование зависит от решений по компоновке оборудования, зданий и помещений. Обеспечение благоприятной ЭМО при компоновке позволяет снизить затраты на применение дополнительных мероприятий по защите от опасных электромагнитных воздействий.

7.2 Уровень напряжений и токов промышленной частоты, воздействующих на вторичное оборудование при коротких замыканиях на

землю в первичных цепях, зависит от выбора места расположения здания ОПУ (РЩ,ГЩУ), АТ/Т на территории объекта. Особенно важно это учитывать на подстанциях с несколькими РУ разного класса напряжения.

Наибольшее значение напряжения, воздействующего на контрольные кабели и оборудование, определяют как разность потенциалов на ЗУ между местом КЗ и РЩ (ОПУ, ГЩУ). С ростом расстояния между РЩ (ОПУ, ГЩУ) и РУ возрастает и разность потенциалов. При ближнем внешнем КЗ на землю наибольший потенциал на ЗУ будет в месте заземления нейтрали АТ/Т. В этом случае наибольшее значение напряжения, воздействующего на вторичные кабели и оборудование, определяют как разность потенциалов на ЗУ между АТ/Т и РЩ. При КЗ на землю на шинах, расположенных между АТ/Т и РЩ (в точках, наиболее приближенных к РЩ) разность потенциалов на ЗУ между АТ/Т и РЩ имеет наибольшее значение. Например, при КЗ на ОРУ 110кВ для компоновки, приведенной на рис.1.

Для снижения напряжений и токов промышленной частоты, воздействующих на вторичное оборудование при КЗ на землю, при такой компоновке необходимо существенно увеличивать затраты на выравнивание потенциалов на ЗУ на всей территории подстанции по сравнению с компоновкой на рис 2.

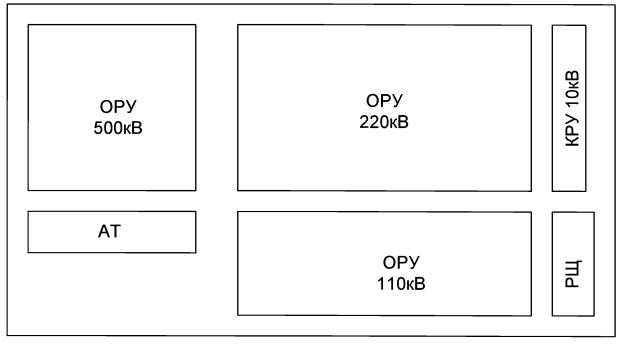
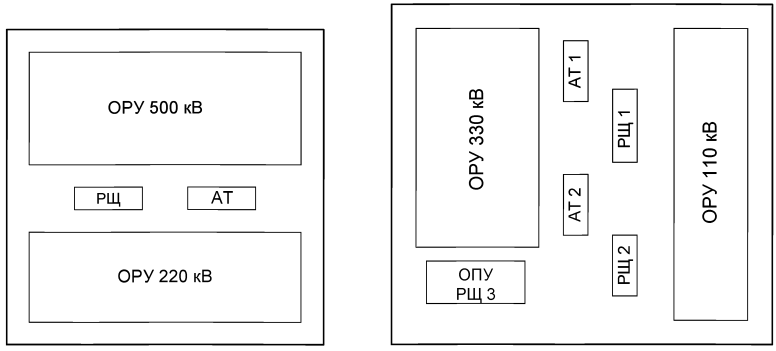


Рис. 1 Пример неудачной компоновки

Снижение уровней воздействия напряжений промышленной частоты на вторичное оборудование при КЗ на землю достигается (рис.2) размещением РЩ между РУ различного напряжения, применением для каждого РУ отдельного РЩ, расположенного вблизи РУ, или применением распределенных РЩ на несколько присоединений одного напряжения.

При выборе указанных мероприятий по компоновке необходимо также обеспечить допустимые уровни напряженности магнитных полей в местах размещения вторичного оборудования и допустимые значения токов в экранах контрольных кабелей.



а) б)

Рис.2 Примеры рекомендуемой компоновки

7.3 На подстанциях с ОРУ шины первичных цепей не должны размещаться над зданием РЩ или ОПУ. При такой компоновке возможно КЗ на здание РЩ (ОПУ, ГЩУ). При этом на ЗУ здания будет наибольший потенциал, ток КЗ будет растекаться по экранам и броне вторичных кабелей и может превысить допустимое по термической стойкости значение.

7.4 Наиболее эффективными мероприятиями по снижению уровней электромагнитных полей является удаление силового оборудования от вторичного оборудования. Реализовать эти мероприятия проще всего на этапе компоновки объекта. Если при компоновке объекта не приняты меры по разнесению источников электромагнитных полей и вторичного оборудования на безопасное расстояние, то необходимо применять дополнительные мероприятия по экранированию вторичного оборудования.

7.5 Источниками сильных магнитных полей промышленной частоты являются токоограничивающие реакторы и шины первичного оборудования.

В зависимости от типа реакторов, их расположения и номинального тока (1-5кА) допустимое расстояние до помещений, в которых расположено вторичное оборудование и устройства связи, составляет (см. Приложение В):

- от 5м до 11м (для 4-й степени жесткости испытаний на помехоустойчивость);
- от 3м до 9м (для 5-й степени жесткости испытаний на помехоустойчивость).

Для диспетчерских помещений, где персонал может находиться более 8 часов, допустимое расстояние составляет от 10м до 15м и более.

Точные расчеты напряженности магнитного поля проводят с помощью компьютерной программы (Приложение Г).

Напряженность магнитного поля в местах расположения устройств РЗА, счетчиков электроэнергии и другого оборудования в КРУ (6-20)кВ зависит от номинального тока (тока КЗ) и расположения шин РУ. При проектировании необходимо выбирать ячейки КРУ, в которых принятое заводом

изготовителем расположение шин обеспечивает допустимые значения напряженности магнитного поля, или дать заказ заводу изготовителю на изменение расположения шин.

Расположение шин высокого напряжения вблизи зданий ОПУ создает неблагоприятные условия для персонала из-за превышения санитарных норм по напряженности магнитного поля (см. Приложение В), а также для работы видеодисплейных терминалов. Допустимое расстояние определяется расчетом с помощью компьютерной программы (см. Приложение Г).

7.6 Уровень импульсных и периодических помех, возникающих при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне, зависит от расположения трасс прокладки вторичных кабелей (см. Приложение Д).

При компоновке оборудования и выборе трасс прокладки вторичных кабелей следует располагать кабельные трассы так, чтобы участки, параллельные системам шин или протяженным участкам ошиновки ячеек, располагались как можно дальше от первичных цепей. Снижение уровней импульсных помех достигается при расположении кабельные трассы перпендикулярно наиболее протяженным участкам ошиновки. В первую очередь кабельные трассы следует удалять от участков ошиновки, подвешенных наиболее низко.

7.7 При компоновке энергообъекта для защиты от прямого удара молнии на подстанциях применяют стержневые (отдельно стоящие или портальные) и тросовые молниеприемники. Правильное расположение молниеотводов по отношению к кабельным трассам, зданиям и сооружениям, в которых установлено вторичное оборудование, позволяет удалить источник электромагнитного возмущения от вторичных цепей и оборудования. Допустимое расстояние от молниеотводов до кабельных трасс, зданий и сооружений должно определяться расчетом.

Вынос стержневых и тросовых опор за внешний периметр объекта (в соответствии с указаниями РД 153-34.3-35.125-99 "Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений) снижает вероятность искровых перекрытий между заземлителями молниеотводов и кабельными коммуникациями, нарушающих работу вторичного оборудования.

Расположение антенных мачт и стержневых молниеотводов вблизи РЩ (ОПУ, ГЩУ) не рекомендуется, так как при ударе молнии возможен занос высоких потенциалов и токов, а также высокий уровень импульсных магнитных полей. В случае размещении вблизи РЩ (ОПУ/ГЩУ) антенных матч должны быть выполнены дополнительные мероприятия по защите вторичных цепей и аппаратуры от импульсных перенапряжений и магнитных полей.

Молниезащиту зданий выполняют в соответствии с СО-153-34.21.122-2003 (МЭК 62305).

7.8 Для снижения уровней электромагнитных полей радиочастотного диапазона от внутренних радиопередающих устройств связи, необходимо

размещать их на безопасном расстоянии от вторичного оборудования. Допустимое расстояние определяется в зависимости от мощности радиопередающего устройства (см. Приложение В).

8 Заземляющее устройство

8.1 Общие положения

8.1.1 Заземляющие устройства должно удовлетворять требованиям электробезопасности и ЭМС. Электробезопасность, характеризуемую предельно допустимыми значениями напряжения прикосновения, обеспечивают в первую очередь при любых условиях эксплуатации энергообъекта. Для обеспечения электробезопасности должны быть выполнены системы выравнивания и уравнивания потенциалов с помощью заземлителей, заземляющих проводников и проводников уравнивания потенциалов.

8.1.2 Мероприятия по обеспечению ЭМС при проектировании ЗУ различаются для энергообъектов:

- вновь строящегося;
- при полной реконструкции (техперевооружении) с заменой первичного и вторичного оборудования;
- при поэтапной реконструкции (техперевооружении) подстанции с заменой части первичного и вторичного оборудования;
- при частичной реконструкции (техперевооружении) подстанции с заменой отдельных систем;
- при замене или оборудовании новых отдельных систем; замены или установки новых устройств АСТУ, связи и других систем.

Особые требования предъявляют к ЗУ подстанций с КРУЭ.

8.1.3 Во всех случаях при проектировании ЗУ должны проводиться предпроектные изыскания.

Для вновь строящегося объекта и при полной реконструкции в объем предпроектных изысканий входит измерение удельного сопротивления грунта методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ). Измеренные значения эквивалентного удельного сопротивления грунта должны быть приведены к наиболее неблагоприятным климатическим условиям.

При поэтапной реконструкции и при частичной реконструкции следует провести обследование ЗУ в соответствии с требованиями РД 153-34.0-20.525-00 «Методические указания по проверке состояния заземляющих устройств электроустановок».

При замене или оборудовании новых отдельных систем, замены или установки новых устройств предпроектное обследование ЗУ должно быть проведено только в части, относящейся к этим устройствам (включая места прокладки вторичных цепей этих устройств) или системам.

8.1.4 При проектировании ЗУ токи КЗ и их составляющие (токи нейтралей, потенциалоповышающие токи и т.д.) должны быть рассчитаны с учётом развития энергосистемы. Выбор токов КЗ меньших по значению

должен быть обоснован. Время отключения КЗ на землю принимается с учетом работы УРОВ и времени работы выключателя.

8.2 Заземляющее устройство подстанций с открытыми распределительными устройствами

8.2.1 Напряжения и токи промышленной частоты, воздействующие на вторичное оборудование при коротких замыканиях на землю.

8.2.1.1 В сетях с эффективно заземленной нейтралью ток КЗ на землю на шинах РУ, в общем случае, складывается из тока КЗ от трансформаторов/автотрансформаторов (Т/АТ) и тока КЗ от энергосистемы (ЭС) (рис.3). От места КЗ ток возвращается в нейтрали Т/АТ и ЭС через заземляющее устройство и непосредственно через землю.

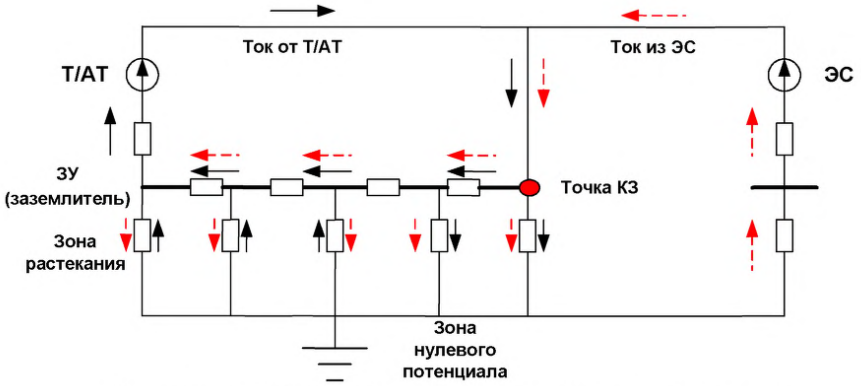


Рис. 3 Схема растекания тока при коротком замыкании на землю

Суммарное распределение потенциалов (рис.4) по ЗУ получают по принципу наложения как сумму распределения от токов КЗ от Т/АТ и от ЭС.

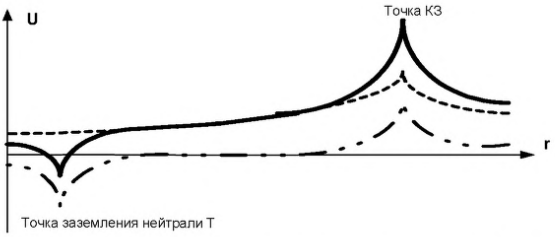


Рис. 4 Распределение потенциалов на заземляющем устройстве
——— - суммарное, ——— . . - от тока Т/АТ, _ _ - от тока ЭС

В сетях с изолированной нейтралью протекание наибольшего тока по ЗУ возможно при замыкании на землю двух фаз. В этом случае ток протекает от точки замыкания на землю одной фазы до точки замыкания на землю другой

фазы. Распределение потенциалов на ЗУ будет аналогично тому, как при протекании тока от Т/АТ (см. рис.4).

8.2.1.2 Нормируемыми параметрами по условиям обеспечения ЭМС для токов и напряжений промышленной частоты являются:

- напряжение на ЗУ (относительно зоны нулевого потенциала);
- напряжение между ЗУ силового оборудования (при КЗ на землю) и ЗУ в месте расположения вторичного оборудования, к которому приходят кабели от силового оборудования;
- токи по экранам, броне, оболочкам и проводникам.

Напряжение на ЗУ воздействует на изоляцию кабелей (связи, телемеханики и др.), отходящих от электросетевого объекта. Значение напряжения на ЗУ не должно превышать 5кВ (гл. 1.7 ПУЭ). Если напряжение на ЗУ выше 5кВ, то необходимо принимать меры по защите отходящих кабелей.

Разность потенциалов на ЗУ между точкой КЗ (или местом заземления нейтрали АТ/Т) и местом расположения вторичного оборудования, к которому приходят кабели с РУ, воздействует на изоляцию кабелей и вторичного оборудования. Наибольшее значение разности потенциалов на ЗУ не должно превышать 2кВ.

Токи по экранам, броне, оболочкам и проводникам не должны вызывать их термического повреждения. Допустимое значение токов зависит от сечения и материала экрана, брони, оболочки и проводника и определяется расчетом (см. Приложение Ж).

8.2.1.3 Для проектирования заземляющего устройства необходимо иметь следующие основные исходные данные:

- характеристики электрической структуры грунта (на глубину не менее 0,5 размеров диагонали ЗУ электросетевого объекта);
- планы расположения зданий, сооружений, заземляемого оборудования;
- схемы трасс кабелей вторичных цепей между зданиями и сооружениями, используемые марки кабелей;
- параметры (материал, геометрические размеры) и расположение естественных заземлителей;
- максимальные значения однофазных (двухфазных) токов коротких замыканий и токов в нейтралях силовых трансформаторов;
- места заземления нейтралей трансформаторов.

При выполнении проекта реконструкции (техперевооружения) подстанции на этапе предпроектных изысканий определяют параметры ЗУ в соответствии с требованиями РД 153-34.0-20.525-00.

8.2.1.4 Для вновь строящегося объекта выполняют ЗУ в соответствии с требованиями гл. 1.7 ПУЭ, руководствуясь Методическими материалами ведущих проектных институтов (см. Приложение А, [9,10,11]).

Схему ЗУ по первоначальному проектному решению следует принять в качестве исходных данных для проведения расчетов с помощью специальной компьютерной программы (см. Приложение Г).

При выполнении проекта реконструкции (техперевооружения) подстанции в качестве исходных данных следует принять исполнительную схему ЗУ, составленную при проведении предпроектных изысканиях.

8.2.1.5 При проведении расчетов необходимо рассматривать следующие режимы, различающиеся растеканием тока по ЗУ:

- однофазного (двухфазного) короткого замыкания на землю;
- ближнего внешнего короткого замыкания на землю;
- замыкания на землю двух фаз в сети с изолированной нейтралью.

В расчетной схеме должны быть учтены искусственные (заземлители и заземляющие проводники) и естественные (трубопроводы, оболочки, броня и экраны кабелей, металлоконструкции, железобетонные фундаменты, грозотросы) элементы заземляющего устройства.

В результате расчетов определить наибольшие значения напряжения на ЗУ, напряжения, воздействующего на изоляцию кабелей и вторичного оборудования, и значения токов в экранах, оболочках или броне кабелей.

Для проверки выполнения условий электробезопасности провести расчет напряжений прикосновения.

8.2.1.6 При значении напряжения на ЗУ выше 5кВ должны быть разработаны технические решения по уменьшению сопротивления ЗУ.

Уменьшение сопротивления ЗУ может быть достигнуто установкой вертикальных заземлителей по периметру ЗУ, глубинных заземлителей или обсадных труб скважин. Применение вертикальных заземлителей дает положительный эффект лишь при достижении слоев грунта с низким удельным сопротивлением.

При наличии вблизи объекта участков грунта с низким удельным сопротивлением можно снизить сопротивление ЗУ, оборудовав выносной заземлитель, обеспечив в месте его расположения условия электробезопасности.

При невозможности (или экономической нецелесообразности) выполнения указанных мероприятий, обеспечивают защиту отходящих проводных коммуникаций или применяют волоконно-оптические линии связи.

8.2.1.7 Если напряжение на ЗУ между точкой КЗ (или местом заземления нейтрали АТ/Т) и местом расположения вторичного оборудования, к которому приходят кабели с РУ превышает 2кВ, то необходимо применять технические решения по выравниванию потенциалов на ЗУ.

Для снижения потенциала на ЗУ оборудования (включая место заземления АТ/Т) выполнить соединения с сеткой заземлителей дополнительными параллельными заземляющими проводниками, увеличить сечение заземляющих проводников, уменьшить шаг сетки заземлителей вблизи оборудования или применяют материал с более высокой проводимостью (например, медь).

Для снижения разности потенциалов на ЗУ следует: уменьшить шаг сетки заземлителей; увеличить сечение заземлителей или применить материал с большей проводимостью; прокладывать в кабельных каналах дополнительные параллельные заземляющие проводники. При наличии нескольких ОРУ следует увеличить количество связей по заземлителям между ОРУ.

После выполнения указанных мероприятий произвести повторно расчет.

8.2.1.8 Для устранения опасности термического повреждения кабелей должны быть последовательно применены технические решения:

- увеличение количества связей ЗУ РЩ (ОПУ, ГРЩ) с сеткой заземлителей;
- прокладка в кабельной канализации параллельного проводника;
- использование кабелей с увеличенным сечением экрана, брони или оболочки.

8.2.1.9 Заземление цепей тока, приходящих с РУ от разных ТТ на одно устройство РЗА, рекомендуется выполнять на РЩ.

8.2.2 Импульсные помехи, обусловленные повышением потенциала заземлителя.

8.2.2.1 При коммутациях (через паразитные емкости оборудования на землю) и коротких замыканиях на землю через заземлитель протекает ток высокой частоты (ВЧ составляющая тока КЗ). Ток возникает вследствие переходного процесса в первичных цепях. На ЗУ оборудования возникает скачок потенциала.

Для цепей ВЧ-связи, напряжения и тока, заземленных на РУ импульсный потенциал с определенным коэффициентом ослабления передается на вход вторичного оборудования. Наименьшее значение коэффициента ослабления для экранированных кабелей с заземлением экранов с двух сторон равно 6. При применении неэкранированных кабелей или экранированных кабелей с заземлением экранов с одной стороны коэффициент ослабления принимают равным 1 для всех цепей.

Импульсный потенциал воздействует на изоляцию и клеммные зажимы вторичных кабелей цепей управления и сигнализации (гальванически не связанных с ЗУ), отходящих от оборудования, и может вызвать перекрытие изоляции. Наименьшее значение пробивного импульсного напряжение типовых клеммных зажимов не меньше 10 кВ. После пробоя изоляции импульсный потенциал передается на вход вторичного оборудования с коэффициентом ослабления не менее 6.

Если импульсный потенциал на ЗУ не превышает 10 кВ (пробоя изоляции клеммных зажимов не происходит), то импульсный потенциал передается через паразитные емкости по кабелям на входы вторичного оборудования с коэффициентом ослабления более 10.

8.2.2.3 Расчет значений импульсных помех, возникающих из-за подъема потенциалов на заземлении оборудования при коммутациях и коротких замыканиях на землю, рекомендуется проводить с помощью специальной компьютерной программы (см. Приложение Г). В программе моделируют

схему ЗУ объекта. В точке, где устанавливается оборудование, задают импульсную ВЧ составляющую тока КЗ. Параметры импульсного тока можно определить расчетом с помощью компьютерной программы или, для приближенных расчетов, могут быть взяты значения из таблиц 1 и 2.

Таблица 1

Параметры ВЧ составляющей тока КЗ (для ОРУ)

$U_{ном}$, кВ	110	220	330	500	750
$I_{ВЧ}$, кА	1	2	6	8	12
$f_{осн}$, МГц	1	0,8	0,3	0,15	0,1

Таблица 2

Параметры ВЧ составляющей тока КЗ (для КРУЭ)

$U_{ном}$, кВ	110	220	330	500
$I_{ВЧ}$, кА	6	12	18	25
$f_{осн}$, МГц	2	2	2	2

$U_{ном}$ - номинальное напряжение первичных цепей.

$I_{ВЧ}$ - наибольшее значение ВЧ составляющей тока КЗ.

$f_{осн}$ - основная частота колебаний импульсного тока.

В результате расчета определить потенциал на оборудовании - потенциал в месте ввода тока. При расчете помехи в измерительных цепях, заземление которых выполнено в клеммном шкафу, установленном отдельно (не на стойках оборудования или порталах) дополнительно определить потенциал в месте установки такого клеммного шкафа.

Полученный потенциал на ЗУ оборудования сравнить с допустимым значением для изоляции отходящих от оборудования кабелей или клеммников вторичных цепей.

8.2.2.4 Определить значение импульсной помехи, передающейся на входы устройств вторичного оборудования, для чего значение потенциала на ЗУ оборудования (или потенциала на ЗУ клеммного шкафа - для соответствующих цепей) разделить на коэффициент ослабления.

Полученные значения помехи во вторичных цепях (с учетом погрешности расчетов) сравнить с допустимым для оборудования и, тем самым, проверить выполнение требований ЭМС.

8.2.2.5 Если потенциал на оборудовании превышает допустимое значение, то должны быть последовательно приняты технические решения по уменьшению импульсного сопротивления ЗУ:

- увеличение числа заземляющих проводников;
- уменьшение шага сетки заземлителя вблизи оборудования;
- установка дополнительных вертикальных заземлителей вблизи оборудования.

8.2.2.6 При срабатывании ОПН от набегающей волны грозового перенапряжения через ЗУ проходит импульсный ток. Импульсный подъем потенциала возникает на ЗУ оборудования, расположенного вблизи ОПН. Расчет значений импульсных потенциалов рекомендуется провести с помощью специальной компьютерной программы (см. Приложение Г). Параметры импульсного тока при проведении расчетов принимают в соответствии с МЭК 60099-4.

Полученное значение потенциала на ЗУ оборудования необходимо сравнить с допустимым значением для изоляции отходящих от оборудования кабелей или клеммников вторичных цепей. Также необходимо определить значение импульсной помехи, передающейся на входы устройств вторичного оборудования. Для этого значение потенциала на ЗУ оборудования (или потенциала на ЗУ клеммного шкафа - для соответствующих цепей) следует разделить на коэффициент ослабления. Полученные значения помехи во вторичных цепях (с учетом погрешности расчетов) необходимо сравнить с допустимым для оборудования и, тем самым, проверить выполнение требований ЭМС.

8.3 Заземление зданий и сооружений

8.3.1. При выполнении устройства заземления внутри зданий ГЩУ, РЩ и ОПУ, а также других зданий и сооружений, содержащих вторичное оборудование и системы связи, необходимо использовать замкнутую сеть заземления. При этом в качестве элементов ЗУ используют все имеющиеся металлические конструкции, как горизонтальные, так и вертикальные (рамы, рельсы, балки, железобетонная арматура, кабельные лотки и каналы и т.д.).

8.3.2 Для заземления корпусов оборудования, экранов кабелей следует использовать общее внутреннее устройство заземления. К внутреннему устройству заземления относят: эквипотенциальные сетки; магистрали заземления.

К эквипотенциальным сеткам кратчайшим путем должны быть присоединены все следующие элементы:

- металлоконструкции зданий (стальные балки, колонны и т. п.);
- металлические трубопроводы, включая трубы для электропроводки, за исключением трубопроводов горючих жидкостей, горючих или взрывчатых газов и смесей;
- кабельные лотки, опорные кабельные конструкции и т. п.

8.3.3 Магистрали заземления должны образовывать замкнутые контуры по внутренним периметрам зданий. Магистрали заземления, расположенные на разных отметках зданий должны последовательно соединяться между собой не менее чем в 4-х точках.

К магистралям заземления кратчайшим путем присоединяют: металлические корпуса или рамы электрооборудования; металлические корпуса распределительных устройств и электрощитов; металлические рамы КРОССов; шкафы и установки постоянного тока; пульты управления; панели

приборов; ЭВМ; корпуса электродвигателей электрических аппаратов и трансформаторов.

Ряды рамных конструкций оборудования (шкафов) должны быть соединены между собой проводниками с шагом не более, чем 2 м. Каждый ряд рамной конструкции присоединяют к магистралям заземления не менее, чем в 4-х местах. Экраны кабелей и параллельные заземленные проводники присоединяют к шинам заземления (корпусам) шкафов/панелей. Внутреннее устройство заземления присоединяют к наружному контуру заземления не менее, чем в 4-х точках.

В случае если несколько различных корпусов оборудования (шкафов, панелей) установлены в ряд, то от одной стены до другой вдоль оборудования необходимо проложить металлическую шину, объединяющую все указанное оборудование (шкафы, панели).

Кабельные лотки из проводящих материалов должны заземляться на обоих концах и в местах пересечения других металлических элементов.

8.3.4 Заземление помещений связи должно быть выполнено в соответствии с требованиями стандарта ANSI/TIA/EIA-607-1994.

Аппаратура связи должна быть присоединена к заземляющему устройству здания посредством изолированного заземляющего проводника. Заземляющий проводник должен быть изготовлен из меди, и иметь сечение не менее 60 мм^2.

Заземляющий проводник присоединяют с одной стороны к главной заземляющей шине вводного распределительного устройства здания (щита собственных нужд), гальванически связанной с глухозаземлённой нейтралью трансформатора собственных нужд и металлоконструкциями здания. С другой стороны заземляющий проводник присоединяют к установленной в аппаратной шине заземления аппаратуры связи.

Блоки аппаратуры связи должны присоединяться к главной заземляющей шине аппаратной посредством заземляющих перемычек. Все металлические лотки телекоммуникационной кабельной системы, расположенные в аппаратной должны быть присоединены шлейфами к шине заземления аппаратной.

Шина заземления распределительного щитка аппаратуры связи, получающей питание от сети переменного тока или её корпус, должны быть соединены шлейфом с шиной заземления аппаратной.

Система заземления электрических сетей переменного тока 0,38кВ в помещении аппаратной должна удовлетворять требованиям TN-S системы, т. е. не допускается применение объединённого защитного и нулевого рабочего PEN-проводника.

8.3.5 Заземление устройств оборудования обработки информации выполняют в соответствии с ГОСТ Р 50571.21 и ГОСТ Р 50571.22.

8.4 Заземление КРУЭ

8.4.1 Для распределительных устройств с элегазовым оборудованием вследствие наличия в них более сложной электромагнитной обстановки большое значение имеет создание эквипотенциальной сети заземления или общей поверхности нулевого потенциала. Данная поверхность может представлять собой непрерывную стальную (медную) сетку, залитую бетоном, сетку или металлические пластины, расположенные на одном или нескольких уровнях.

В качестве сетки может применяться арматура железобетонной конструкции пола (при обеспечении электрического соединения арматуры между собой). Сетка присоединяется к закладным металлоконструкциям здания и к внешнему заземлителю равномерно по периметру. В здании должна быть выполнена система уравнивании потенциалов.

8.4.2 По периметру помещения с оборудованием КРУЭ следует проложить заземляющую шину. Шина соединяется с закладными металлоконструкциями, оборудованием КРУЭ и высокочастотной (ВЧ) сеткой.

8.4.3 От ВЧ сетки для заземления оборудования КРУЭ должны быть оборудованы выводы, число которых не менее 2-х для каждого присоединения КРУЭ. Все оборудование КРУЭ следует соединить между собой замкнутой шиной.

Корпус элегазового оборудования должен быть присоединен к сети заземления у основания каждой опоры (кронштейна). Данные соединения выполняют при помощи не менее 2-х проводников.

8.4.3 На электросетевом объекте с несколькими КРУЭ разного класса напряжения, с КРУЭ и ОРУ заземляющее устройство вне КРУЭ следует выполнять в соответствии с п.8.2 и 8.3.

8.5 Заземление шкафов и панелей

8.5.1 Выполнение системы заземления как внутри шкафа, так и шкафа на релейном щите, состоит в том, чтобы создать эквипотенциальную плоскость, к которой подключаются короткими соединительными проводниками все устройства (шкафы). Такой эквипотенциальной плоскостью внутри шкафа может служить проводящая задняя стенка (или специальная металлическая плоскость, возможно сетчатой структуры), к которой присоединяются все корпуса устройств и отдельные крепежные элементы (например, «DIN-рейки»).

8.5.2 Все подвижные и неподвижные элементы должны иметь не менее 2-х связей друг с другом (в том числе каждый элемент внутренней перегородки, «DIN-рейки», двери). Соединение с общей эквипотенциальной плоскостью выполняют либо при помощи гибкой связи, либо при помощи надежного контакта (контактная поверхность, освобожденная от покрытия или неокрашенная). Длина соединительных проводников должна быть не более 25см.

Двери должны иметь механизмы, обеспечивающие электрический контакт с корпусом в закрытом состоянии по всему периметру двери.

Присоединение к системе уравнивания потенциалов помещения осуществляют при помощи сварки или болтового соединения (предусмотреть оба варианта). Должно быть не менее 4 точек соединений.

Для заземления различных элементов, в том числе резервных жил вторичных цепей, должны быть предусмотрены шинки вдоль боковин, соединенные с корпусом шкафа.

8.6 Заземление экранов кабелей

Экраны вторичных кабелей следует заземлять с обоих концов.

Для заземления экранов рекомендуется использовать специальные зажимы или разъемы (см. Приложение Е).

9 Кабельная канализация

9.1 Общие положения

9.1.1 На электросетевых объектах применяют следующие основные виды кабелей (по назначению), которые прокладывают по территории РУ:

- контрольные кабели (цепи вторичной коммутации);
- кабели связи;
- кабели для питания постоянным и переменным током электроприводов силового оборудования;
- силовые кабели 6-500кВ;
- кабели собственных нужд (освещение, сварочные посты и т.д);
- кабели видеонаблюдения, охранной и пожарной сигнализации.

Количество кабелей, их протяженность и трасса прокладки зависит от компоновки РУ и количества оборудования.

Для прокладки кабелей на территории ОРУ применяют: кабельные каналы, лотки (железобетонные и металлические), короба, трубы, кабельные эстакады и непосредственно прокладка кабеля в земле.

9.1.2 Проектирование и монтаж кабельной канализации на электросетевых объектах осуществляют в соответствии с нормативными документами: ПУЭ (глава 2), СНиП 3.05.06-85 «Электротехнические устройства» и Методическими материалами, разработанными ведущими проектными организациями (ЭСП, ТЭП и др.).

Условия ЭМС должны быть выполнены для всех видов (по назначению) вторичных кабелей.

9.1.4 Уровни наведенных импульсных помех при ударах молнии в молниеотводы, коммутациях и КЗ в первичных цепях зависят от расположения трассы прокладки вторичных кабелей по отношению к первичным цепям и молниеотводам, типа кабельной канализации (лотки, каналы, тоннели) и типа кабелей (с экраном, металлической оболочкой, броней).

9.1.5 Трассы вторичных кабелей следует прокладывать, по возможности, перпендикулярно шинам первичных цепей, на максимальном удалении от шин первичных цепей и молниеотводов.

Коэффициент экранирования от импульсных электромагнитных полей повышается при прокладке кабелей в кабельных каналах или туннелях. Наибольший эффект экранирования достигается при прокладке кабелей ниже заземлителей.

9.1.6 Разработка проектного решения по кабельной канализации (трасса прокладки, тип кабельной канализации, тип кабелей) должна быть выполнена таким образом, чтобы возможный уровень импульсных помех не превышал допустимых значений (электрическая прочность изоляции и помехоустойчивость вторичного оборудования). Приближенные оценки уровня импульсных помех делают на основании данных, приведенных в Приложении Д. Для проектируемой кабельной канализации окончательное решение может быть принято только после проведения расчетов с помощью компьютерной программы (см. Приложение Г).

Если при техперевооружении используют существующую кабельную канализацию, то определение выполнения условий ЭМС должно быть осуществлено при проведении обследования на этапе предпроектных изысканий в соответствии с СО 34.35.311-2004.

9.2 Методика расчета импульсных помех, наводимых во вторичных цепях при коротких замыканиях и коммутациях в первичных цепях

9.2.1 Расчеты импульсных помех во вторичных цепях (при коммутациях и КЗ в первичных цепях) рекомендуется проводить с помощью компьютерной программы (см. Приложение Г).

9.2.2 Необходимыми данными для расчетного определения импульсных помех, обусловленных переходными процессами в первичных цепях, являются: электрическая оперативная схема электросетевого объекта; удельное сопротивление грунта (геоэлектрический разрез); план расположения первичного оборудования, высота подвеса ошиновки высокого напряжения; состав, расположение вторичного оборудования и план кабельных связей с силовым оборудованием.

В качестве исходных данных следует принять первоначальное проектное решение по кабельной канализации.

9.2.3 В компьютерной программе необходимо смоделировать нормальную оперативную схему первичных цепей при помощи емкостей оборудования на землю и ошиновки, а также вторичные кабели, проложенные по кабельным трассам от силового оборудования до релейного щита или другого помещения с вторичным оборудованием.

В расчетной модели допускается рассматривать одну фазу первичных цепей, ближайшую к кабельным трассам. Вторичные кабели располагают на поверхности земли, без экрана. На ошиновке и оборудовании задают в номинальное амплитудное фазное напряжение.

В схеме замещения первичной цепи (в узле) моделируются КЗ и проводится расчет переходного процесса. Должны быть определены амплитудно-частотные характеристики импульсных токов в первичных цепях

и наибольшее расчетное значение напряжения, воздействующее на изоляцию кабелей и входы вторичного оборудования. Расчет следует проводить для нескольких точек КЗ, определяя наиболее опасный случай. Как правило, достаточно провести расчет для 4-5 точек КЗ.

9.2.4 Рассчитанные значения наведенных импульсных напряжений в кабелях следует пересчитать с учетом коэффициента экранирования. Амплитуда импульсных напряжений обратно пропорциональна коэффициенту экранирования. Общий коэффициент экранирования получают перемножением коэффициентов отдельных элементов.

Приближенные наименьшие значения коэффициентов экранирования приведены в таблице 3. Более точные значения, с учетом частотных характеристик импульсных токов в первичных цепях, можно получить по зависимостям, приведенным в Приложении 3 или расчетом.

Таблица 3

Коэффициенты экранирования кабелей и кабельных конструкций

Кабельная конструкция	Минимальный коэффициент экранирования, о.е.
Неэкранированный кабель, экранированный кабель с заземлением экрана с одной стороны.	1
Экранированный кабель с заземлением экрана с двух сторон.	10
Железобетонный лоток по поверхности земли	1
Цельнометаллический, электрически непрерывный кабельный короб.	4
Полузаглубленный и подземный кабельный канал.	10
Кабельный тоннель.	20

При определении наибольшего возможного уровня помех следует учитывать помехи, передающиеся на входы оборудования из-за подъема импульсного потенциала на ЗУ.

9.2.5 Расчеты помех при коммутациях в первичных цепях следует выполнять аналогично п. 9.2.3. В программе должны быть заданы операции включения и отключения. Рекомендуется рассматривать все виды коммутаций, возможные в данной схеме. Наиболее распространенными являются:

- Включение (отключение) разъединителя (при отключенном выключателе).
- Включение (отключение) выключателя - подача (снятие) напряжения на присоединение или обходную систему шин.

При разработке проекта техперевооружения действующего электросетевого объекта на этапе предпроектных изысканий допускается определение уровня импульсных помех при коммутациях и КЗ экспериментально (натурные или имитационные эксперименты).

9.2.6 Расчетные значения импульсных напряжений необходимо сравнить с допустимым значением для аппаратуры (см. Приложение Б), тем самым, проверять выполнение требований ЭМС.

Если требования ЭМС не выполняются (расчетные значения выше допустимых), то для снижения уровня импульсных помех в кабельных линиях следует применить какое-либо из ниже указанных мероприятий по снижению уровня импульсных помех.

Дополнительное экранирование кабельных трасс:

- применение кабелей с более высоким коэффициентом экранирования (см. Приложение З);
- применение кабельных лотков, обеспечивающих дополнительное экранирование (с встроенной сеткой или цельнометаллические);
- прокладка кабелей в трубах, бронешлангах.

Удаление от ошиновки РУ:

- размещение ниже поверхности земли (в кабельных каналах);
- увеличение расстояния (в плане) между отдельными участками кабельной трассы и параллельным им участками ошиновки (системы шин или ошиновки Т, АТ, конденсаторов);
- изменение направления трассы таким образом, чтобы большая часть ее проходила перпендикулярно (в плане) ошиновке;
- применение глубоких кабельных коммуникаций (заглубленные каналы, тоннели);
- использование специальных кабельных трасс, проходящих в обход РУ или перпендикулярно ошиновке, для отдельных цепей (локальная компьютерная сеть, интерфейсы связи пожарной сигнализации, цепи технологического видеонаблюдения);

Выставление специальных требований производителям аппаратуры по увеличению уровня помехоустойчивости устройств.

При наличии двух (или более) возможных трасс следует выбирать ту, которая располагается дальше (в плане) от ошиновки. При этом наибольшего отдаления следует добиваться (в порядке уменьшения влияния) от параллельно идущих систем шин, ошиновки трансформаторов, автотрансформаторов, других наиболее протяженных отрезков ошиновки. Из двух одинаковых трасс следует выбирать трассу, которая на большей протяженности расположена перпендикулярно ближайшим отрезкам ошиновки.

9.2.7 При прокладке вторичных кабелей по территории РУ необходимо применять кабели с экраном, металлической оболочкой или броней. Применение неэкранированных кабелей должно быть обосновано расчетом.

Рекомендации по выбору типа экрана кабелей и заземлению экранов приведены в Приложении Е.

9.2.8 Установка устройств по ограничению импульсных перенапряжений во вторичных цепях применяется в исключительных случаях.

Выбор таких устройств и решение об их применении должны быть осуществлены на основании специальной разработки. При выполнении проекта установки устройств по ограничению импульсных перенапряжений необходимо показать, что устанавливаемые устройства не влияют на полезный сигнал и не снижают надежности работы вторичного оборудования. Также должны быть даны указания по обслуживанию устройств в эксплуатации.

9.2.9 Прокладку контрольных и силовых кабелей по общей трассе рекомендуется выполнять на определенном расстоянии. Допустимое расстояние зависит от типа, назначения кабельных линий и определяется расчетом.

Рекомендуется прокладывать контрольные кабели на расстоянии не менее:

0,25м — до силовых кабелей 0,4 кВ, ток КЗ в которых не превышает 1кА, не используемых для питания потребителей на молниеотводах.

0,6 м — до других силовых кабелей до 1 кВ,

1,2 м - до силовых кабелей выше 1 кВ.

10 Молниезащита

10.1 Молниезащитные устройства на электросетевых объектах обеспечивают защиту оборудования, зданий и сооружений от прямых ударов молнии. Электромагнитное воздействие молнии на вторичное оборудование следует определять при ударах молнии в молниеотводы.

10.2 Нормируемыми параметрами при определении уровней электромагнитных воздействий молнии принимают:

- напряженность импульсного магнитного поля в местах размещения вторичного оборудования;
- напряжение на токоотводах и ЗУ молниеотводов в местах прокладки вторичных кабелей;
- наведенные во вторичных цепях импульсные напряжения.

Наибольшее значение напряженности импульсного магнитного поля в местах размещения вторичного оборудования не должно превышать 300А/м (см. Приложение Б).

Наибольшее напряжение на токоотводах и ЗУ молниеотводов по отношению к вторичным кабелям не должно превышать значения напряжения электрического пробоя с токоотводов и ЗУ на кабели. Среднюю напряженность электрического пробоя в грунте принимают 300кВ/м, а в воздухе - 500кВ/м ([12], Приложение А). Напряженность электрического пробоя по поверхности земли принимают 100кВ/м ([13], Приложение А).

При прохождении трассы вторичных кабелей вблизи молниеотводов возможен пробой изоляции кабелей из-за высокого потенциала на поверхности земли. Среднюю напряженность электрического пробоя изоляции кабелей принимают в соответствии с данными производителя (например, для кабелей типа КВВГ не более 15кВ/мм).

Наибольшее значение импульсного потенциала, выносимого по ЗУ в точки заземления вторичных цепей (цепи тока и напряжения), не должно превышать испытательное напряжение (с учетом коэффициента ослабления при прохождении импульса от РУ до РЩ) вторичного оборудования (см. Приложение Б, табл.Б.1 п.7). Коэффициент ослабления определяется расчетом с помощью компьютерной программы (см. Приложение Г). Для вторичных цепей, которые не заземляются на РУ, импульсный потенциал не должен превышать 10кВ. Наименьшее значение коэффициента ослабления для таких цепей принимают равным 10.

Наведенные от молнии импульсные напряжения во вторичных цепях не должны превышать значений испытательных напряжений вторичного оборудования на помехоустойчивость (см. Приложение Б, табл.Б.1 п.7).

Нормируемые параметры тока молнии для принятых уровней надежности защиты приведены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4

Параметры тока положительной молнии

Параметры тока	Уровень защиты		
	I	II	III - IV
Максимальное значение I_M, кА	200	150	100
Длительность фронта T_1, мкс	10	10	10
Длительность импульса T_2, мкс	350	350	350
Заряд Q_S, Кл	100	75	50
Удельная энергия W/R, МДж/Ом	10	5,6	2,5

Таблица 5

Параметры повторных импульсов тока отрицательной молнии

Параметры тока	Уровень защиты		
	I	II	III - IV
Максимальное значение I_M, кА	50	37,5	25
Длительность фронта T_1, мкс	0,25	0,25	0,25
Длительность импульса T_2, мкс	100	100	100
Средняя крутизна di/dt, кА/мкс	200	150	100

Для электросетевых объектов в соответствии с СО153-34.21.122-2003 рекомендуется, как правило, принимать уровень надежности защиты IV. Для зданий и сооружений, расположенных на электросетевом объекте, по условиям взрыво- и пожароопасности, а также по требованиям надежного функционирования объекта могут быть приняты более высокие уровни надежности защиты.

10.3 Необходимые исходные данные для определения наводимых во вторичных цепях импульсных помех и потенциалов на ЗУ при ударах молнии в молниеотводы:

- характеристики электрической структуры грунта;
- план расположения молниеотводов, зданий и сооружений на территории электросетевого объекта;
- сведения о кабельной канализации (трасса, тип кабелей, вид кабельной канализации).

Данные об электрической структуре грунта должны быть определены в ходе предпроектных изысканий.

При выполнении проекта реконструкции (техперевооружения) электросетевого объекта на этапе предпроектных изысканий должна быть определена исполнительная схема заземляющего устройства.

10.4. Расстояния от молниеотводов (токоотводов) до места установки вторичного оборудования по условию воздействия импульсных магнитных полей следует рассчитывать с помощью компьютерной программы (см. Приложение Г) или приближенно по выражению:

$$L > I_м/(2 \cdot \pi \cdot H_{доп} \cdot K_{экр}),$$

где L - безопасное расстояние от молниеприемника или токоотвода до места установки вторичного оборудования (м);

$I_м$ - ток молнии (А);

$H_{доп}$ - допустимая для оборудования напряженность импульсного магнитного поля.

$K_{экр}$ - коэффициент экранирования (ослабления поля).

Коэффициент экранирования можно определить по зависимостям, приведенным в Приложении З.

В тех случаях, когда для принятых проектных решений уровни импульсных магнитных полей превышают допустимые значения, необходимо изменить место размещения молниеотводов (токоотводов) или выполнить дополнительное экранирование помещений.

10.5 Расстояния от молниеотводов до кабельных коммуникаций должно быть определено из условия, что импульсные помехи при ударах молнии, наводимые во вторичных цепях, не будут превышать допустимые уровни (п.10.2).

Расчеты помех рекомендуется проводить с помощью компьютерной программы (см. Приложение Г). Амплитуда наведенных импульсных напряжений обратно пропорциональна коэффициенту экранирования. Общий коэффициент экранирования получают перемножением коэффициентов отдельных элементов. Значения коэффициентов экранирования получают по зависимостям, приведенным в Приложении З, или расчетом.

Для снижения уровня импульсных помех рекомендуется применить одно из следующих мероприятий: изменить трассу прокладки вторичных кабелей или место размещения молниеотводов (токоотводов); принять меры по увеличению коэффициента экранирования кабельной канализации (прокладка в кабельных каналах, металлических коробах или трубах, применение кабелей с более высоким коэффициентом экранирования); установить во вторичных цепях устройства ограничения импульсных

перенапряжений.

Устройства по ограничению импульсных перенапряжений во вторичных цепях применяют в исключительных случаях. Выбор таких устройств и решение об их применении должны быть осуществлены на основании специальной разработки.

10.6 Расчеты потенциалов на ЗУ при ударе молнии в молниеотвод рекомендуется проводить с помощью компьютерной программы (см. Приложение Г). При разработке проекта техперевооружения распределение потенциалов на ЗУ может определяться на этапе предпроектных изысканий экспериментально методом имитационного моделирования в соответствии с СО 34.35.311.2004.

В тех случаях, когда для принятых условий не выполняются требования по уровням импульсных помех или по условию обратного перекрытия с ЗУ на кабели необходимо применить одно из указанных ниже мероприятий:

- снизить импульсное сопротивление ЗУ молниеотвода, прокладывая дополнительно заземлители и заземляющие проводники;
- изменить трассу прокладки вторичных кабелей;
- изменить место размещения молниеотводов (токоотводов).

После реализации указанных мероприятий повторно следует провести расчеты.

10.7 Для защиты от вторичных воздействий молнии, при применении в качестве молниеприемника сетки, на зданиях рекомендуется использовать металлические конструкции зданий в качестве токоотводов, заземляющих проводников и заземлителей системы молниезащиты.

Для зданий с железобетонными конструкциями необходимо максимально использовать естественные элементы. В качестве молниезащитных заземлителей использовать железобетонные фундаменты зданий и внешние заземлители электросетевого объекта. В качестве токоотводов использовать стальные каркасы зданий (стальные колоны, фермы и балки). Молниеприемную часть зданий следует выполнить из искусственных молниеприемников в виде «сетки» и (или) стержневых молниеприемников в соответствие с требованиями нормативных документов. Обеспечить электрическую непрерывность стального каркаса и фундамента здания следующими способами:

- не менее 50% соединений арматурных стержней фундамента между собой выполнить сваркой или вязкой проволокой;
- выполнить сварочное соединение всех стальных колон здания с арматурой его железобетонного фундамента;
- выполнить сварочное или болтовое соединение всех стальных колон здания с расположенными под крышей поперечными фермами;
- выполнить сварочное или болтовое соединение поперечных ферм с продольными балками.

Если в здании применяются не стальные, а железобетонные колоны, то в каждой колоне по всей ее высоте необходимо обеспечить электрическую

непрерывность не менее 2-х арматурных стержней, которые и следует присоединять к арматуре фундамента и фермам. Часть расположенных по периметру здания стальных колонн присоединить проводниками к внешнему заземлителю электросетевого объекта. Среднее расстояние между присоединяемыми к заземлителю колоннами должно быть не более 20 м. Соединить горизонтальные молниеприемные проводники, прокладываемые по периметру крыши, с колоннами здания. Расстояние между точками присоединений - не более 20 м.

Гидроизоляцию фундамента здания следует выполнять битумными или битумно-латексными покрытиями. Применение полимерных покрытий при использовании фундамента здания в качестве молниезащитного заземлителя не допускается.

При наличии нескольких зданий, между которыми проложены вторичные кабели, необходимо прокладывать дополнительные заземлители (параллельные заземляющие проводники) для снижения разности потенциалов на ЗУ и токовой нагрузки на экраны кабелей. Шаг сетки из заземлителей (количество параллельных проводников) определяется расчетом.

Для кирпичных зданий должна быть выполнена искусственная систему уравнивания потенциалов. Выбор количества и сечения проводников определяют расчетом.

На всех этажах следует обеспечить соединения металлических конструкций зданий с внутренней системой уравнивания потенциалов, а на отметке 0м -соединения с внешним заземляющим устройством.

В местах установки антенн и другого оборудования на крыше здания должны быть предусмотрены выводы для заземления оборудования. Все кабели, выходящие на крышу, прокладывать в стальных трубах.

Для защиты кабелей от вторичных проявлений тока молнии должны применяться экранированные кабели с заземлением экранов с двух сторон. Прокладку кабелей в пределах здания следует осуществлять в оцинкованных кабельных коробах, прокладку кабелей между зданиями рекомендуется осуществлять в подземных кабельных каналах или тоннелях.

10.8 При установке антенной мачты на электросетевом объекте должны быть выполнены мероприятия по защите от вторичных воздействий молнии системы связи и вторичного оборудования.

Выбор места расположения мачты и выполнение ЗУ определяется на основании расчетов распределения токов и потенциалов на ЗУ, наведенных напряжений в кабелях, а также импульсных магнитных полей в местах расположения вторичного оборудования (п.10.3-10.6).

Кабели связи и электропитания от антенной мачты должны прокладываться в стальных трубах, присоединенных к ЗУ. На входе кабелей в здание следует установить устройства защиты от импульсных перенапряжений.

Для защиты от электромагнитных воздействий молнии аппаратура радиосвязи может быть размещена рядом с радиомачтой в отдельном

металлическом контейнере. Внутри контейнера должна быть выполнена система уравнивания потенциалов и установлены устройства защиты от импульсных перенапряжений в кабелях связи и в цепях электропитания. Стенки контейнера должны обладать достаточными экранирующими свойствами.

Связь между аппаратурой в контейнере и вторичным оборудованием в других зданиях и сооружениях рекомендуется осуществлять оптоволоконным кабелем. В случае использования проводных цепей обмена информацией их следует снабжать устройствами защиты от перенапряжений.

11 Система оперативного постоянного тока

11.1 Питание устройств РЗА должно осуществляться по отдельным распределительным линиям (фидерам) по радиальной схеме.

11.2 Защитные коммутационные аппараты должны иметь быстродействие достаточное для того, чтобы при возникновении КЗ на любой из распределительных линий не допустить провалы напряжения на шинах ЩПТ более чем указано в Приложении Б (таблица Б.1 п.12).

11.3 СОПТ должна иметь защиту от коммутационных перенапряжений и импульсных помех. В качестве защитных аппаратов рекомендуется устанавливать в ЩПТ между каждым полюсом и «землей» кремниевые диоды (номинальный ток не менее 160 А, ток утечки менее 1 мА) или устройства защиты от импульсных перенапряжений.

11.4 Распределительные и групповые линии, используемые для питания устройств РЗА, установленных в распределительных устройствах (КРУЭ, ОРУ, КРУ) должны выполняться экранированными кабелями. Применение неэкранированных кабелей должно быть обосновано расчетом.

11.5 Не рекомендуется подключать к одной панели (сборке) ЩПТ цепи питания электроприемников, чувствительных к перенапряжениям и высокочастотным помехам (микропроцессорные устройства, устройства связи и т.п.) и цепи, выходящие за пределы помещения (цепи приводов включения/отключения высоковольтных выключателей).

11.6 Сборки питания устройств РЗА должны иметь отдельные вводы от АБ, независимые от цепей питания других электроприемников. Использование общих защитных коммутационных аппаратов для цепей питания устройств РЗА и цепей приводов включения/отключения высоковольтных выключателей и других силовых электроприемников недопустимо.

11.7 Размещение АБ и ЩПТ должно обеспечивать применение соединяющих их кабелей минимальной длинны. Следует избегать прокладки кабелей разных полюсов на большом расстоянии друг от друга.

11.8 Пульсации напряжения на выходе подзарядного устройства должны быть не более 10% от номинального напряжения (см. Приложение Б, п.11). Эмиссия радиопомех подзарядного устройства не должна превышать значений, указанных в Приложении Б, п.26.

11.9 Для защиты от наносекундных импульсных помех следует применять поочередно технические решения:

- выполнить развязку по питанию (разные фидеры) электромеханических устройств и микропроцессорных устройств;
- использовать соответствующие защитные схемы (RC-цепочки, диоды, варисторы);
- применять экранированные кабели.

12 Система электропитания переменным током

12.1 В системе электроснабжения собственных нужд подстанции должна быть выделены следующие типы нагрузок, чувствительных к электромагнитным помехам:

- компьютеры;
- АСУ ТП и устройства телемеханики;
- системы связи.

12.2 Электропитание указанных видов нагрузки должно быть выполнено посредством отдельных распределительных линий (фидеров).

12.3 Для электропитания АСУ ТП, телемеханики и других ответственных потребителей необходимо использовать инверторы, источники бесперебойного питания с двойным преобразованием и фильтрами для подавления высокочастотных и импульсных помех.

12.4 Для защиты электроприёмников системы электроснабжения сети 0,4кВ от импульсных помех могут быть установлены устройства защиты от импульсных перенапряжений в соответствии с ГОСТ Р 50571.18.

12.5 Система заземления электрических сетей переменного тока 0,4кВ вторичного оборудования и устройств связи должна удовлетворять требованиям ПУЭ для TN-S системы, т. е. не допускается применение объединённого защитного и нулевого рабочего PEN-проводника.

Во избежание воздействия, вызванного магнитными полями токов силовых кабелей сети переменного тока, необходимо их прокладывать на расстоянии не менее 100 мм от контрольных кабелей и проводников СОПТ (ОСТН 600-93, п.2.109б).

Для обеспечения ЭМС системы электроснабжения 0,4 кВ необходимо выполнение требований, предъявляемых к качеству электроэнергии по ГОСТ 13109 в соответствии с помехоустойчивостью вторичного оборудования (см. Приложение Б).

В таблице 6 приведены показатели качества электроэнергии, основные причины, приводящие к их ухудшению и рекомендуемые мероприятия по их улучшению.

Таблица 6

Мероприятия по улучшению качества электрической энергии

ПКЭ	Основная причина ухудшения	Рекомендуемое мероприятие
Установившееся отклонение напряжения	Неправильный выбор регулировочного ответвления трансформатора	1. Регулирование напряжения в центре питания или у потребителя путём переключения на соответствующее ответвление трансформатора. 2. Снижение потерь напряжения в элементах сети.
Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения, коэффициент *n*-ной гармонической составляющей	Потребители, представляющие собой нелинейную нагрузку	1. Выделение нелинейных нагрузок на отдельную систему шин. 2. Использование фильтровых устройств (узкополосных резонансных фильтров, фильтрокомпенсирующих и фильтросимметрирующих устройств). 3. Применение специального оборудования («ненасыщающихся» трансформаторов, многофазных преобразователей с улучшенными энергетическими показателями).
Колебания напряжения	Резкие изменения мощности нагрузки (в основном реактивной)	1. Применение быстродействующих источников реактивной мощности (ИРМ). 2. Разделения нагрузки (с помощью сдвоенных реакторов, трансформаторов с расщеплённой обмоткой и т.д.).
Коэффициент несимметрии по обратной или нулевой последовательности	Использование однофазных нагрузок большой мощности	1.Симметричное распределение однофазных нагрузок между фазами. 2. Применение симметрирующих устройств или схем симметрирования.
Провалы или прерывания напряжения	Аварийные ситуации, ошибки персонала и ложные срабатывания защит, отключения из-за перегрузок	Применение для ответственных потребителей систем гарантированного бесперебойного электропитания на базе ИБП и дизельных электростанций.
Импульсные помехи высокого уровня, перенапряжения	Коммутационные процессы, грозовая деятельность	Организация на объекте многоступенчатой защиты от перенапряжений.

При проведении приемо-сдаточных испытаний необходимо выполнить измерения качества электропитания 0,4 кВ.

13 Защита от электромагнитных полей радиочастотного диапазона

13.1 На этапе предпроектных изысканий должны быть проведены измерения полей радиочастотного диапазона от внешних источников в месте размещения электросетевого объекта.

Исходными данными являются:

- мощность и частотный диапазон переносных и стационарных радиопередающих станций, которые применяют на электросетевом объекте;
- данные о строительных конструкциях зданий;
- тип шкафов.

13.2 Место расположения стационарных устройств связи, применяемых на объекте, необходимо выбирать (на основании расчетов) таким образом, чтобы уровень напряженности электромагнитного поля в месте размещения вторичного оборудования не превышал допустимых значений (см. Приложение Б).

Для переносных радиопередающих устройств необходимо устанавливать ограничения (в зависимости от мощности устройства) по использованию их в местах расположения вторичного оборудования.

Если по результатам предпроектных изысканий уровни напряженности радиочастотных электромагнитных полей от внешних источников, с учетом естественных экранов, выше допустимых значений, необходимо применять дополнительное экранирование:

- зданий/помещений, в которых размещается вторичное оборудование;
- вторичного оборудования.

13.3 Одним из наиболее простых и низкозатратных способов экранирования от высокочастотных полей - закладка в стены здания сетки из стальных прутьев (диаметром около 5 мм) с шагом 10-15 см, причем каждый прут на концах присоединяется к соседним. При подобном выполнении может быть достигнут коэффициент затухания магнитного поля от 15 до 30 дБ в диапазоне частот от 10 кГц до 30 МГц; он зависит от качества выполнения соединений между прутьями, между прутьями и металлоконструкциями и наличия строительных проемов (окон, дверей, и т.п.). Другой низкозатратный способ экранирования - это применение сетки из тонкой проволоки. Вся внутренняя поверхность помещений должна быть закрыта сеткой. При этом должны быть выполнен надежный электрический контакт по периметру между листами сетки, а также с элементами системы уравнивания потенциалов.

Металлические шкафы без отверстий обеспечивают экранирование от электромагнитных полей радиочастотного диапазона до допустимых уровней. Размеры допустимых отверстий зависят от частоты воздействующего поля, расстояние элементов аппаратуры от отверстия и т.п.

В качестве ориентировочных оценок следует принимать, что любая неоднородность в виде окон, щелей и т.п. допустима, если ее наибольшие линейные размеры не превышают десятой части минимальной длины волны воздействующего поля. Например, для 1 ГГц (диапазон сотовых телефонов) минимальные допустимые размеры отверстия составляют 30мм, для 500 МГц (диапазон радиопереговорных устройств) - 60мм.

Для экранирования смотровых отверстий рекомендуется применять специальные стекла: с проводящей пленкой или с армированием металлической сеткой.

14 Защита от магнитных полей промышленной частоты

14.1 Если обеспечить допустимые уровни напряженности магнитного поля в местах размещения вторичного оборудования за счет компоновки объекта невозможно, применяют технические решения по экранированию источников магнитных полей или вторичного оборудования и кабелей.

14.2 Применение для экранирования стальных решеток обеспечит затухание магнитного поля низкой частоты лишь до нескольких дБ. Использование стальных пластин или листов более эффективно. Коэффициент экранирования зависит от толщины листа и магнитной проницаемости материала. При использовании стального листа толщиной 2,5 мм с относительной магнитной проницаемостью около 1000, образующего непрерывную магнитную цепь вокруг источника или приемника помех, величина коэффициента затухания составит от 10 до 20 дБ. Если магнитная цепь не замкнута, ее магнитное сопротивление остается значительным, а значение коэффициента не превышает 10 дБ.

14.3 Значительное улучшение экранирующих свойств может быть достигнуто при применении стали с ориентированной внутренней структурой (например, применяемой в трансформаторах).

На низких частотах обычно применяются экраны из материалов с большой магнитной проницаемостью. В таблице 7 приведены данные о материалах, применяемых для магнитных экранов.

Таблица 7

Материалы, применяемые для магнитных экранов

Название материала	Магнитная проницаемость, μ, о.е.
Мюметалл	19000
79НМ (пермаллой)	25000
49 KF2VI (сталь)	8000

Помимо этих материалов для магнитного экранирования применяют:

- фольгу из различных сплавов толщиной от 50 до 150 мкм (можно применять несколько слоев фольги);
- магнитный экран из лент аморфного металлического сплава (АМС), предназначенного для локального экранирования постоянных и переменных магнитных полей (представляет собой гибкий листовой материал типа

"Рогожка" полотняного переплетения, изготовленный из лент АМС марки КНСР, шириной 850-1750 мм, толщиной 0,02 - 0,04 мм);

•листы и ленты из металла с различными магнитными проницаемостями.

Характеристики изготавливаемых в России материалов с высокой магнитной проницаемостью приведены в ГОСТ 10160 «Сплавы прецизионные магнито-мягкие».

14.4 Экранирование информационных кабелей, кабелей систем охранной и пожарной сигнализации рекомендуется осуществлять путём их прокладки в толстостенных металлических трубах, присоединенных к ЗУ с двух сторон.

15 Защита от разрядов статического электричества

15.1 Для проведения расчетов электростатических потенциалов необходимо иметь данные о характеристиках напольного покрытия в помещении, где установлено вторичное оборудование, и возможный диапазон изменения влажности и температуры воздуха в помещении.

15.3 С помощью стандартной программы Mathcad рассчитывают потенциал оператора и сравнивают с допустимыми значениями (см. Приложение Б). Максимальное установившееся значение потенциала оператора (U, В) определяется из выражения:

$$U:=\frac{16 j0 h}{\gamma v\cdot \pi^2}\cdot \sum_{m=0}^{\infty}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{(-1)^{m+n}}{(2m+1)\cdot(2n+1)\cdot\left[1+\frac{\gamma s\cdot h}{\gamma v}\cdot\left[\frac{\pi^2}{4}\cdot\left[\left(\frac{2m+1}{11}\right)^2+\left(\frac{2n+1}{12}\right)^2\right]\right]\right]},$$

где j_0 - плотность тока электризации [мкА/м^2], которая в обычных условиях менее 10 мкА/м^2 /6/, $\gamma_S=1/\rho_S$ [1/Ом] и $\gamma_V=1/\rho_V$ [1/Ом·м] - удельные поверхностная и объёмная проводимости материала покрытия, l_1 , l_2 и h - размеры покрытия и его толщина [м].

Формулу можно использовать также для оценки потенциала оператора в случае, если он расположен на токопроводящем полу в различной обуви. Вместо параметров напольного покрытия (γV, γS, h, l_1 и l_2) в выражения подставляются параметры подошвы ботинок. При расчётах используют экспериментальные зависимости γ_V и γ_S от относительной влажности воздуха ψ (%).

Для приближенных оценок можно воспользоваться данными таблицы 8.

15.4 При проведении защитных мероприятий от СЭ следует руководствоваться требованиями ГОСТ 12.4.124 «Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования».

15.5 Методы защиты от статического электричества, которые не позволяют накапливаться зарядам СЭ на диэлектриках и теле человека:

- увеличение относительной влажности воздуха в помещении до 65÷75%;
- применение антистатических линолеумов, настилов, ковриков, матов;
- использование персоналом антистатической одежды (халатов, курток), антистатической обуви или полосок заземления, закрепляемых на любом типе обуви;
- заземление персонала посредством кистевых браслетов с шарнирным контактом и заземляющим кордом, присоединяемым к заземляющему устройству.

Таблица 8

Данные о потенциалах статического электричества для различных напольных покрытий

№ п/п	Характеристика напольного покрытия	Характеристика одежды и обуви оператора	Наибольший потенциал оператора кВ	Степень жёсткости испытаний конт. / возд.
1.	Синтетическое покрытие (ковролин), покрытый лаком паркет	Синтетические одежда и обувь	30кВ	X[1)] / X
2.	Синтетическое покрытие (ковролин), покрытый лаком паркет	Синтетическая одежда и кожаная обувь	30кВ	X / X
3.	Обычный (виниловый) линолеум	Синтетические одежда и обувь	15кВ	X / 4
4.	Токопроводящие (бетонные) полы или антистатический линолеум	Синтетические одежда и обувь	12кВ	X / 4
5.	Обычный (виниловый) линолеум	Синтетическая одежда и кожаная обувь	8кВ	4/3
6.	Токопроводящие (бетонные) полы или антистатический линолеум	Синтетическая одежда и кожаная обувь	6кВ	3/3
7.	Синтетическое покрытие (ковролин), покрытый лаком	Хлопчатобумажная одежда и кожаная обувь	4кВ	2/2

№ п/п	Характеристика напольного покрытия	Характеристика одежды и обуви оператора	Наибольший потенциал оператора кВ	Степень жёсткости испытаний конт. / возд.
	паркет			
8.	Обычный (виниловый) линолеум	- « -	2кВ	1/1
9.	Токопроводящие (бетонные) полы или антистатический линолеум	- « -	0,5кВ	1/1

Х- специальная степень жесткости, устанавливаемая АО по согласованию с производителем устройств.

15.6 Антистатические напольные покрытия, выпускаемые в настоящее время, подразделяют на три группы, в зависимости от их электрического сопротивления:

- антистатические или антистатики - сопротивление не более 10^8Ом;
- токорассеивающие или диссипативные - сопротивление от 10^7 до 10^8 Ом;
- токопроводящие или электропроводные - сопротивление от 10^5 - 10^6 Ом (применяют во взрывоопасных помещениях).

При укладке этих покрытий необходимо четко руководствоваться рекомендациями производителя и использовать только указанные в техническом описании покрытия клеи (контактные или электропроводящие) и дополнительные материалы (медные ленты, присоединяемые к заземляющему устройству здания, зажимы, проводники и т.д.).

15.7 Выбор средств защиты от статического электричества следует осуществлять на основании технико-экономических расчетов. В таблице 9 приведены сравнительные данные по затратам на напольные покрытия РЩ с площадью между рядами панелей (2х10)м^2.

Таблица 9

Сравнительные данные по затратам на напольные покрытия

№ п/п	Используемые материалы и их характеристики	$U_{max\ расч.}$ кВ	Ориентировочные затраты руб.
1	Бетонные полы без покрытия.	менее 6	10 000
2	Напольная плитка 10х10см^2 с токопроводящим (цементным) швом.	менее 6	50 000
3	Панельный фальшпол с антистатическим покрытием $\rho_V = 10^{10}$ Ом·м, h=2·10^{-3}м.	0,2	560000

№ п/п	Используемые материалы и их характеристики	$U_{max\ расч.}$ кВ	Ориентировочные затраты руб.
.4	Антистатический линолеум «Tarkett» $\rho_V = 10^9$ Ом·м, h=2·10^{-3}м.	0,020	160 000

16 Авторский надзор за выполнением проекта и приемо-сдаточные испытания

16.1 При проведении авторского надзора на этапе строительства и монтажа должен быть осуществлен контроль:

- соответствия объёма работ проектной документации;
- качества работ при реализации технических решений по обеспечению ЭМС.
- выполнения требований по помехоустойчивости для всех возможных электромагнитных воздействий в соответствии с установленной степенью жесткости испытаний (по технической документации на вторичное оборудование и устройства связи);
- выполнения заземляющего устройства в соответствии с проектом и соблюдения условий ЭМС;
- обеспечения защиты от вторичных воздействий молнии;
- обеспечения защиты от импульсных помех;
- обеспечения защиты от статического электричества;
- обеспечения защиты от магнитных полей;
- выполнения требований ЭМС для системы электропитания постоянным и переменным током.

16.2 Если при проведении авторского надзора установлено, что условия ЭМС не выполняются в полном объеме, то должна быть выполнена корректировка проекта.

16.3 Приемо-сдаточные испытания должны быть проведены на этапе пуско-наладочных работ.

Должна быть проведена диагностика заземляющего устройства и электромагнитной обстановки.

Диагностику состояния заземляющего устройства проводят в соответствии с РД 153-34.0-20.525-00. Проверяют соответствие ЗУ проектной документации и наличие актов приемки скрытых работ. По результатам диагностики состояния заземляющего устройства должны быть оформлены соответствующие Протоколы, и составлен Паспорт на ЗУ.

Диагностику обеспечения ЭМС проводят в соответствии с СО 34.35.311-2004.

По результатам диагностики ЭМО должны быть оформлены соответствующие Протоколы и сделано Заключение о выполнении условий ЭМС для вторичного оборудования и систем связи по всем видам электромагнитных воздействий.

Если при проведении приемо-сдаточных испытаний установлено, что условия ЭМС не выполняются в полном объеме, то должны быть разработаны и реализованы дополнительные технические решения по устранению выявленных дефектов.

Приложение А

Библиография

1 Дьяков А.Ф., Максимов Б.К., Борисов Р.К., Кужекин И.П., Жуков А.В. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике. /Под редакцией Дьякова А.Ф. -М.: Энергоатомиздат. 2003.

2 Хабигер Э. Электромагнитная совместимость. Основы ее обеспечения в технике: Пер. с нем. / И.П. Кужекин; под ред. Б.К. Максимова. М.: Энергоатомиздат, 1995.

3 Шваб А. Электромагнитная совместимость: Пер. с нем. В.Д. Мазина и С.А. Спектора. 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. И.П. Кужекина М.: Энергоатомиздат, 1998.

4 В.С. Кармашев. Электромагнитная совместимость технических средств. Справочник. - М.: Изд-во Норт, 2001.

5 Уилльямс Т. ЭМС для разработчиков продукции. -М.: Издательский дом «Технологии», 2003.

6 Guide on EMC in power plants and substations (методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на электрических станциях и подстанциях). Cigre, Working Group 36.04 “EMC within power plants and substations” December 1997.

7 Карякин Р.Н. Заземляющие устройства электроустановок. Справочник. -М.: ЗАО «Знергосервис», 1998.

8 Рекомендации МККТ. К 27. Красная книга.

9 Руководящие указания по проектированию заземляющих устройств электрических станций и подстанций напряжением 3-750кВ переменного тока. Энергосетьпровект. №12740тм-т1. 1987г.

10 Заземление и зануление электроустановок промышленных предприятий. Технические решения. Шифр 3578. Тяжпромэлектропроект. 1982г.

11 Заземление и молниезащита на тепловых и атомных электростанциях. Справочник по проектированию тепловых электростанций и тепловых сетей. Электротехническая часть. 1974г.

12 Техника высоких напряжений. Учебник для вузов/ В.В. Базуткин, В.П. Ларионов, Ю.С. Пинталь; Под общей редакцией В.П. Ларионова.- 3-е изд. -М: Энергоатомиздат, 1986.

13 Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Физика молнии и молниезащиты. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001.

14 Ограничители перенапряжений в электроустановках 6-750кВ. Методическое и справочное пособие. Под ред. М.А.Аронова. -М.: «Знак», 2001.

Приложение Б

Помехоустойчивость вторичного оборудования и систем связи

Требования по помехоустойчивости вторичного оборудования и устройств связи, применяемых на электросетевых объектах, установлены в ГОСТ Р 51317.6.5. Уровни устойчивости к электромагнитным воздействиям являются основными нормативными параметрами при выполнении проекта.

Испытания на помехоустойчивость должны проводиться для всех портов устройства (ТС) (рис.Б.1).

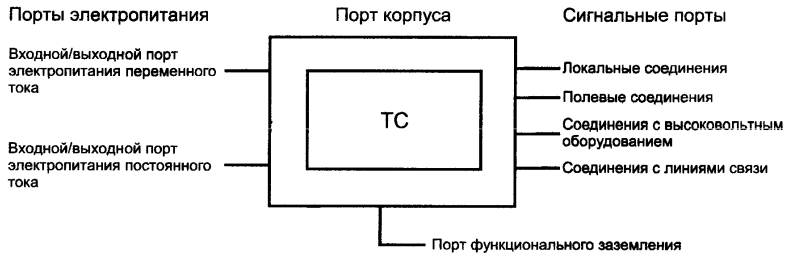


Рис. Б.1 Виды портов

Порт - граница между ТС и внешней электромагнитной средой (зажим, разъем, клемма, стык связи и т.п.).

Порт корпуса - физическая граница ТС, через которую могут излучаться создаваемые ТС или проникать внешние электромагнитные поля.

Порт подключения кабеля - порт, в котором проводник или кабель подключается к ТС. К портам подключения кабеля относят: порты электропитания, сигнальные порты и порты функционального заземления.

Локальные соединения: Проводники или кабели, подключенные к ТС, функционирующим в условиях мягкой электромагнитной обстановки или электромагнитной обстановки средней жесткости:

- не подключены непосредственно к силовому оборудованию;
- их длины не превышают нескольких десятков метров;
- используются для целей связи в пределах одного здания.

Полевые соединения: Проводники или кабели, подключенные к оборудованию, размещенному на территории подстанции при наличии общей системы заземления.

Соединения с высоковольтным оборудованием: Кабели, проложенные от контрольно-измерительной аппаратуры к высоковольтному оборудованию (автоматическим выключателям, трансформаторам тока, трансформаторам напряжения, оборудованию передачи данных по силовым линиям).

Соединения с линиями связи: Кабели связи, выходящие за пределы распределенной системы заземления электростанции или подстанции для непосредственного соединения (без применения средств защиты от помех) с системой проводной связи или с удаленными объектами.

Порт функционального заземления: Порт подключения кабеля, отличный от сигнального порта и порта электропитания, предназначенный для подключения к заземлению, применяемому для целей иных, чем обеспечение электрической безопасности.

Виды соединений на подстанции приведены на рис. Б.2.

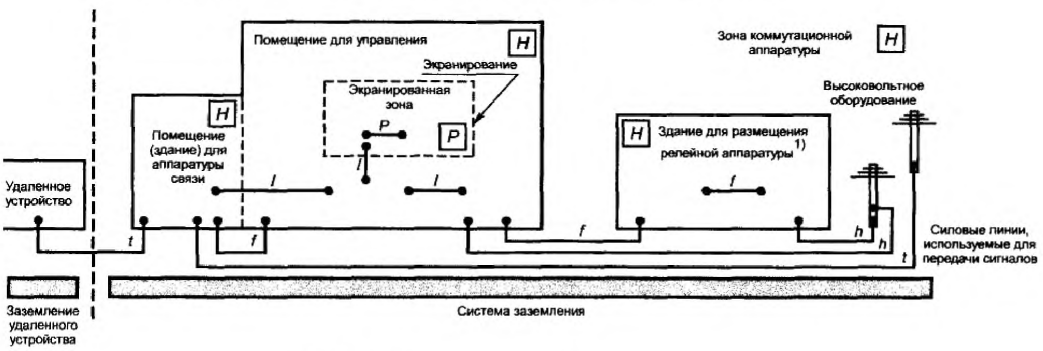


Рис.Б.2 Виды соединений на подстанции

Места размещения ТС при определении требований для порта корпуса, электропитания и функционального заземления:

H — размещение на высоковольтной подстанции при отсутствии защиты от помех (например здания для управления, релейной аппаратуры, места размещения коммутационной аппаратуры); P— «защищенное» размещение (при наличии), например экранированная зона в здании для управления.

Виды соединений, подключаемых к сигнальным портам:

/— локальные (например соединения внутри помещения для управления); f— полевые (например соединения в зоне коммутационной аппаратуры и в здании с релейной аппаратурой); h — с высоковольтным оборудованием (например соединения с автоматическими выключателями, трансформаторами тока и напряжения и т. д.); t— с линиями связи (например соединения, применяемые при передаче сигналов по высоковольтным линиям и для связи с отдаленными устройствами); p — «защищенные» соединения (при наличии), например соединения внутри экранированного помещения

Уровни испытательных воздействий рекомендуемых для устройств устанавливаемых на электросетевых объектах приведены в таблице Б.1.

Таблица Б.1

Виды испытаний на помехоустойчивость и помехоэмиссию вторичного оборудования и рекомендуемые степени жесткости.

№ п/п	Вид электромагнитных воздействий и испытаний на помехоустойчивость	Нормативный документ	Степень жесткости испытаний (тип соединения)	Параметр	Примечание
1	Напряжения и токи промышленной частоты при КЗ на землю. Испытания электрической прочности изоляции (напряжение в установившемся режиме) и импульсным напряжением.	ГОСТ 30328-95 МЭК 60255-5	-	2000 В переменного тока	Для всех портов питания и для портов проводных цепей, выходящих на РУ
	Порт корпуса				
2	Магнитные поля промышленной частоты от силового оборудования в нормальных и аварийных режимах. На устойчивость к воздействию магнитного поля промышленной частоты	ГОСТ Р 50648-94 (МЭК 61000-4-8).	5 ст. жест.	100А/м (длительно), 1000А/м (кратковременно)	Для устройств чувствительных к магнитным полям
			2 ст. жест.	3А/м (длительно)	Для мониторов с электронно-лучевой трубкой
3	Электромагнитные поля радиочастотного диапазона от внешних и внутренних устройств связи. На устойчивость к излучаемым радиочастотным электро-магнитным полям	ГОСТ Р 51317.4.3-99 ((МЭК 61000-4-3).	Не ниже 3 ст. жест.	10В/м	Для всех устройств.
4	Импульсные магнитные поля от молнии и первичных цепей. На устойчивость к импульсному магнитному полю.	ГОСТ Р 50649-94 (МЭК 61000-4-10-93).	Не ниже 4 ст. жест.	300А/м	Для устройств чувствительных к магнитным полям.
5	Разряды статического электричества с персонала. На устойчивость к разрядам статического электричества.	ГОСТ Р 51317.4.2-99 (МЭК 61000-4-2-95, МЭК 60255-22-2-96).	Не ниже 3 ст. жест	6кВ контактный, 8кВ воздушный	Для всех устройств.
	Сигнальные порты				
6	Импульсные помехи, возникающие при	ГОСТ Р 51317.4.12-99	Локальное Полевое	-	Для всех устройств.

№ п/п	Вид электромагнитных воздействий и испытаний на помехоустойчивость	Нормативный документ	Степень жесткости испытаний (тип соединения)	Параметр	Примечание
	коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне. На устойчивость к колебательным затухающим помехам.	(МЭК 61000-4-12-96)	3 ст. жест. (для однократных) 2 ст. жест. (для повторяющихся) С оборудованием 4 ст. жест. (для однократных) 3 ст. жест. (для повторяющихся	2кВ (провод -земля), 1кВ (провод -провод) 1кВ (провод -земля), 0,5кВ (провод - провод) 4кВ(провод -земля), 2кВ противофазное 2,5кВ (провод - земля), 1кВ (провод -провод)	
7	Импульсные помехи от токов молнии. На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии.	ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95).	Локальное Провод -земля 2 ст. жест. Провод -провод 1 ст. жест. Полевое Провод -земля 3 ст. жест. Провод -провод 2 ст. жест. С оборудованием Провод -земля 4 ст. жест. Провод -провод 3 ст. жест.	1кВ 0,5 кВ 2кВ 1 кВ 4кВ 2 кВ	Для всех устройств.
8	Наносекундные импульсные помехи от электромеханических устройств в системах электропитания постоянного и переменного тока. На устойчивость к наносекундным импульсным помехам	ГОСТ Р51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4).	Локальное 3 ст. жест. Полевое 4 ст. жест. С оборудованием Спец. Ст. жест.	1кВ 2кВ 4кВ	Для всех устройств
9	На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц.	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96).	3 ст. жест.	10 В	Для всех сигнальных портов.
	Питание постоянным током				
10	Провалы напряжения	МЭК 61000-4-29	30% (1с) 60% (0,1с)		Только для входных портов.

№ п/п	Вид электромагнитных воздействий и испытаний на помехоустойчивость	Нормативный документ	Степень жесткости испытаний (тип соединения)	Параметр	Примечание
	Прерывания напряжения		100% (0,5с)		
11	На устойчивость к пульсациям напряжения постоянного тока.	ГОСТ Р 51317.4.17-2000 (МЭК 61000-4-17-99).	Не ниже 3 ст. жест.	Пульсации не выше 10%.	Для всех портов питания постоянного тока.
12	Кондуктивные помехи от внешних и внутренних источников. На устойчивость к кондуктивным помехам в полосе частот от 0 до 150 кГц.	ГОСТ Р 51317.4.16 - 2000 (МЭК 61000-4-16-96).	Не ниже 3 ст. жест.	10В (длительно) 100В (1с)	Для всех портов питания постоянного тока.
13	Импульсные помехи от токов молнии. На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии.	ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95).	Провод -земля 3 ст. жест. Провод -провод 2 ст. жест.	2кВ 1 кВ	Для всех портов питания постоянного тока.
14	Наносекундные импульсные помехи от электромеханических устройств в системах электропитания постоянного и переменного тока. На устойчивость к наносекундным импульсным помехам	ГОСТ Р51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4).	4 ст. жест.	4кВ	Для всех портов питания постоянного тока.
15	Кондуктивные помехи от внешних и внутренних источников. На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц.	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96).	3 ст. жест.	10 В	Для всех портов питания постоянного тока.
16	Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне. На устойчивость к колебательным	ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12)	4 ст. жест. (для однократных) 3 ст. жест. (для повторяющихся	4кВ (провод -земля), 2кВ (провод -провод) 2,5кВ (провод - земля), 1кВ (провод -провод)	Для всех портов питания постоянного тока.

№ п/п	Вид электромагнитных воздействий и испытаний на помехоустойчивость	Нормативный документ	Степень жесткости испытаний (тип соединения)	Параметр	Примечание
	затухающим помехам.				
	Питание переменным током				
17	Провалы напряжения	МЭК 61000-4-29	30% (50 периодов) 60% (1 период)		Только для входных портов.
	Прерывания напряжения		100% (5 периодов)		
18	На устойчивость к гармоникам и интергармоникам, к сигналам систем телеуправления и сигнализации в напряжении сети переменного тока.	ГОСТ 29280-92 (МЭК 61000-4, МЭК 61000-4-13).	В соответствии с рекомендациями настоящих МУ.		Для всех портов питания переменного тока.
	На устойчивость к колебаниям напряжения	ГОСТ Р 51317.4.14-2000 (МЭК 61000-4-14-2000).			
	На устойчивость к динамическим изменениям напряжения электропитания	ГОСТ Р 51317.4.11-99 (МЭК 61000-4-11-94).			
19	На устойчивость к изменениям частоты питания в сети переменного тока	ГОСТ Р 51317.4..28 - 2000 (МЭК 6 1000 -4-28-2000).			
20	На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц..	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96).	Не ниже 3 ст. жест.	(10В)	Для всех портов питания переменного тока.
21	Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне. На устойчивость к колебательным затухающим помехам.	ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12)	4 ст. жест. (для однократных) 3 ст. жест. (для повторяющихся	4кВ (провод -земля), 2кВ (провод -провод) 2,5кВ (провод - земля), 1кВ (провод - провод)	Для всех портов питания переменного тока.
22	На устойчивость к наносекундным импульсным помехам	ГОСТ Р51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-	4 ст. жест.	4кВ	Для всех портов питания переменного тока.

№ п/п	Вид электромагнитных воздействий и испытаний на помехоустойчивость	Нормативный документ	Степень жесткости испытаний (тип соединения)	Параметр	Примечание
		4).			
23	Импульсные помехи от токов молнии. На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии.	ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-96).	Провод -земля 4 ст. жест. Провод -провод 3 ст. жест.	4кВ 2 кВ	Для всех портов питания переменного тока.
	Порт функционального заземления				
24	На устойчивость к наносекундным импульсным помехам (ввод помехи применением емкостных клещей связи)	ГОСТ Р51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4).	4 ст. жест.	4кВ	Требования применяют к соединениям с функциональным заземлением, отделенным от защитного заземления.
25	Кондуктивные помехи от внешних и внутренних источников. На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц..	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96).	Не ниже 3 ст. жест.	(10В)	10В=140дБ (мкВ)
	Помехоэмиссия				
26	Радиопомехи от оборудования. Помехоэмиссия.	ГОСТ Р 51318.22- 99 (СИСПР 22 - 97) ГОСТ Р 51318.11-99 (СИСПР 11-97)	В соответствии с ГОСТ		

Приложение В

Напряженность магнитного поля от токоограничивающих реакторов и шин первичных цепей

В.1 Исходные данные для расчета напряженности магнитного поля от реакторов

Рассмотрены типовые варианты расположения группы однофазных реакторов, при их включении в трехфазную цепь:

- расположение реакторов вдоль горизонтальной оси (рис.В.1)
- расположение реакторов в вершинах равнобедренного прямоугольного треугольника (рис.В.2)
- расположение реакторов в вершинах тупоугольного равнобедренного треугольника (рис.В.3)

Параметры реакторов, использующиеся в расчете, приведены в таблице В.1.

Таблица В.1

Параметры реакторов

Сопротивление реактора (Z), Ом	Число витков (n)	Усредненный радиус катушки реактора (R), м
0,25	34	0,6
0,96	45	0,9

Рассматривалось распределение напряженности магнитного поля (НМП) вдоль осей, расположенных в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Т.е. выбиралось направление, в каждой плоскости, вдоль которого НМП имела наибольшие значения при удалении от оси источника поля (реактора). Принималось, что в номинальных режимах по реакторам протекаю токи 1кА, 2 кА, 3кА, 4кА и 5кА, имеющие соответственно сдвиг по фазе на 120°. Также были рассчитаны поля для двух значений токов 3-х фазного КЗ: 12кА и 15кА. Рассмотрены случаи с наиболее характерными для применения на практике расстояниями между центрами реакторов: от 2,4 м до 3,4 м.

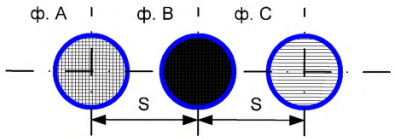


Рис.В.1 Расположение реакторов вдоль оси

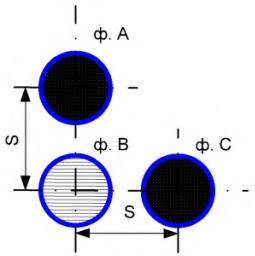


Рис.В.2 Расположение реакторов в вершинах равнобедренного прямоугольного треугольника

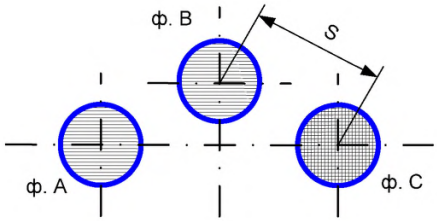


Рис.В.3 Расположение реакторов в вершинах тупоугольного равнобедренного треугольника

В.2 Результаты расчетов

По результатам расчетов были построены зависимости НМП от расстояния до реакторов.

На рисунках иллюстрирующих результаты расчетов были отмечены уровни напряженности соответствующие 4-ой и 5-ой степеням жесткости испытаний оборудования на устойчивость к магнитным полям промышленной частоты при нормальном (длительном) и аварийном (кратковременном) режимах работы. Также для нормального режима работы отмечен уровень (80 А/м) НМП безопасный для персонала энергообъекта на протяжении рабочего дня (8 часов). Погрешность расчетов для принятых параметров реакторов и геометрического расположения не превышает 5%.

В.2.1 Расположение реакторов вдоль горизонтальной оси

Расчет в горизонтальной плоскости (в плоскости геометрических центров реакторов) производился вдоль направления O_x, указанного на рис.В.4, так как вдоль оси O_x НМП имела наибольшие значения при удалении от оси источника поля. При использовании результатов расчета в иных направлениях горизонтальной плоскости, расстояния до зон соответствующих степеням жесткости будут несколько завышены.

Расчет в вертикальной плоскости (в плоскости геометрических центров реакторов) производился вдоль направления O_z указанного на рис.В.5, так как

вдоль оси O_z НМП имела наибольшие значения при удалении от оси источника поля. Расстояние отсчитывается от центра крайнего реактора. При использовании результатов расчета в иных направлениях вертикальной плоскости, расстояния до зон соответствующих степеням жесткости будут несколько завышены.

Результаты расчетов НПМ в горизонтальной и вертикальной плоскости приведены на рис.В.6-В.12.

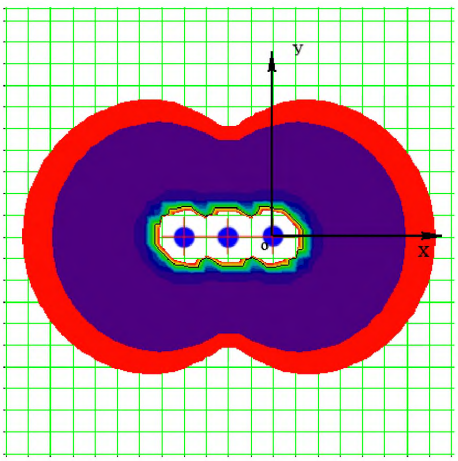


Рис.В.4 Характер распределения НМП в горизонтальной плоскости

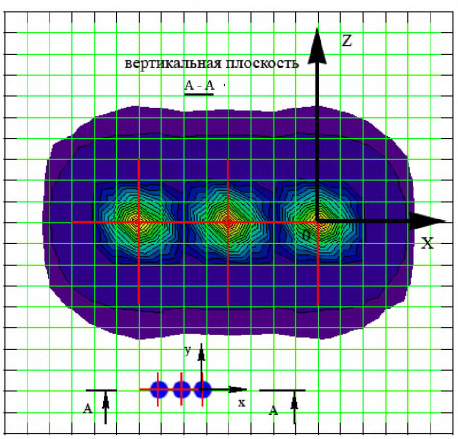


Рис.В.5 Характер распределения НМП в вертикальной плоскости

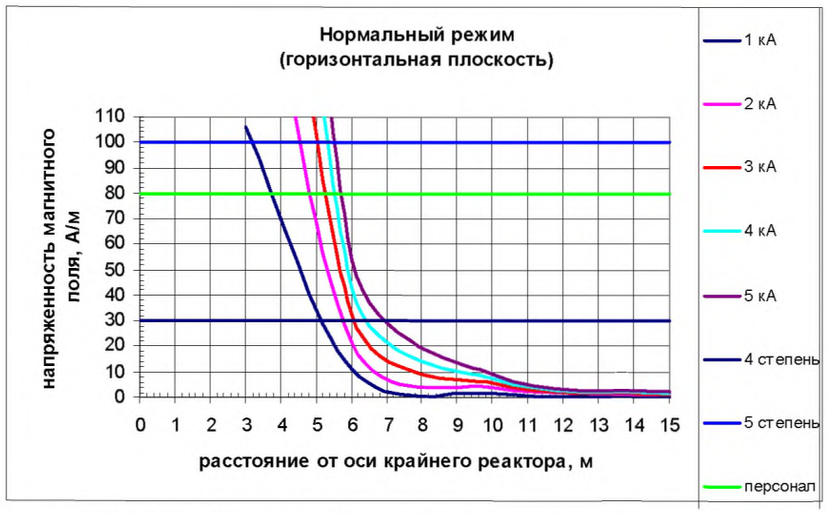


Рис.В.6 Распределение НМП при нормальных режимах в горизонтальной плоскости при Z=0,25 Ом; n=34; R=0,6м; S=2,4м

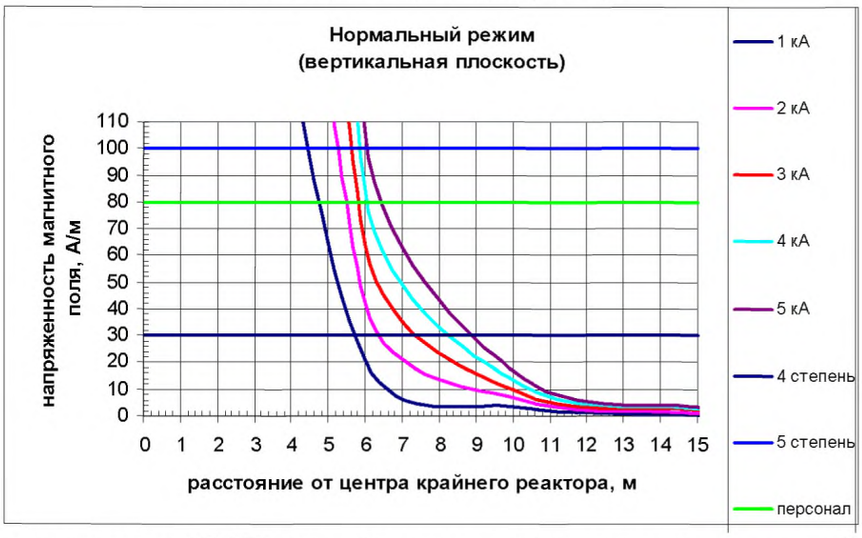


Рис.В.7 Распределение НМП при нормальных режимах в вертикальной плоскости при Z=0,25 Ом; n=34; R=0,6м; S=2,4м



Рис.В.8 Распределение НМП при аварийных режимах в горизонтальной плоскости при Z=0,25 Ом; n=34; R=0,6м; S=2,4м

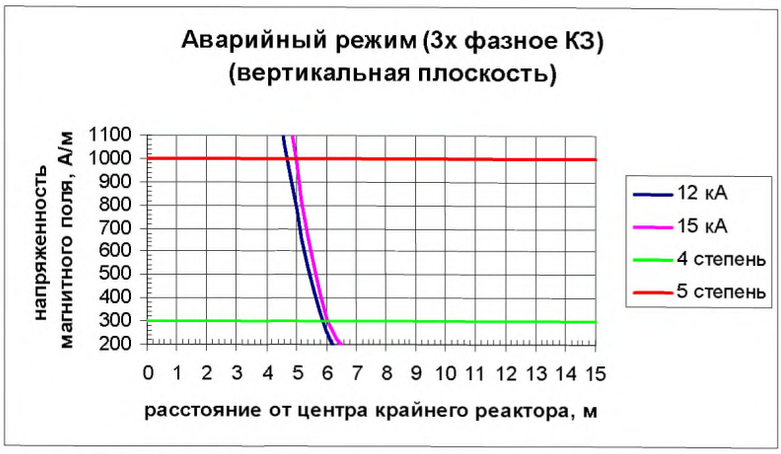


Рис.В.9 Распределение НМП при аварийных режимах в вертикальной плоскости при Z=0,25 Ом; n=34; R=0,6м; S=2,4м

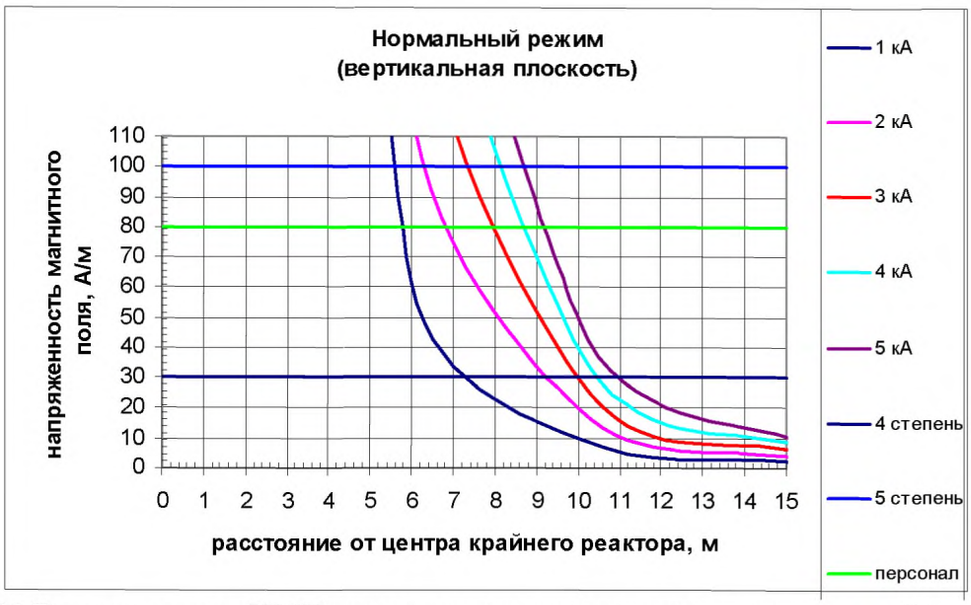


Рис.В.10 Распределение НМП при нормальных режимах в вертикальной плоскости при Z=0,96 Ом; n=45; R=0,9м; S=2,4м

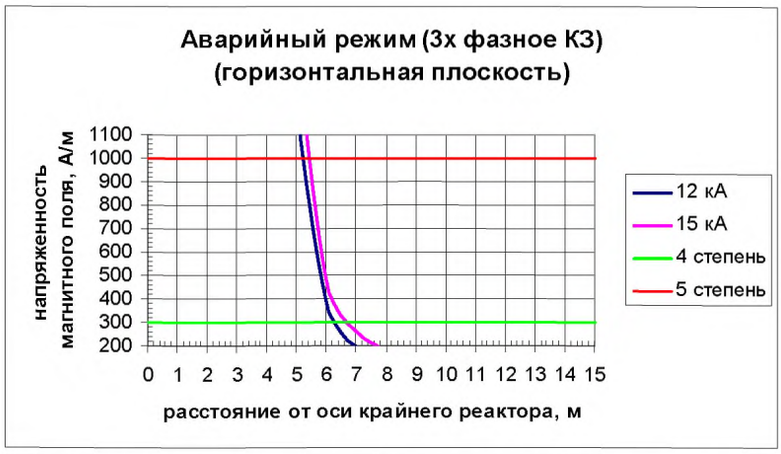


Рис.В.11 Распределение НМП при аварийных режимах в горизонтальной плоскости при (Z=0,96 Ом; n=45; R=0,9м; S=2,4м)

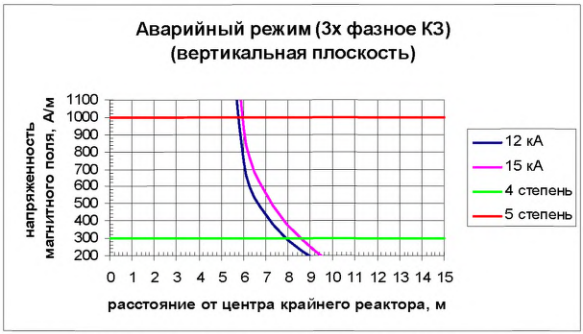


Рис.В.12 Распределение НМП при аварийных режимах в вертикальной плоскости при (Z=0,96 Ом; n=45; R=0,9м; S=2,4м)

В.2.2 Расположение реакторов в вершинах равнобедренного прямоугольного треугольника

Расчет в горизонтальной плоскости (в плоскости геометрических центров реакторов) производился вдоль направления O_X, указанного на рис. В.13. Расчет в вертикальной плоскости (в плоскости геометрических центров реакторов) производился вдоль направления O_Z указанного на рис. В.14. Результаты расчетов НПМ в горизонтальной и вертикальной плоскости приведены на рис. В.15-В.22.

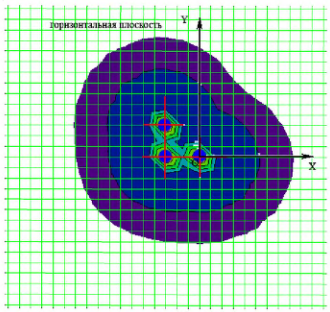


Рис.В.13 Характер распределения НМП в горизонтальной плоскости

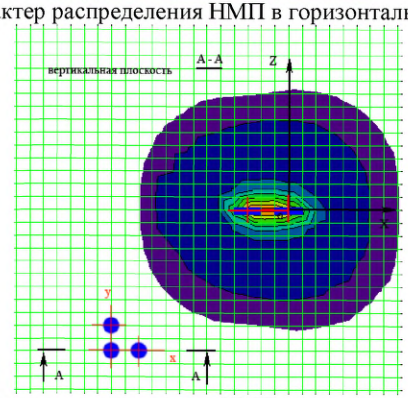


Рис.В.14 Характер распределения НМП в вертикальной плоскости

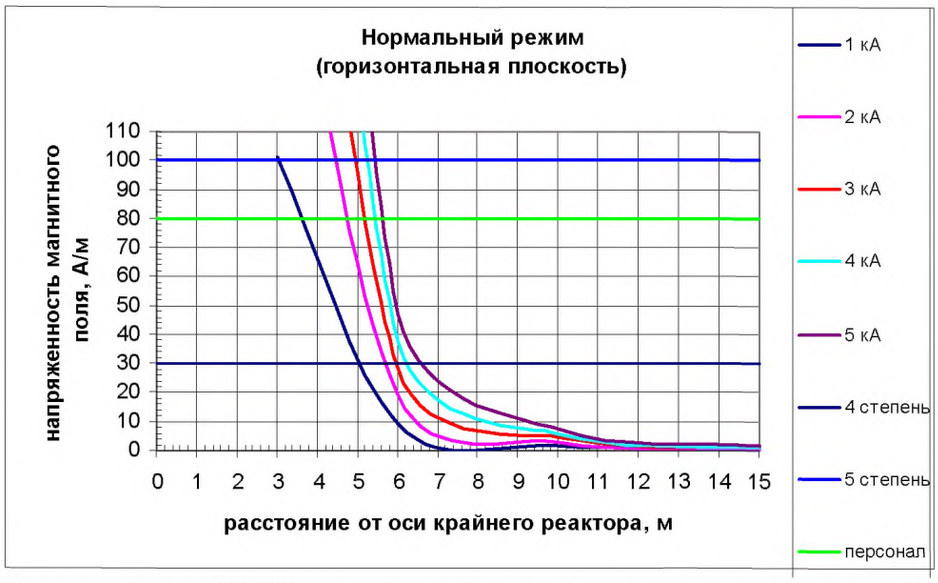


Рис.В.15 Распределение НМП при нормальных режимах в горизонтальной плоскости при Z=0,25 Ом; n=34; R=0,6м; S=2,4м

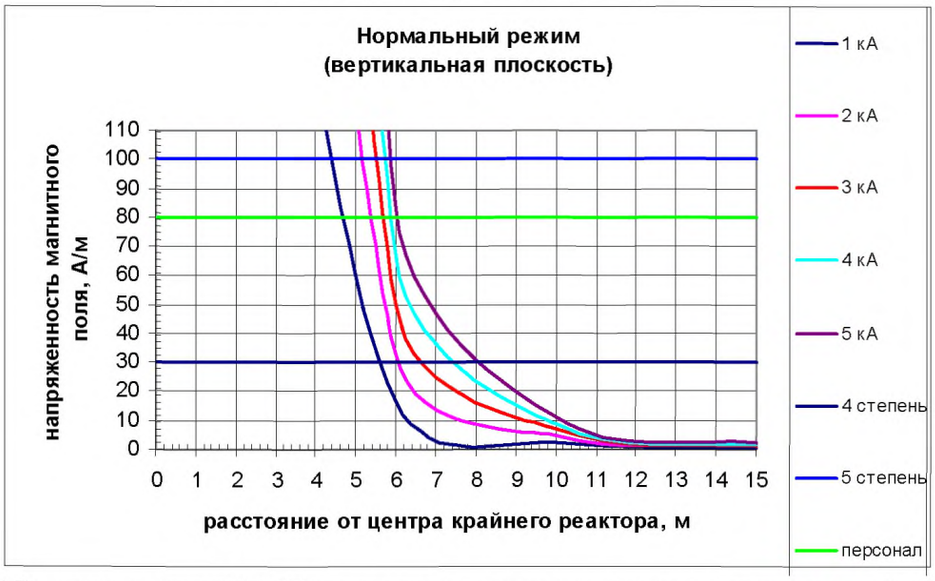


Рис.В.16 Распределение НМП при нормальных режимах в вертикальной плоскости при Z=0,25 Ом; n=34; R=0,6м; S=2,4м

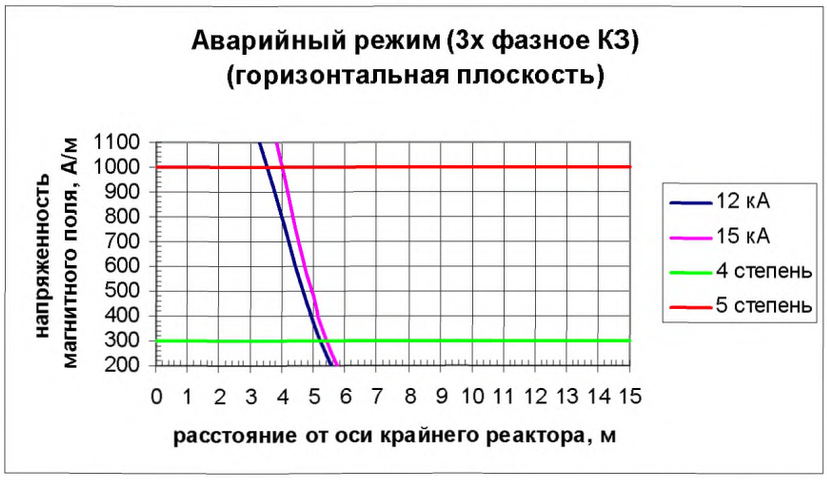


Рис.В.17 Распределение НМП при аварийных режимах в горизонтальной плоскости при Z=0,25 Ом; n=34; R=0,6м; S=2,4м

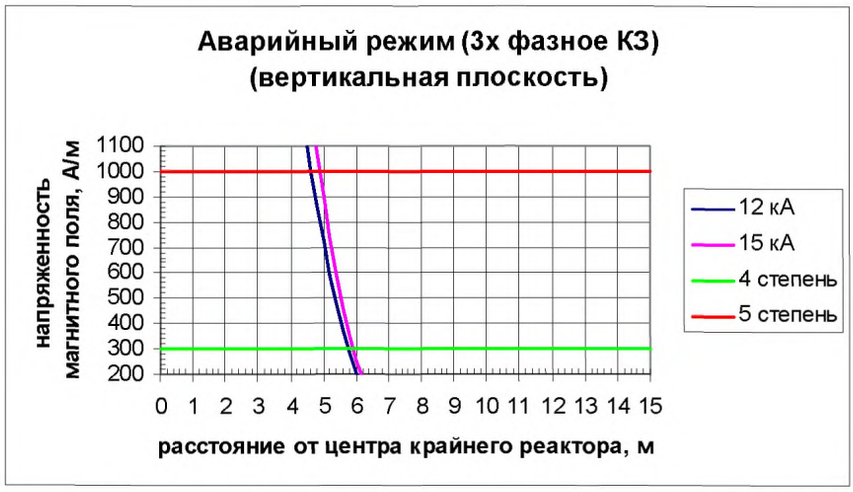


Рис.В.18 Распределение НМП при аварийных режимах в вертикальной плоскости при Z=0,25 Ом; n=34; R=0,6м; S=2,4м

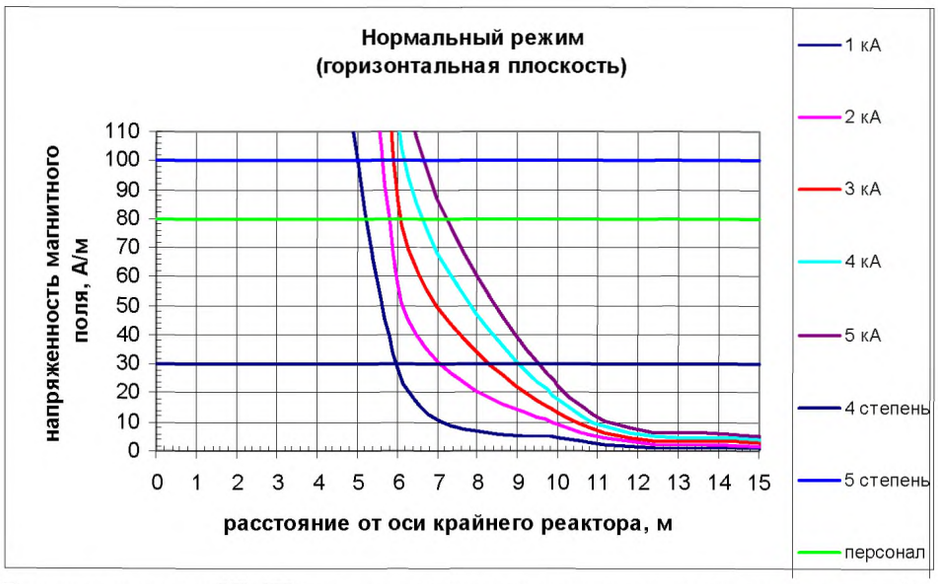


Рис.В.19 Распределение НМП при нормальных режимах в горизонтальной плоскости при Z=0,96 Ом; n=45; R=0,9м; S=2,4м

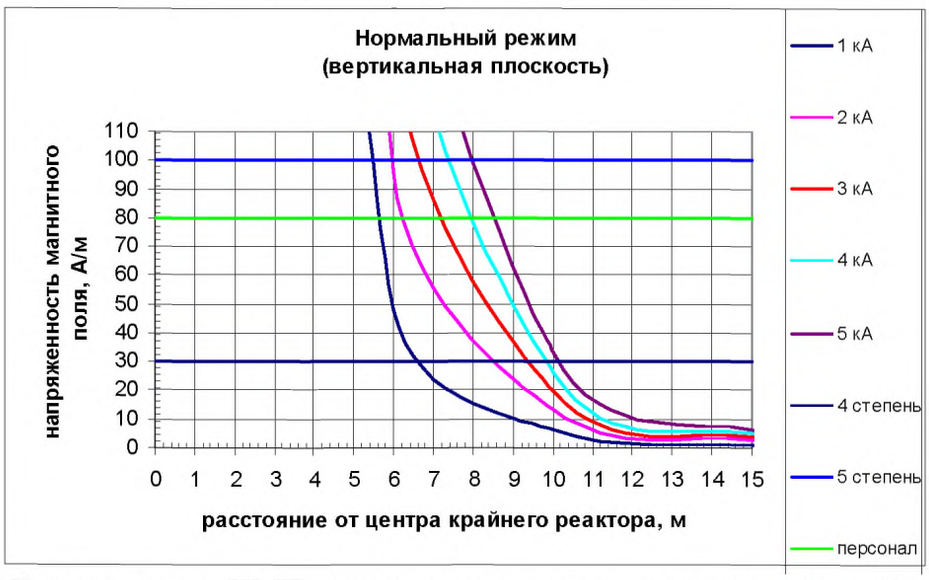


Рис.В.20 Распределение НМП при нормальных режимах в вертикальной плоскости при Z=0,96 Ом; n=45; R=0,9м; S=2,4м

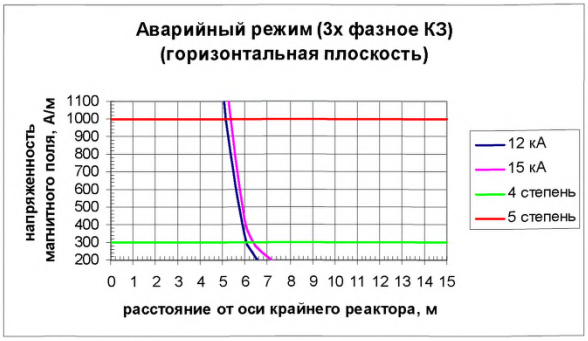


Рис.В.21 Распределение НМП при аварийных режимах в горизонтальной плоскости при Z=0,96 Ом; n=45; R=0,9м; S=2,4м

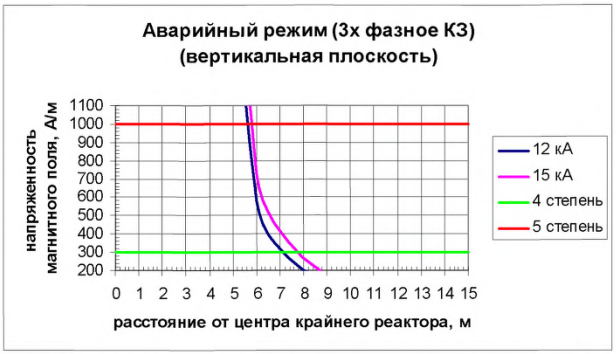


Рис.В.22 Распределение НМП при аварийных режимах в вертикальной плоскости при Z=0,96 Ом; n=45; R=0,9м; S=2,4м

В.2.3 Расположение реакторов в вершинах тупоугольного равнобедренного треугольника.

Расчет в горизонтальной плоскости (в плоскости геометрических центров реакторов) осуществлен вдоль направления O_x, (рис. В.23). Расчет в вертикальной плоскости (в плоскости геометрических центров реакторов) осуществлен вдоль направления O_z (рис. В.24). Результаты расчетов НПМ в горизонтальной и вертикальной плоскости приведены на рис. В.25-В.32.

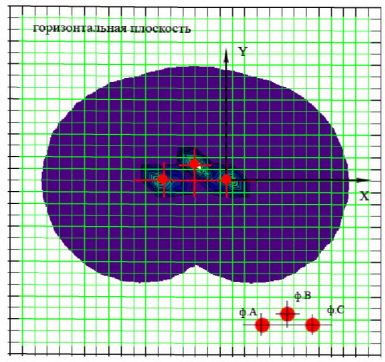


Рис.В.23 Характер распределения НМП в горизонтальной плоскости

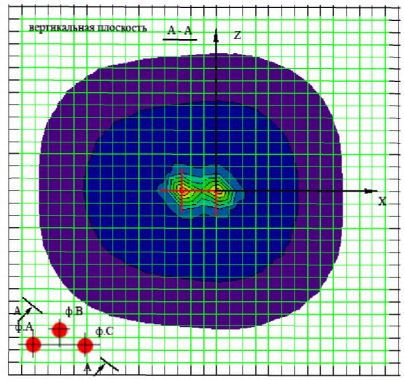


Рис.В.24 Характер распределения НМП в вертикальной плоскости

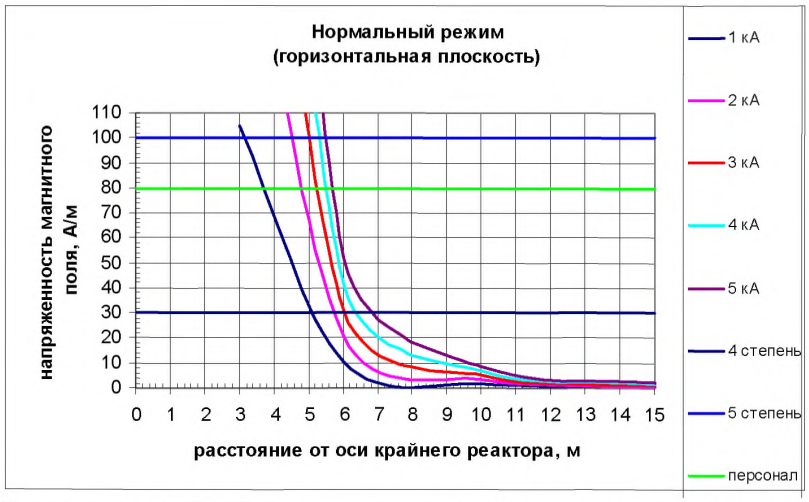


Рис.В.25 Распределение НМП при нормальных режимах в горизонтальной плоскости при Z=0,25 Ом; n=34; R=0,6м; S=2,4м

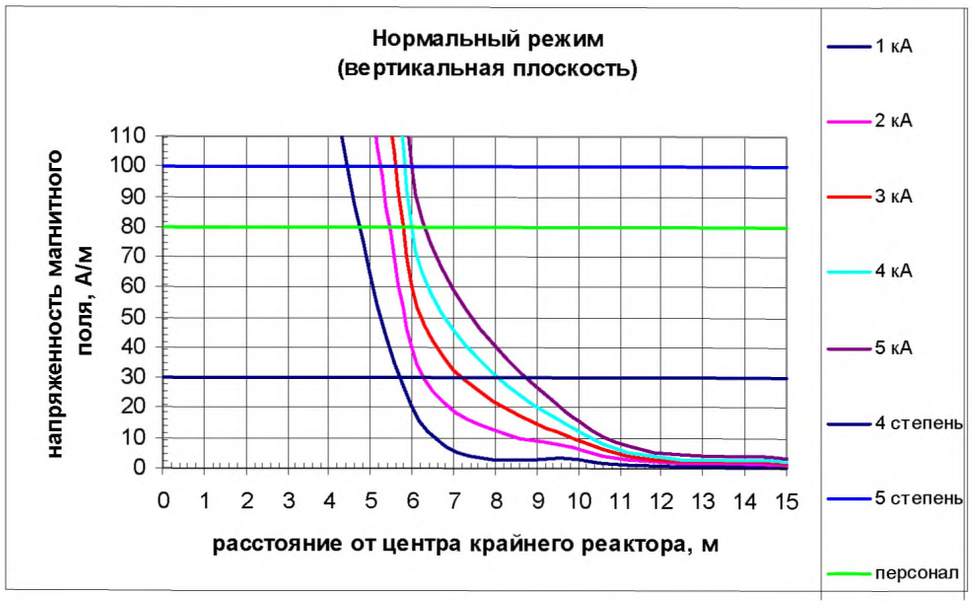


Рис.В.26 Распределение НМП при нормальных режимах в вертикальной плоскости при Z=0,25 Ом; n=34; R=0,6м; S=2,4м



Рис.В.27 Распределение НМП при аварийных режимах в горизонтальной плоскости при Z=0,25 Ом; n=34; R=0,6м; S=2,4м

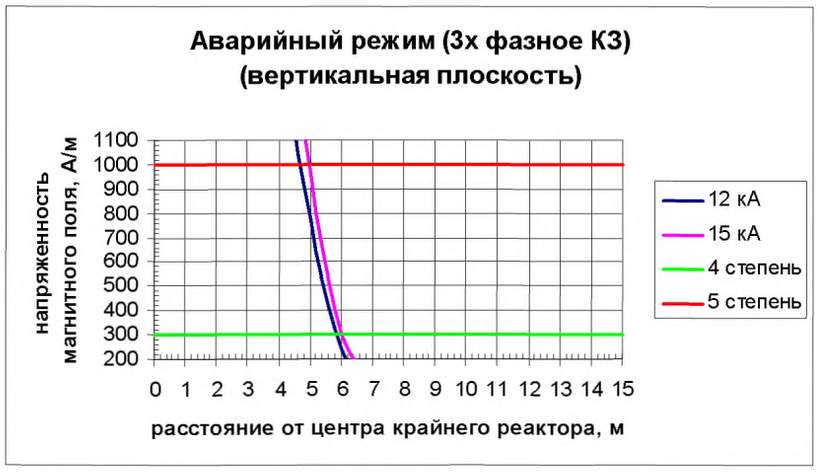


Рис.В.28 Распределение НМП при аварийных режимах в вертикальной плоскости при Z=0,25 Ом; n=34; R=0,6м; S=2,4м

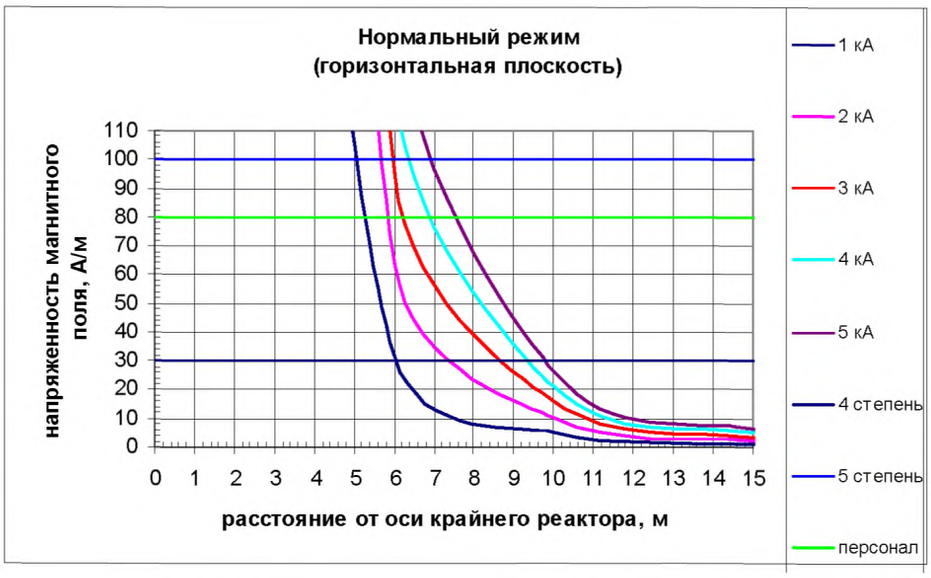


Рис.В.29 Распределение НМП при нормальных режимах в горизонтальной плоскости при Z=0,96 Ом; n=45; R=0,9м; S=2,4м

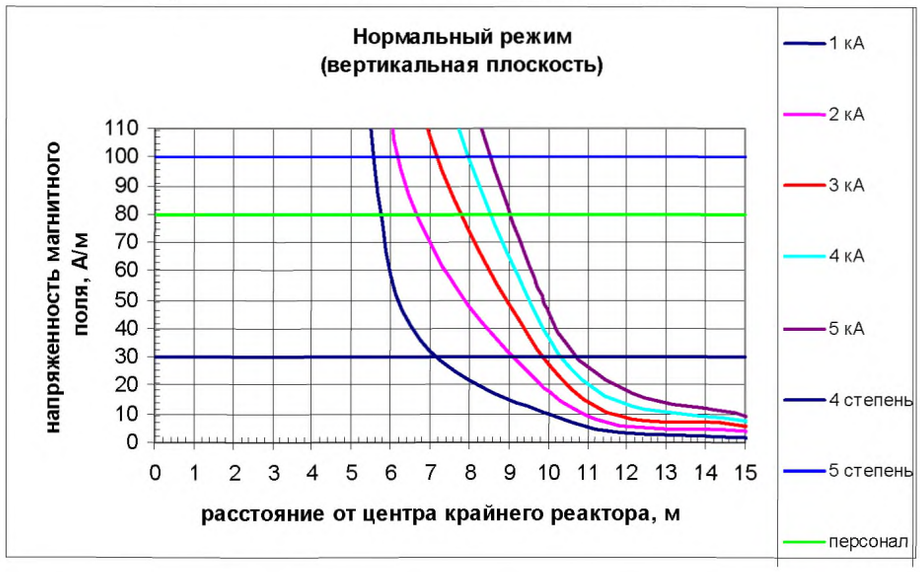


Рис.В.30 Распределение НМП при нормальных режимах в вертикальной плоскости при Z=0,96 Ом; n=45; R=0,9м; S=2,4м

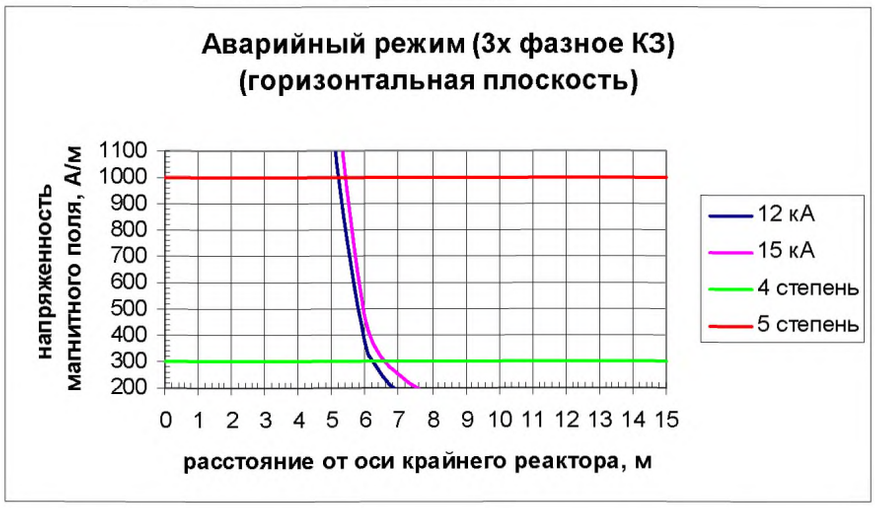


Рис.В.31 Распределение НМП при аварийных режимах в горизонтальной плоскости при Z=0,96 Ом; n=45; R=0,9м; S=2,4м

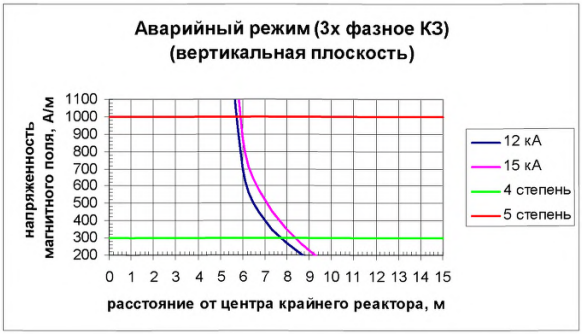


Рис.В.32 Распределение НМП при аварийных режимах в вертикальной плоскости при Z=0,96 Ом; n=45; R=0,9м; S=2,4м

В.3 Результаты расчетов напряженности магнитного поля от шин первичных цепей

Результаты расчетов напряженности магнитного поля приведены для случаев, когда шины первичных цепей различных классов напряжения (110кВ, 220кВ, 330кВ и 500кВ) располагаются над зданием, в котором расположен релейный щит (рис. В.33).

Расчетные точки расположены в пространстве между крайними фазами на высоте h=3м, в плоскости перпендикулярной оси проводов. При расчете не учитывали провис проводов, а проводники в расчетной модели задавали прямыми линиями, высоту которых над уровнем земли принимали равной габариту (минимальному расстоянию до поверхности земли) реальной ошиновки (рис. В.34).

Принималось, что длина шин много больше габарита ошиновки (L >> H), что может привести к некоторому завышению результатов расчета (превышение до 10%) по отношению к реальным случаям при небольших длинах пролета между порталами ошиновок на ОРУ. Геометрические параметры ошиновок различных классов напряжений представлены в таблице В.2.

Таблица В.2

Геометрические размеры расчетной модели ошиновки

Un, кВ	Габарит H, м	Межфазное расстояние D, м	Ширина портала, м
110	11	2,25	9
220	15	3,75	15
330	20	5,5	22
500	25	7,5	30

При расчете рассматривали нормальный и аварийный режимы. При нормальном режиме принимали, что по ошиновке протекают токи 1 кА и 3 кА. В качестве аварийного режима рассматривали режим однофазного КЗ, с замыканием на средней фазе. Токи однофазного КЗ: 10 кА, 20 кА, 40 кА и 60 кА.

Результаты расчета НМП для ошиновки 110 кВ представлены на рис. В.35 и рис. В.36. Результаты расчета ошиновки НМП для 220 кВ представлены на рис. В.37 и рис. В.38. Результаты расчета НМП для ошиновки 330 кВ представлены на рис. В.39 и рис. В.40. Результаты расчета НМП для ошиновки 500 кВ представлены на рис. В.41 и рис В.42.

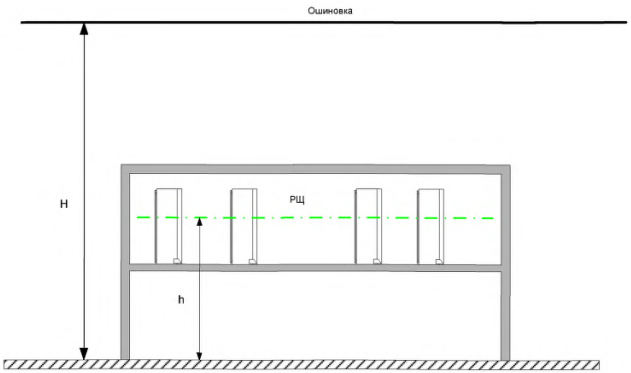


Рис.В.33 Расположение ошиновки над зданием РЩ

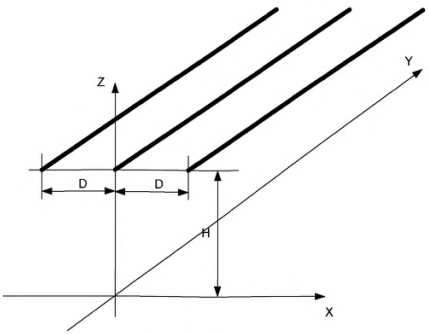


Рис.В.34 Расчетная модель

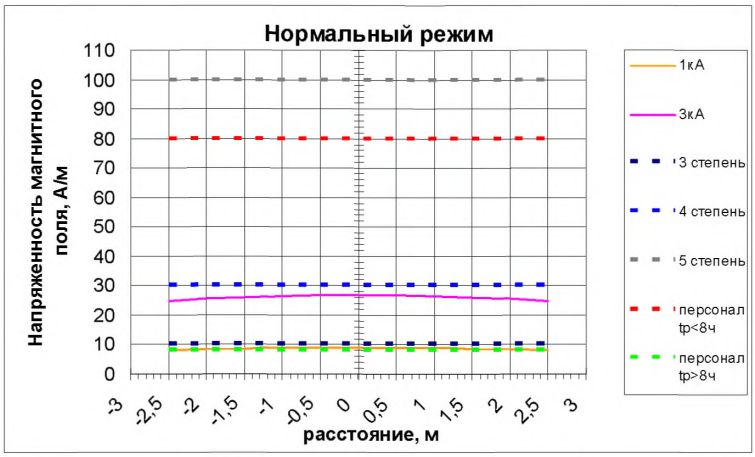


Рис.В.35 Результаты расчета НМП для ошиновки 110 кВ (нормальный режим)

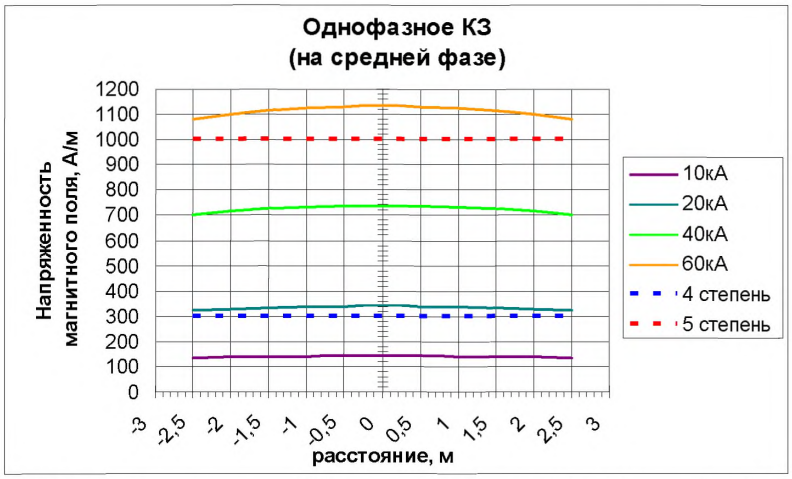


Рис.В.36 Результаты расчета НМП для ошиновки 110 кВ (аварийный режим)

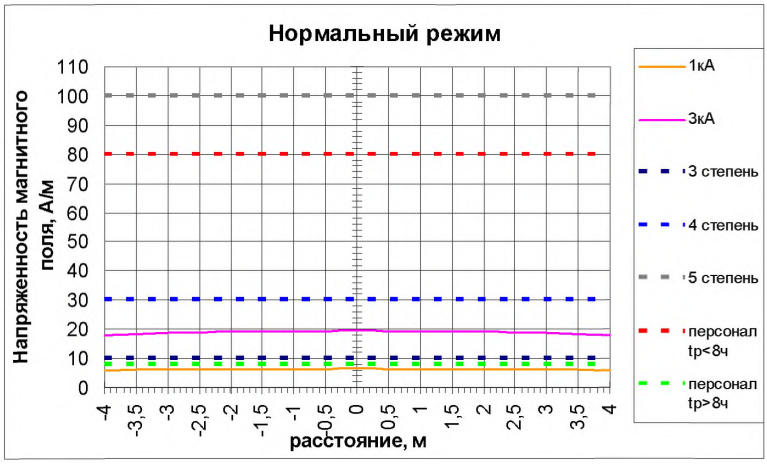


Рис.В.37 Результаты расчета НМП для ошиновки 220 кВ (нормальный режим)

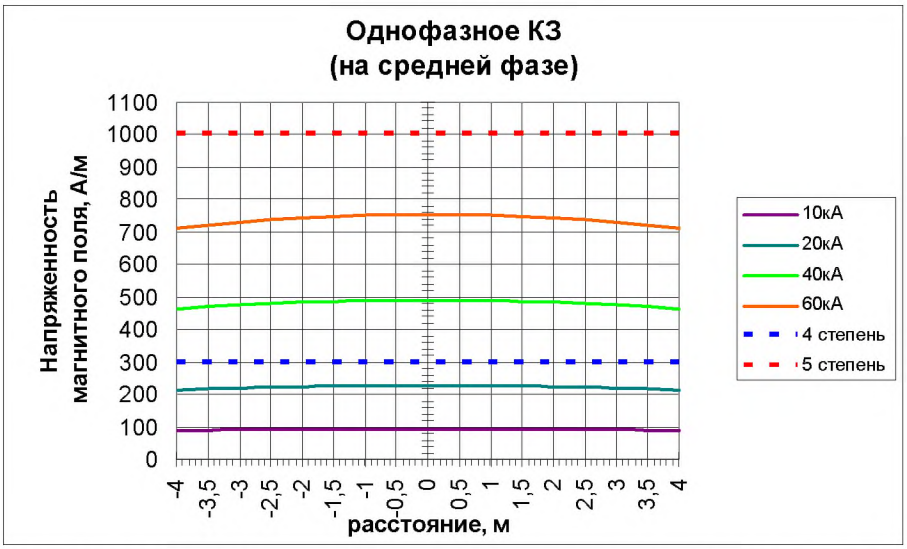


Рис.В.38 Результаты расчета НМП для ошиновки 220 кВ (аварийный режим)

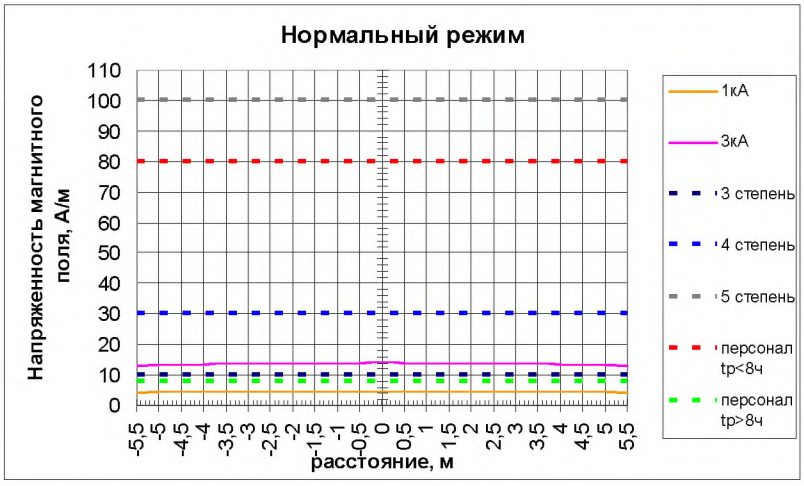


Рис.В.39 Результаты расчета НМП для ошиновки 330 кВ (нормальный режим)

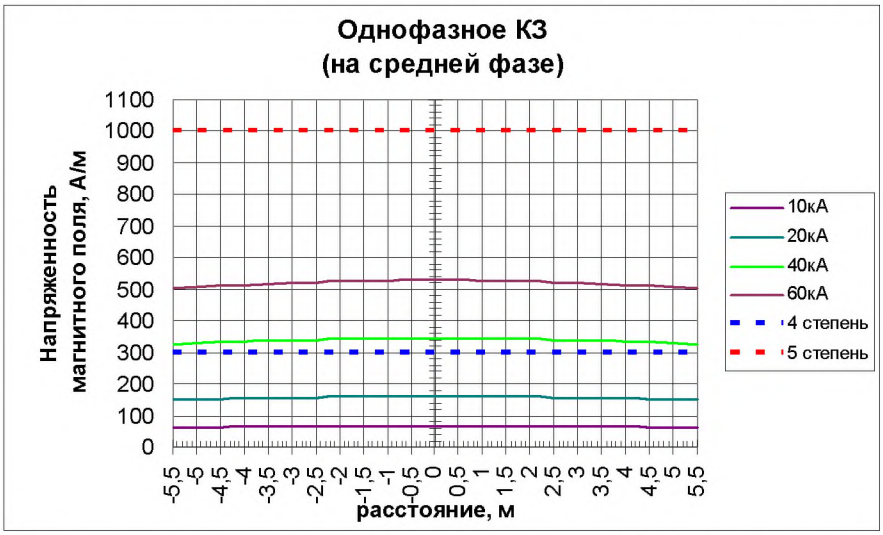


Рис.В.40 Результаты расчета НМП для ошиновки 330 кВ (аварийный режим)

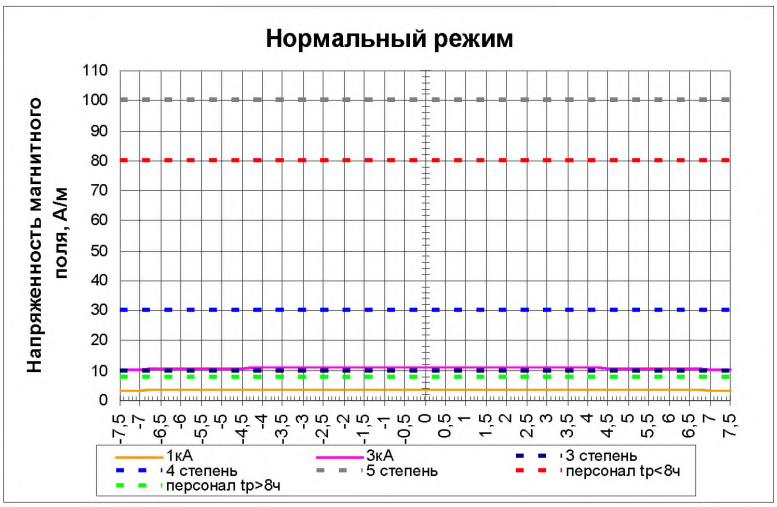


Рис.В.41 Результаты расчета НМП для ошиновки 500 кВ (нормальный режим)

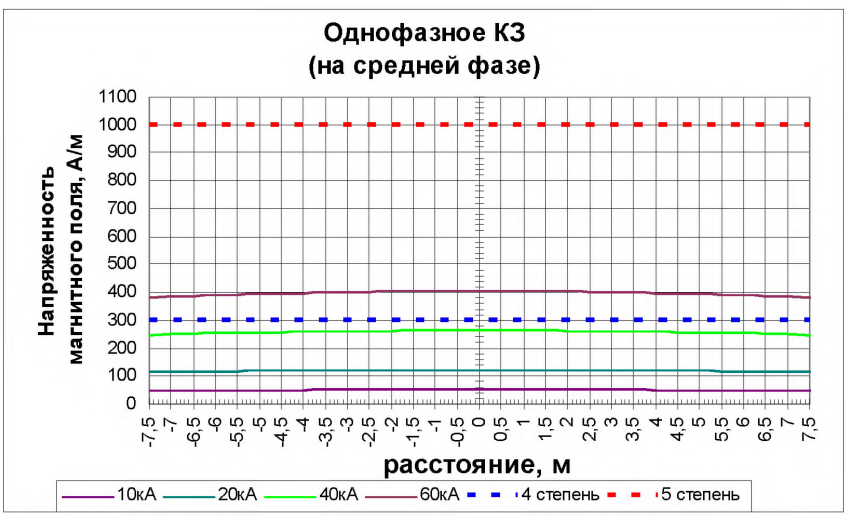


Рис.В.42 Результаты расчета НМП для ошиновки 500 кВ (аварийный режим)

В.4 Электромагнитные поля радиочастотного диапазона от различных источников

Таблица В.3

Напряженности электрического поля, создаваемого некоторыми радиопередатчиками

Источник	Частотный диапазон, МГц	Типичное максимальное эффективное значение излучаемой мощности Вт	Типичное минимальное расстояние м	Электрическое поле в соответствующей точке В/м
Радиотрансляция в диапазоне ДВ и в приморской зоне	0.014 - 0.5	$2.5x10^6$	$2x10^3$	5.5
Радиотрансляция в диапазоне СВ	0.2 - 1.6	$800x10^3$	500	12.5
Любительские КВ-радиостанции	1.8 - 30	$1x10^3$	10	22
КВ связь, включая радиотрансляцию	1.6 - 30	$10x10^3$	$1x10^3$	0.1
"Гражданский" диапазон	27 - 28	12	10	2.5
Любительские радиостанции диапазона ОВЧ и УВЧ	50 - 52 144 - 146 432 - 438 1290 - 1300	$8x10^3$ $8x10^3$ $8x10^3$ $8x10^3$	10	65
Стационарные и мобильные средства связи	29 - 40 68 - 87 146 - 174 422 - 432 438 - 470 860 - 990	130 130 130 130 130 130	2	40
Портативные телефоны, включая сотовые и радиотелефоны	900 - 1900	5	0.5	30
Телевидение диапазона МВ (ОВЧ)	48 - 68 174 - 230	$320x10^3$ $320x10^3$	500	8
Радиотрансляция в диапазоне FM	88 - 108	$100x10^3$	250	9
Телевидение диапазона ДМВ (УВЧ)	470 - 853	$500x10^3$	500	10
Радарные установки	1000 - 30000	$10x10^6$	200	110
Приемопередатчики Уоки-токи (walky-talky)	27 - 1000	5	0.5	30

Наибольшие значения напряженности электрического поля E, В/м, приведенные в Таблице П.В.3 (согласно МЭК 61000-2-3, 1992 г.), получены по выражению (бралось максимальное значение):

$$E = k \cdot (ЭИМ)^{0.5} \cdot r^{-1},$$

где r - минимальное расстояние [м] от источника излучения;

ЭИМ - эффективная излучаемая мощность [Вт];

k - постоянная величина (k=7 для всех источников в таблице, кроме устройств Уоки-токи, для которых k=3 - см. МЭК 61000-4-3).

Таблица В.4

Ослабление поля от переносной радиостанции с расстоянием и наличием искусственных преград.

Условия измерения	Расстояние до передатчика, м	E, В/м
Без преград	1	25
Без преград	10	0,52
Перекрытие и стена	10	0,005
Стена между РЩ и УВК	5	0,05

Приложение Г

Программы для расчета уровней электромагнитных воздействий

1 Расчет напряжений и токов промышленной частоты, воздействующих на вторичное оборудование

С помощью программ выполняют расчет переходных процессов в разветвленной 3-мерной схеме заземляющего устройства электросетевых объектов, включающей систему проводников в воздухе и грунте, при коротких и двойных замыканиях на землю.

При проведении расчетов должны учитываться:

- удельное сопротивление грунта;
- материал и сечение проводников и заземлителей;
- составляющие тока КЗ на землю;
- кабели с экраном, броней или оболочкой;
- трубопроводы различного сечения.

В результате расчетов получают распределение потенциалов и токов по элементам заземляющего устройства, и определяют:

- сопротивление заземляющего устройства (напряжение на ЗУ);
- напряжение, воздействующее на вторичные кабели и оборудование;
- токи в экранах, броне и оболочках кабелей.

Дополнительно с помощью программ определяют напряжение прикосновения для обеспечения условий электробезопасности на электросетевом объекте.

В таблице Г.1 приведены сведения о компьютерных программах, которые могут быть применены для выполнения расчетов электромагнитных воздействий на вторичное оборудование.

Для расчета напряжений и токов, воздействующих на вторичное оборудование, могут применяться программы:

ОРУ-М, Parsiz, KWIK GRID, «Расчет заземляющих устройств» фирмы Safe Engineering Services & technologies ltd.

2 Расчет импульсных помех при коротких замыканиях и коммутациях в первичных цепях.

С помощью программ выполняют расчет переходных процессов при КЗ и коммутациях в первичных цепях.

При проведении расчетов должны учитываться:

- волновые процессы в кабельных линиях,
- свойства грунта,
- расположение кабельной линии в воздухе так и в грунте,
- взаимное экранирование проводов в кабельных линиях,

- нагрузка линии на ее концах.

В результате расчетов определяют импульсные токи в первичных цепях, наведенные импульсные напряжения и токи во вторичных цепях.

Для расчета импульсных помех могут применяться программы:

Interferences, EMTP-RV, PisPice. MicroCAP.

3 Расчет магнитных полей.

С помощью программ для расчета магнитных полей выполняют расчет напряженности магнитного поля от источников поля:

- шины первичных цепей;
- реакторы, трансформаторы;
- проводники различного назначения;
- молниеотводы.

Для расчета магнитных полей могут применяться программы:

MagPole, Реактор МП, ЭМП ВЛ, ELMAGLEP, EMFWorkstation 2.5

4 Расчет электромагнитных воздействий от молнии.

С помощью программ выполняют расчет импульсных потенциалов на токоотводах и ЗУ молниеотводов, импульсных помех во вторичных цепях и напряженности импульсных магнитных полей при ударах молнии.

Для расчета электромагнитных воздействий от молнии могут применяться программы:

Interferences, MagPole, ОРУ-М, Контур.

Таблица Г.1

Сведения о программах для расчета электромагнитных воздействий

№ п/п	Наименование программы	Правообладатель, авторы	Область применения	Источник информации	Условия распространения
1	ОРУ-М	ООО «НПФ ЭЛНАП» РАО «ЕЭС России» МЭИ Борисов Р.К. Петров С.Р.	С помощью программы выполняют расчет: - напряжений и токов промышленной частоты, воздействующих на вторичное оборудование; - импульсных потенциалов на токоотводах и ЗУ молниеотводов; - импульсных потенциалов на ЗУ при КЗ и коммутациях; - распределение токов и потенциалов в ЗУ; - напряжений прикосновения на оборудовании при КЗ на землю.	Российское агентство по патентам и товарным знакам. Свидетельство о регистрации № 2002611768 от 15.10 2002г.	В свободной продаже.
2	Interferences	ООО «НПФ ЭЛНАП» Борисов Р.К. Петров С.Р.	С помощью программы выполняют расчет: - импульсных помех при коротких замыканиях и коммутациях в первичных цепях; - импульсных помех во вторичных цепях и напряженности импульсных магнитных полей при ударах молнии.	Российское агентство по патентам и товарным знакам. Свидетельство о регистрации № 20046104619 от 11.2.2004г.	В свободной продаже.
3.	MagPole	ООО «НПФ ЭЛНАП» Борисов Р.К. Ерошенков А.В.	С помощью программы выполняют расчет напряженности магнитного поля от источников поля: - шины первичных цепей; - реакторы, трансформаторы; - проводники различного назначения	Российское агентство по патентам и товарным знакам. Свидетельство о регистрации № 2007614391 от 17.10.2007г.	В свободной продаже.
4.	Protection	НПФ ЭЛНАП	Расчет зон защиты от прямых ударов	Электромагнитная	В свободной

№ п/п	Наименование программы	Правообладатель, авторы	Область применения	Источник информации	Условия распространения
	Zones	Борисов Р.К., Петров С.Р.	молнии по методикам РД 34.21.122 - 87, СО-153-34.21.122 2003, IEC Standart 62305	совместимость в электроэнергетике и электротехнике. П/ред. А.Ф. Дьякова, М.: Энергоатомиздат, 2003/	продаже.
5.	Parsiz	НГТУ, Нестеров С.В.	Расчет параметров ЗУ: напряжение прикосновения, распределение потенциала по сетке ЗУ. Грунт многослойный	Вторая Российская конференция по заземляющим устройствам, Сборник докладов, Новосибирск, 2005	В свободной продаже нет.
6.	Реактор МП	ОАО «ФСК ЕЭС» НИИ медицины труда Мисриханов М.Ш. Рубцова Н.Б. Токарский А.Ю. Иостсон Ю.А.	Расчет распределения напряжённости магнитного поля, создаваемого трёхфазными многослойными и многорядными реакторами.	Российское агентство по патентам и товарным знакам. Свидетельство о регистрации № 2006613743 от 29.10.2006г.	ОАО «ФСК ЕЭС» МЭС Центра
7	ЭНИН	Базелян Э.М.	Расчет параметров ЗУ: напряжение прикосновения, распределение потенциала по сетке ЗУ.	Вторая Российская конференция по заземляющим устройствам, Сборник докладов, Новосибирск, 2005	Информация отсутствует
8	Контур	ООО "ЭЗОП"	С помощью программы выполняют расчет: - импульсных потенциалов на ЗУ молниеотводов; - распределение токов и потенциалов в ЗУ.	Вторая Российская конференция по заземляющим устройствам, Сборник докладов, Новосибирск, 2005 gost.e-ecolog.ru	В свободной продаже нет.
9.	ELMAGLEP	МЭИ(ТУ) Колечицкий Е.С. Шульгин В.Н. Плис А.И. Расторгуев В.А.	Расчет ЭП и МП, созданных ВЛ	Учебная программа	Распространяется свободно.
10.	ТРИТОН	МЭИ(ТУ) Ратьковский А.Г.	Расчет напряженности электрических полей на подстанциях высокого	Колечицкий Е.С. Расчет электрических полей	По согласованию с авторами.

№ п/п	Наименование программы	Правообладатель, авторы	Область применения	Источник информации	Условия распространения
			напряжения.	устройств высокого напряжения. -М.: Энергоатомиздат, 1983.	
11.	ЭМП ВЛ	ОАО «ФСК ЕЭС» НИИ медицины труда Мисриханов М.Ш. Рубцова Н.Б. Токарский А.Ю. Иостсон Ю.А.	Расчет напряжённости электрического и магнитного полей промышленной частоты, создаваемых ВЛ	Российское агентство по патентам и товарным знакам. Свидетельство о регистрации № 2006613744 от 29.08.2006г.	ОАО «ФСК ЕЭС» МЭС Центра
12.	KWIKGRID	Фирма Consulting Electrical Engineers ("Консультанты-электротехники"). Канада.	Расчета ЗУ из вертикальных и горизонтальных проводников в грунте. Произвольная конфигурация. Результаты расчета - распределение потенциалов на поверхности грунта, напряжения прикосновения и шага, сопротивление растекания, потенциал на ЗУ. В отдельном текстовом файле результатов можно посмотреть токи по проводникам.	http://gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru	Распространяется свободно
13.	Программа для расчета ЗУ	Фирма Safe Engineering Services & technologies ltd., Монреаль, Канада (ООО Технологии и услуги в сфере техники безопасности)	Основные функции: - расчет заземляющих устройств (произвольные грунты и воздействия); - расчет параметров линий для воздушных линий и проводников в грунте или кабелей в трубе; - расчет распределения токов нагрузки, КЗ и импульсных токов по проводникам (нейтрали, экраны и т.п.); анализ катодных защит сложных	http://www.sestech.com/Products/SoftPackages/CDEGS.htm	Распространяется свободно.

№ п/п	Наименование программы	Правообладатель, авторы	Область применения	Источник информации	Условия распространения
			подземных сооружений; - индуктивное, кондуктивное и емкостное взаимодействие между кабелями, проложенными по одной трассе; - анализ электромагнитных полей, создаваемых различными источниками.		
8	EMTP-RV	Разрабатывается DCG - группа по координации разработки. Члены DCG - Western Area Power Administration, the US Bureau of Reclamation, American Electric Power service Corporation, Electrical Power Research Institute, Canadian Electrical Association, Hydro One Networks and Hydro-Quebec, Central Research Institute of Electric Power Industry and Electricité de France.	Расчет переходных процессов в электрических цепях, включая линии с распределенными параметрами	http://www.emtp.com/software/emtp_rv.html	В свободной продаже.
9	PisPice	Принадлежит Cadence Design System	Расчет переходных процессов в электрических цепях, включая линии с распределенными параметрами с	gost.e-ecolog.ru s/orcad/pspice_a_d/index.aspx	В свободной продаже.

№ п/п	Наименование программы	Правообладатель, авторы	Область применения	Источник информации	Условия распространения
			учетом взаимного влияния		
	EMF Workstation 2.5	Фирмы Enertech	Комплект утилит для расчета магнитных и электрических полей от различного электрооборудования: линии, реакторы, батареи конденсаторов, силовые трансформаторы, трубопроводы, заземляющие проводники.	gost.e-ecolog.ru ownload/documentation/emfw25 .pdf gost.e-ecolog.ru /emfmod.htm	Нет сведений о продаже.
	MicroCAP	Spectrum Software	Программа расчета электрических цепей при любых воздействиях.	http://www.spectrum-soft.com/price.shtm	В свободной продаже.

Примечание. Из зарубежных программ представлены лишь наиболее распространенные и представленные на Российском рынке.

Приложение Д

Импульсные помехи

Таблица Д.1

Наибольшие уровни импульсных помех (степень жесткости испытаний) во вторичных кабелях при коротких замыканиях в первичных цепях

Тип кабельной канализации	Тип кабелей	Трасса прокладки кабелей	Удельное сопротивление грунта, Ом*м	Степень жесткости				
				Класс напряжения ОРУ, кВ				
				110	220	330	500	750
Открыто или в ж/б кабельных лотках (дополнительное экранирование не обеспечивается)	Без экрана и брони	Параллельно ошиновке на расстоянии менее 3м (длина параллельной трассы более 10м)	-	выше 4 не рекомендуется				
		Параллельно ошиновке на расстоянии менее5м (длина параллельной трассы более 10м)	100	4	выше 4 Не рекомендуется			
			400	выше 4				
			1000	выше 4				
		Параллельно ошиновке на расстоянии менее 7м (длина параллельной трассы более 10м)	100	3	4	выше 4	выше 4	выше 4
			400	4	выше 4	выше 4	выше 4	выше 4
			1000	выше 4	выше 4	выше 4	выше 4	выше 4
		Перпендикулярно ошиновке	-	2				
	С экраном или броней	Параллельно ошиновке на расстоянии 1м (длина параллельной трассы более 10м)	100	4	выше 4	выше 4	выше 4	выше 4
			400	4	выше 4	выше 4	выше 4	выше 4
			1000	4	выше 4	выше 4	выше 4	выше 4
		Параллельно ошиновке на расстоянии 3м (длина параллельной трассы более 10м)	100	3	4	выше 4	выше 4	выше 4
			400	4	выше 4	выше 4	выше 4	выше 4
			1000	4	выше 4	выше 4	выше 4	выше 4
		Параллельно ошиновке на расстоянии 5м (длина параллельной трассы более 10м)	100	3	3	4	выше 4	выше 4
			400	3	4	выше 4	выше 4	выше 4
			1000	4	выше 4	выше 4	выше 4	выше 4
		Параллельно ошиновке на расстоянии 7м (длина параллельной трассы более 10м)	100	2	3	3	4	4
			400	3	4	4	выше 4	выше 4
			1000	4	выше 4	выше 4	выше 4	выше 4

Тип кабельной канализации	Тип кабелей	Трасса прокладки кабелей	Удельное сопротивление грунта, Ом*м	Степень жесткости				
				Класс напряжения ОРУ, кВ				
				110	220	330	500	750
		Перпендикулярно ошиновке	-	1				
В металлическом кабельном лотке (Кэкр=4)	Без экрана и брони	Параллельно ошиновке на расстоянии 1м (длина параллельной трассы более 10м)	100	4	выше 4	выше 4	выше 4	выше 4
			400	4	выше 4	выше 4	выше 4	выше 4
			1000	4	выше 4	выше 4	выше 4	выше 4
		Параллельно ошиновке на расстоянии 3м	100	3	4	4	выше 4	выше 4
			400	4	выше 4	выше 4	выше 4	выше 4
			1000	4	выше 4	выше 4	выше 4	выше 4
		Параллельно ошиновке на расстоянии 5м (длина параллельной трассы более 10м)	100	2	3	4	4	выше 4
			400	3	4	выше 4	выше 4	выше 4
			1000	4	выше 4	выше 4	выше 4	выше 4
		Параллельно ошиновке на расстоянии 7м (длина параллельной трассы более 10м)	100	2	3	3	4	4
			400	3	4	4	выше 4	выше 4
			1000	3	4	выше 4	выше 4	выше 4
		Перпендикулярно ошиновке	-	1				
	С экраном или Броней	Параллельно ошиновке на расстоянии 1м (длина параллельной трассы более 10м)	100	2	3	4	4	выше 4
			400	3	3	4	выше 4	выше 4
			1000	3	3	4	выше 4	выше 4
		Параллельно ошиновке на расстоянии 3м (длина параллельной трассы более 10м)	100	1	2	3	3	4
			400	2	3	4	4	выше 4
			1000	3	3	4	4	выше 4
		Параллельно ошиновке на расстоянии 5м (длина параллельной трассы более 10м)	100	1	2	2	3	3
			400	2	3	3	4	4
			1000	2	3	4	4	выше 4
		Параллельно ошиновке на расстоянии 7м (длина параллельной трассы более 10м)	100	1	1	2	2	3
			400	1	2	3	3	4
			1000	2	3	3	4	4
		Перпендикулярно ошиновке	-	1				

Тип кабельной канализации	Тип кабелей	Трасса прокладки кабелей	Удельное сопротивление грунта, Ом*м	Степень жесткости				
				Класс напряжения ОРУ, кВ				
				110	220	330	500	750
В электрически непрерывной металлической трубе (Кэкр=10)	Без экрана и брони	Параллельно ошиновке на расстоянии 1м	100	3	3	4	выше 4	выше 4
			400	3	4	4	выше 4	выше 4
			1000	3	4	4	выше 4	выше 4
		Параллельно ошиновке на расстоянии 3м	100	2	3	3	4	4
			400	3	3	4	выше 4	выше 4
			1000	3	4	4	выше 4	выше 4
		Параллельно ошиновке на расстоянии 5м	100	1	2	3	3	4
			400	2	3	3	4	выше 4
			1000	3	3	4	выше 4	выше 4
		Параллельно ошиновке на расстоянии 7м	100	1	1	2	3	3
			400	2	3	3	3	4
			1000	2	3	4	4	выше 4
		Перпендикулярно ошиновке	-	1				
	С экраном или броней	Параллельно ошиновке на расстоянии 1м	-	1	2	3	3	4
		Параллельно ошиновке на расстоянии 3м	100	1	1	2	2	3
			400	1	2	3	3	3
			1000	1	2	3	3	4
		Параллельно ошиновке на расстоянии 5м	100	1	1	1	2	2
			400	1	1	2	3	3
			1000	1	2	3	3	3
		Параллельно ошиновке на расстоянии 7м	100	1	1	1	1	1
			400	1	1	1	2	3
			1000	1	2	2	3	3
		Перпендикулярно ошиновке	-	1				
В подземном кабельном канале или тоннеле (Кэкр=100)	Без экрана и брони	-	-	Не более 2				
	С экраном или броней	-	-	1				

Примечание: Степень жесткости испытаний дана с учетом погрешности расчетов (не более 20%).

Приложение Е

Заземление экранов кабелей

1 Практически на всех энергообъектах России применяются кабели типа КВВГэ. Отсутствие правильной технологии заземления экранов таких кабелей и применяемые конструкции шкафов привели к тому, что применяемые на практике способы заземления экранов противоречат основным правилам обеспечения ЭМС (рис.Е.1). Как правило, заземление экранов выполняется в виде «косички».

«Косичка» - отрезок спаянных проводников оплетки кабеля или дренажные проводники кабелей с фольговыми экранами, являются удивительно неэффективными для обеспечения хорошего заземления, даже если их длина не превышает 25 мм. Косички увеличивают последовательную индуктивность в заземляющем соединении, которая будет доминировать в передаточном сопротивлении при сборке. Взаимная индуктивность отрезка кабеля, на котором выполнена косичка, пропорциональная длине отрезка; для косички длиной 25 мм взаимная индуктивность составляет несколько нГн, что существенно больше, чем допускается для индуктивности утечки типичного экранированного кабеля.

Соединение «косичкой» не может быть рекомендовано для обеспечения ЭМС, за исключением низкочастотных приложений, не представляющих опасность с позиции помехоэмиссии и восприимчивости. В любом случае длина косички не должна превышать 30мм.

2 Для заземления экранов рекомендуется использовать специальную конструкцию в виде специальных зажимов (рис.Е.2) с большой площадью контакта. Ее можно расположить по всему периметру нижней части шкафа. Для большего числа кабелей, возможно, установка дополнительного ряда в середине (если это возможно по условиям удобства монтажа).

Одним из вариантов для заземления экранов является применение специальных разъемов (рис.Е.3).

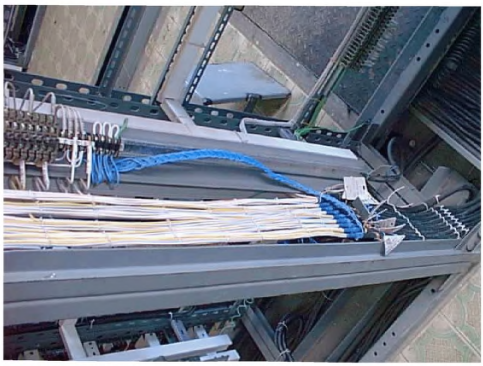
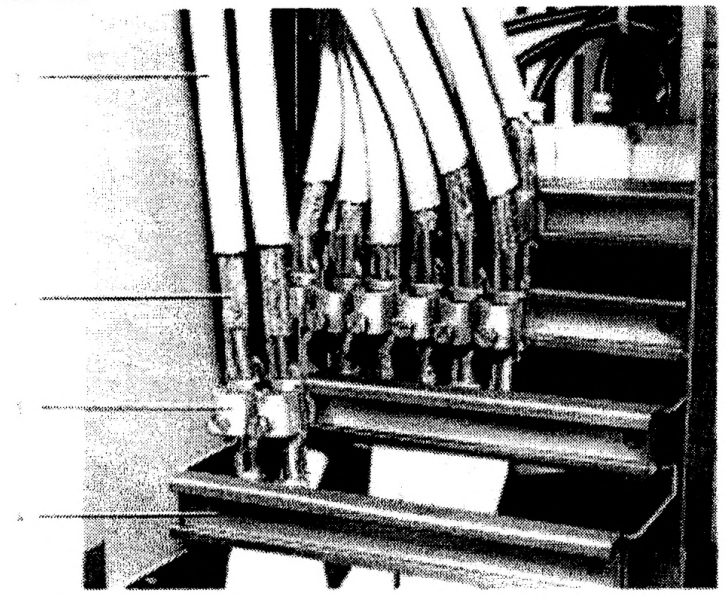


Рис.Е.1 Заземление экранов в виде «косички» из длинных проводников

rechnen.



ve humidity exceeds 50 %.

1 Meß- und Signalkabel (hier mit Geflechtschirm)
Measuring and signal cable (here with braided screen)

2 Geflechtschirm freigelegt
Braided screen bared

3 Kabelschelle
Cable clamp

4 Kabeltragschiene (C-Schiene)
Cable mounting rail (C rail)

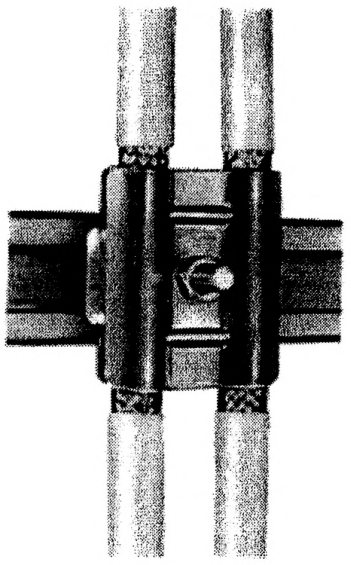
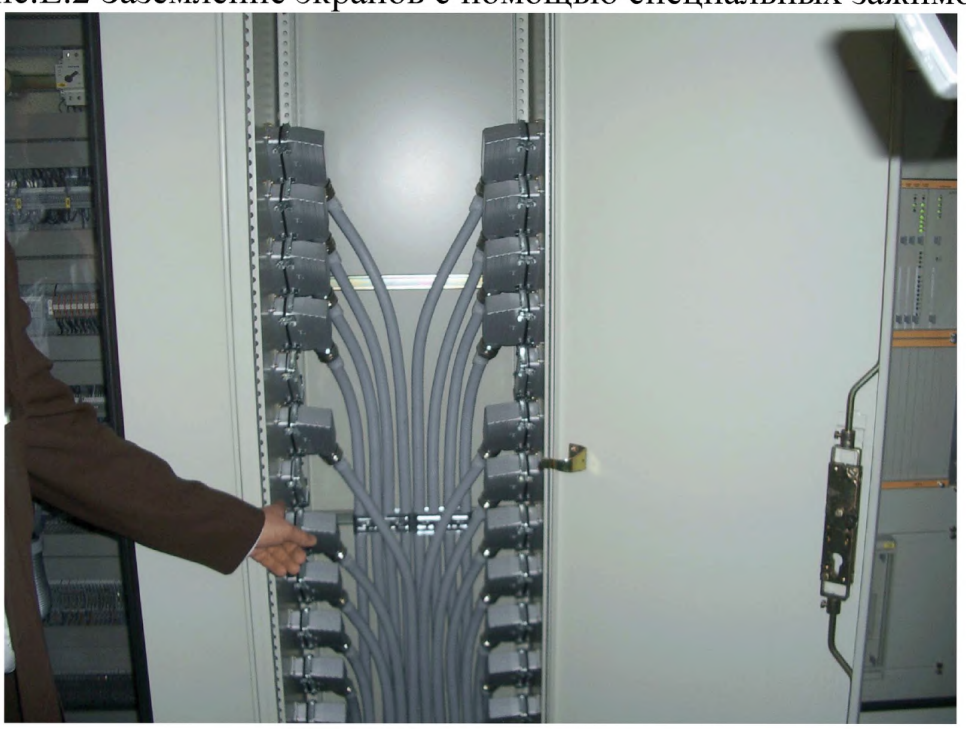


Рис.Е.2 Заземление экранов с помощью специальных зажимов



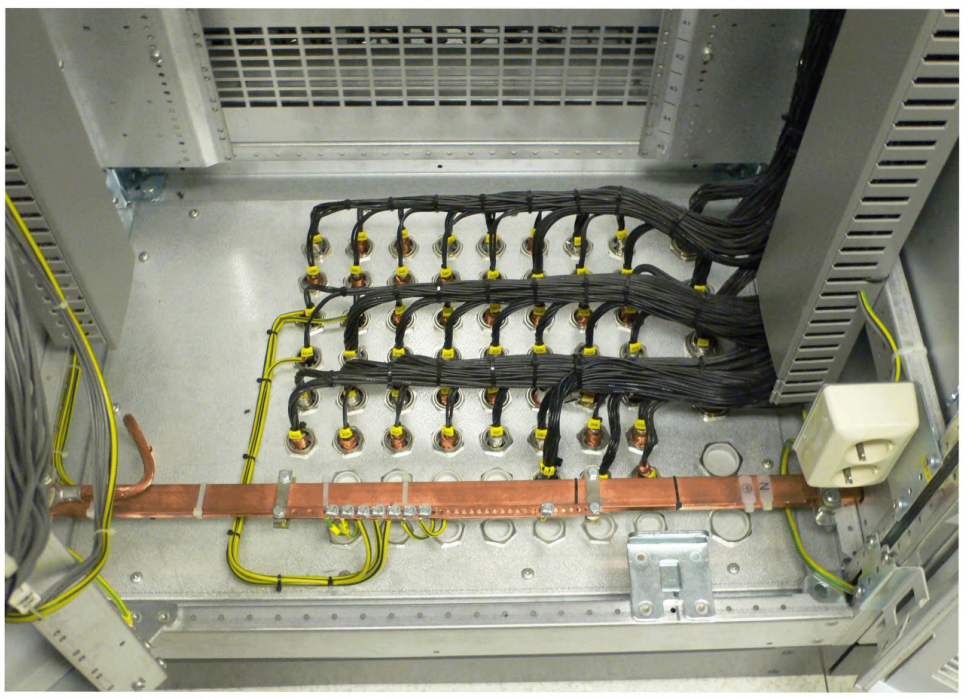


Рис.Е.3 Применение специальных разъемов

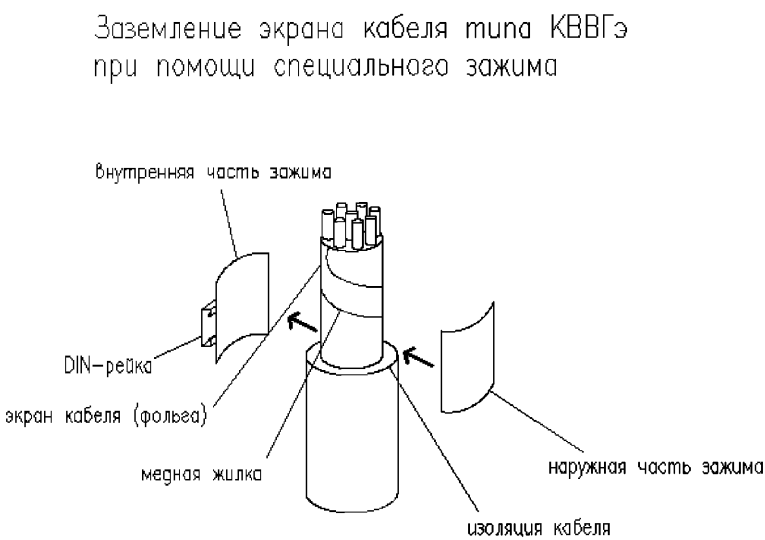


Рис.Е.4 Заземление экрана кабеля типа КВВГэ

3 Основное правило - экраны контрольных и силовых кабелей следует заземлять с обоих концов. Этот способ является наилучшим для снижения синфазных помех, особенно на средних и высоких частотах. Коэффициент снижения остается значительным (т.е. <<1) и на низких частотах, если при этом в состав экрана входят магнитные материалы (сталь, пермаллой, феррит).

Частные случаи - двойное экранирование кабелей, заземление через емкость или устройство защиты от перенапряжений.

Иногда можно объединить преимущества посредством использования:

кабелей с двойным экранированием, при этом с двух сторон заземлять только внешний экран;

кабелей с одинарным экраном, у которого один конец заземляется непосредственно, а другой через конденсатор (для предотвращения циркуляции токов низкой частоты) или через устройство защиты от перенапряжений для того, чтобы по экрану протекали частично только токи КЗ или токи молнии.

4 На рис.Е.5 показаны возможные способы выполнения заземления экранов. Каждый способ заземления соответствует некоторому четко определенному набору ситуаций, привязанных к различным типам обычно используемых на подстанциях полезных сигналов. Электромагнитная обстановка оказывает влияние на оборудование непосредственно или, что бывает чаще, через кабели. В последнем случае уровень помех и порог невосприимчивости зависят, в основном, от двух факторов: типа кабеля и способа подключения; типа передаваемого сигнала. Первый фактор характеризуется коэффициентом

экранирования. Второй фактор может быть охарактеризован видом сигналов (цифровые или аналоговые), амплитудой (в вольтах или амперах) и частотным диапазоном.

Ниже приведена классификация сигналов, состоящая из четырех классов, приведенных в порядке убывания чувствительности к электромагнитным возмущениям (см. табл. Е.1). Следует отметить, однако, что хотя в данной классификации цифровые и аналоговые сигналы отнесены к одному типу (различаясь индексами a и b соответственно), подобное сравнение имеет некоторые ограничения вследствие того, что цифровые и аналоговые системы на практике ведут себя совершенно по-разному.

Таблица Е.1

Классификация типовых сигналов в порядке уменьшения чувствительности к внешним возмущениям

№ п/п	Вид сигнала	Обычный уровень	Типичный частотный диапазон
1a	Цифровой высокоскоростной сигнал низкого уровня, например, RS422/V11, G703, Ethernet	0,1-5 В	> 20 кГц
1b	Широкополосный аналоговый сигнал, например, от измерителей потока нейтронов	10 мкВ-1 В	< 10 МГц
2a	Цифровой низкоскоростной сигнал низкого уровня, например, от импульсных генераторов для измерений скорости или положения, RS232/V28	< 20 В	< 20 кГц
2b	Аналоговый низкочастотный сигнал низкого уровня, например, от датчиков измерения температуры или вибрации	< 1 В	< 1 кГц
3a	Дискретные сигналы среднего уровня, например, сигналы управления или указания	> 10 В	< 100 Гц
3b	Аналоговые сигналы среднего уровня, например, от датчиков технологического контроля	1-10 В 4-20 мА	< 100 Гц
4a	Дискретные сигналы высокого уровня, например, сигналы управления выключателями и разъединителями	> 50 В	< 100 Гц
4b	Аналоговые сигналы высокого уровня от трансформаторов тока и напряжения	> 10 В, > 20 мА	< 1 кГц

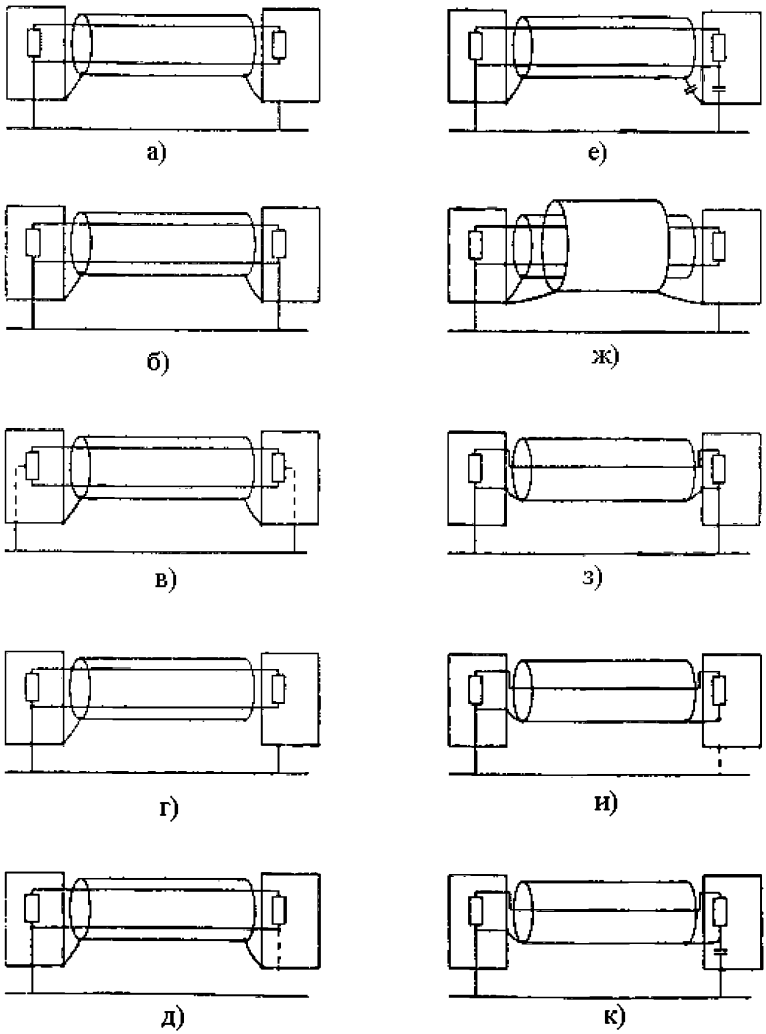


Рис. Е.5 Практические способы заземления жил и экранов кабелей:

Область применения различных способов заземления жил и экранов кабелей.

Схема на рис. Е.5, а. Это наиболее часто рекомендуемый способ, при котором сигнальные цепи заземлены на одном конце во избежание появления помех промышленной частоты, а экран заземлен на обоих концах для наилучшего снижения высокочастотных помех.

Данная схема широко используется для подключения оборудования на РУ подстанций (сигналы 4 в табл. Е.1) и для подключения кабелей с сигналами управления или цифровыми сигналами среднего уровня (сигналы 3 в табл. Е.1). Схема не подходит для подключения кабелей с чувствительными сигналами

низкой частоты (2b в табл. Е.1) в асимметричных (несимметричных) цепях; схема также мало подходит для высокоскоростных цифровых цепей, не имеющих опорного потенциала земли (сигнал 1а в табл. Е.1).

Схема на рис. Е.5, б. При данной схеме подключения, как экран, так и сигнальные жилы заземляют с обеих сторон.

Данная схема является наилучшим решением для высокочастотных цепей (сигнал 1 в табл. Е.1), но требует наличия очень хорошей (эквипотенциальной) сети заземления, которая на практике может иметь место в сетях малых размеров, расположенных в одном здании.

В действительности любой продольный потенциал земли, вне зависимости от причин его появления, даже будучи снижен за счет экранирования, все равно появится в виде синфазной помехи на обоих концах (величина зависит от соотношения сопротивлений нагрузки).

Однако, в данной конфигурации синфазное и противофазное напряжение идентичны друг другу, вследствие чего дальнейшего снижения помехи не произойдет. На низких частотах данной схемы следует избегать, если по цепи передаются сигналы низкой частоты или ожидается появление значительных потенциалов заземлителя на низких частотах.

Во избежание этого затруднения обычно предпочтение отдается симметрированным схемам соединения (схема на рис. Е.5,в) или схемам с разделением сигналов низкой и высокой частоты (схема на рис. Е.5,д).

Схема на рис. Е.1, в. В данной схеме используется принцип симметрирования цепи, при котором присоединяемое оборудование и соответствующие связи с сигнальными цепями выполняются симметрично относительно земли. В такой цепи среднюю точку можно либо заземлять, либо не заземлять.

Данная схема обычно используется для цепей дистанционного управления, имеющих большую длину.

Экран кабеля заземлен с обеих сторон и обеспечивает экранирование от продольных возмущений. Данная схема обладает весьма большой стоимостью, но в то же время позволяет избавиться от помех во всем диапазоне частот - от низких (цепь симметрирована) до высоких (применено экранирование) и поэтому рекомендуется к применению при передаче сигналов любого типа.

Схемы на рис. Е.5, г, д. Данные схемы - это обычные схемы соединения для передачи сигналов низкой частоты (2а в табл. Е.1) при наличии низкочастотных возмущений, позволяющие удерживать величину противофазной помехи на низком уровне (несимметричная цепь).

Данные схемы также могут использоваться для цепей, к незаземленному концу (не защищенному от продольных помех) которых подключены только пассивные либо слабо подверженные помехам элементы.

При сравнении схем на рис. Е.5, г и Е.5, д видно, что схема Е.1, д с незаземленным корпусом оборудования обеспечивает большую помехозащищенность, но может вызвать проблемы в плане электробезопасности (значительное напряжение прикосновения). Таким образом, данная схема обычно неприменима при наличии вблизи небольших элементов рассматриваемого оборудования какого-либо заземленного иного оборудования.

Схема на рис. Е.5, е. В данной схеме ослабление механизма связи между токами низкой и высокой частоты достигается за счет конденсаторов, позволяющих получить снижение помех высокой частоты за счет двойного заземления без опасений появления противофазных помех низкой частоты вследствие несимметричности цепи.

Заземление сигнальной цепи на высоких частотах может происходить за счет паразитных емкостей или наличия конденсаторов для ослабления механизма связи.

Схема на рис. Е.5, ж. Схема объединяет в себе достоинства схем на рис. Е.1, а и Е.1, г обеспечивая хорошую защиту от помех во всем диапазоне частот. По этой причине схема может использоваться для передачи низкочастотных сигналов низкого уровня (2 в табл. Е.1) в сложной ЭМО.

Схема на рис. Е.5, з. Схема с коаксиальным кабелем с заземлением на обоих концах обычно используется для передачи сигналов высокой частоты оборудованию, не подверженному воздействию помех низкой или высокой частоты, в частности, радиооборудованию, работающему в диапазоне СВЧ, рабочие частоты которого много выше частот обычно встречающихся помех.

Такая схема также часто используется для передачи высокоскоростных цифровых сигналов (1а в табл. Е.1) на небольшие расстояния (несколько десятков метров) при наличии хорошего заземлителя (см. схему на рис. Е.5, б).

Схема применима и при больших расстояниях, если взаимное передаточное сопротивление невелико, токи помехи ограничены наличием хорошего заземлителя или заземленного проводника, параллельного кабелю.

Схема на рис. Е.5, и. Схема с коаксиальным кабелем с заземлением на одном конце применяется везде, где токи помех низкой частоты по внешнему проводнику могут повлиять на полезный сигнал.

Примером такого случая может быть соединение отдельных заземлителей. Кроме того, данное соединение может использоваться для подключения переносного оборудования, например, видеокамер, мониторов, и т .п.

При необходимости переносное оборудование можно заземлять через конденсатор.

Очевидно, что подобно схеме на рис. Е.5, ж, использование коаксиальных трехпроводных (триаксиальных) кабелей может иногда помочь решить все возможные проблемы помехозащищенности и, таким образом, может быть

рекомендовано для очень чувствительных сетей, используемых, например, для передачи сигналов 1 в табл. Е.1,.

Схема на рис. Е.5, к. Подобно схеме на рис. Е.5, е. данная схема обеспечивает хорошее экранирование высоких частот без вредных воздействий, связанных с протеканием токов низкой частоты.

5 При выборе типа кабеля могут помочь следующие общие рекомендации:

- Применения витых пар существенно снижает наведенные помехи.

- Коаксиальные кабели, несмотря на их распространенность для передачи высокочастотных сигналов, не очень хороши для частот ниже средних.

- Экраны в виде оплетки по наружной поверхности кабеля по электрическим параметрам превосходят экраны в виде спирально намотанной фольги. Качество оплетки лучше, чем выше ее плотность.

- Оплетка и фольга тем лучше, чем толще проволока или материал фольги, поскольку это обеспечивает увеличение проводимости.

- Продольная установка фольги лучше, чем спиральная, но она достаточно жесткая и трудно изгибается.

- Внешний экран в виде оплетки и фольги, или двойной оплетки, значительно лучше, чем одиночный экран, даже в том случае, если два экранирующих слоя не изолированы один от другого. Лучшая конфигурация для кабелей с экраном в виде оплетки и фольги, когда оплетка находится против проводящей стороны спиральной фольги.

- Отдельные витые пары (тройки, четверки и т.п.) в общем экранированном кабеле могут нуждаться в индивидуальных экранах для предотвращения емкостной перекрестной помехи между сигнальными проводниками.

- Многослойные экраны с изоляцией между экранными слоями в общем случае лучше, чем без изоляции.

Приложение Ж

Выбор сечения элементов заземляющих устройств

Допустимые токи короткого замыкания для элементов заземляющих устройств определяют по следующему выражению, исходя из допустимой по ПУЭ температуре нагрева

$$I_{\text{доп}} = \frac{S}{S_{\text{доп}} q},$$

где S - поперечное сечение проводника или экрана кабеля,мм^2; $S_{\text{доп}}$ - допустимое сечение для тока в 1 кА продолжительностью воздействия 1 секунда; q - коэффициент, учитывающий продолжительность воздействия тока

$$q = \begin{cases} \sqrt{t + 0{,}09}, & t < 1 \text{ с} \\ 0{,}8\sqrt{t}, & t > 1 \text{ с} \end{cases}.$$

Значения $S_{\text{доп}}$ приведены в табл. Ж.1.

Таблица Ж.1

Допустимое сечение $S_{\text{доп}}$ для тока 1 кА длительностью 1 с.

Тип элемента	$S_{\text{доп}}$, мм^2/кА
Горизонтальный стальной заземлитель	14,0
Заземляющий проводник из стали, подсоединенный к аппарату	16,5
Горизонтальный медный заземлитель	4,6
Заземляющий проводник из меди, подсоединенный к аппарату	5,4
Арматура железобетона	30,3
Свинцовая оболочка кабеля с бумажной пропитанной изоляцией на напряжение 10 кВ	40,0
Свинцовая оболочка кабеля с бумажной пропитанной изоляцией на напряжение 20 - 200 кВ	54,1
Алюминиевая оболочка (экран) кабеля с поливинилхлоридной и резиновой изоляцией	15,0
Алюминиевая оболочка (экран) кабеля с полиэтиленовой изоляцией	16,4
Медный экран кабеля с поливинилхлоридной и резиновой изоляцией	10,0
Медный экран кабеля с полиэтиленовой изоляцией	11,0

Графики зависимостей значений допустимых токов от поперечных сечений элементов для различных материалов и времени воздействия КЗ не более 0,1 (время работы основной защиты) с приведены на рис. Ж.1 -Ж.7.

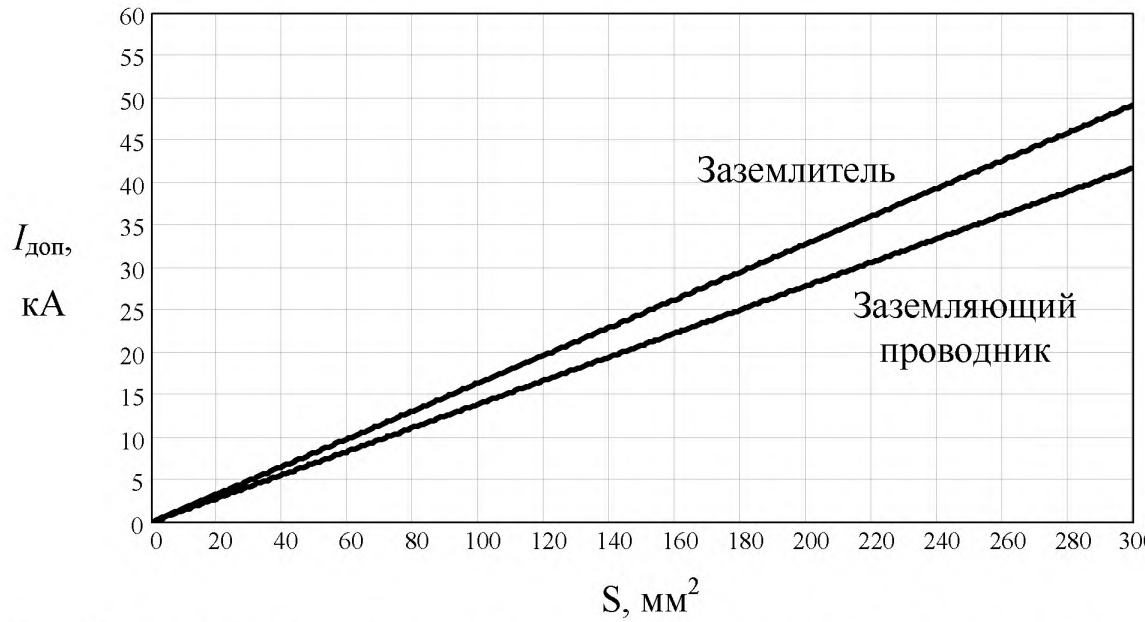


Рис. Ж.1 Допустимый ток КЗ для стальных проводников горизонтального заземлителя и заземляющего проводника, подсоединенного к аппарату, при времени воздействия не более 0,1 с

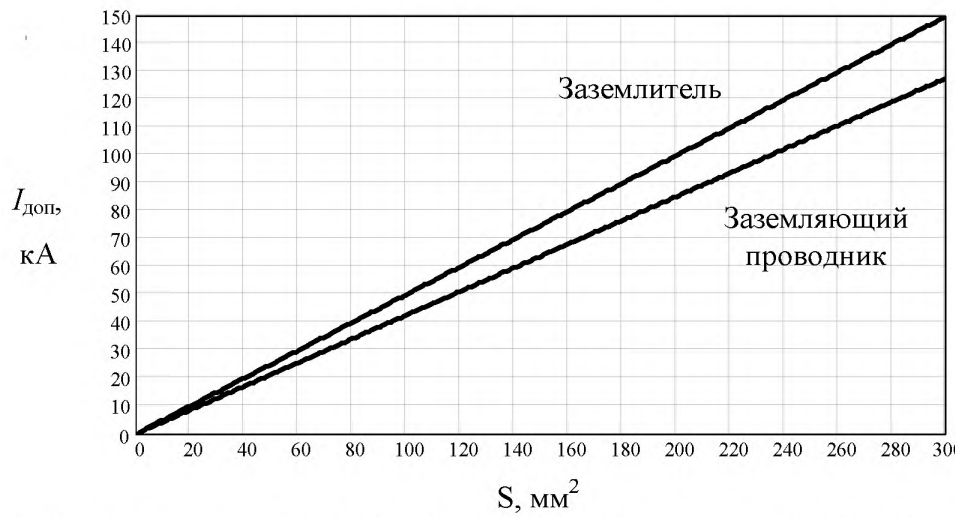


Рис. Ж.2 Допустимый ток КЗ для медных проводников горизонтального заземлителя и заземляющего проводника, подсоединенного к аппарату, при времени воздействия не более 0,1 с

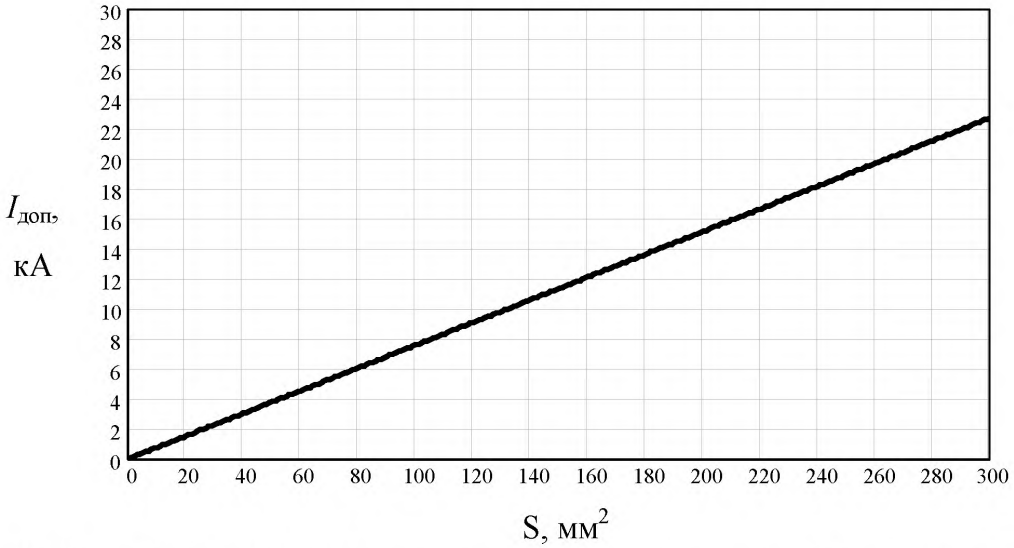


Рис. Ж.3 Допустимый ток КЗ для арматуры железобетона при времени воздействия не более 0,1 с

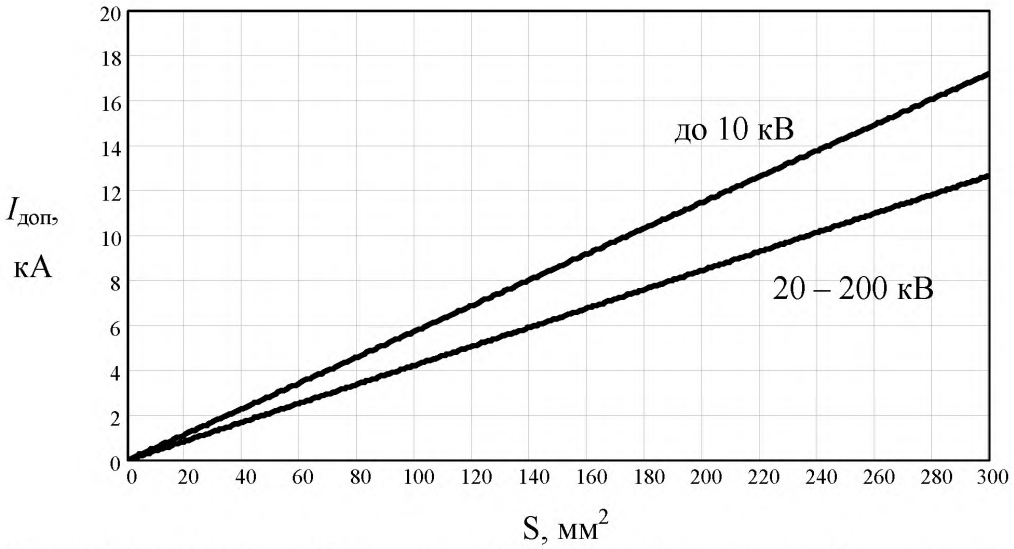


Рис. Ж.4 Допустимый ток КЗ для свинцовой оболочки кабелей с бумажной пропитанной изоляцией на напряжение до 10 кВ и (20 - 200) кВ при времени воздействия не более 0,1 с.

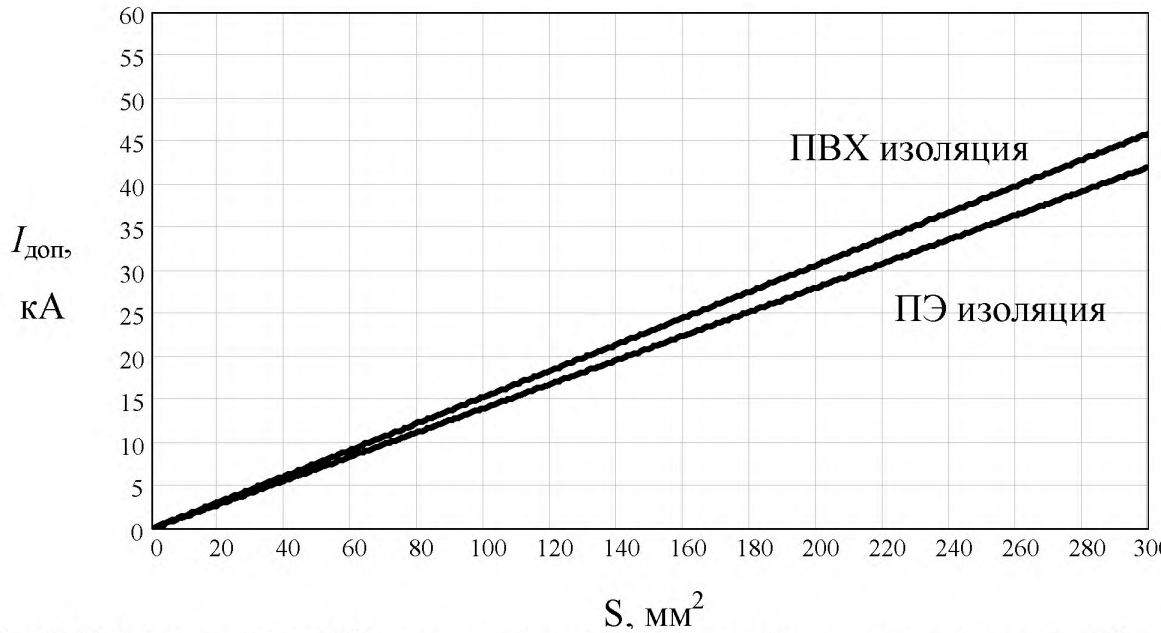


Рис. Ж.5 Допустимый ток КЗ для алюминиевой оболочки кабеля с поливинилхлоридной или резиновой изоляцией и полиэтиленовой изоляцией при времени воздействия не более 0,1 с

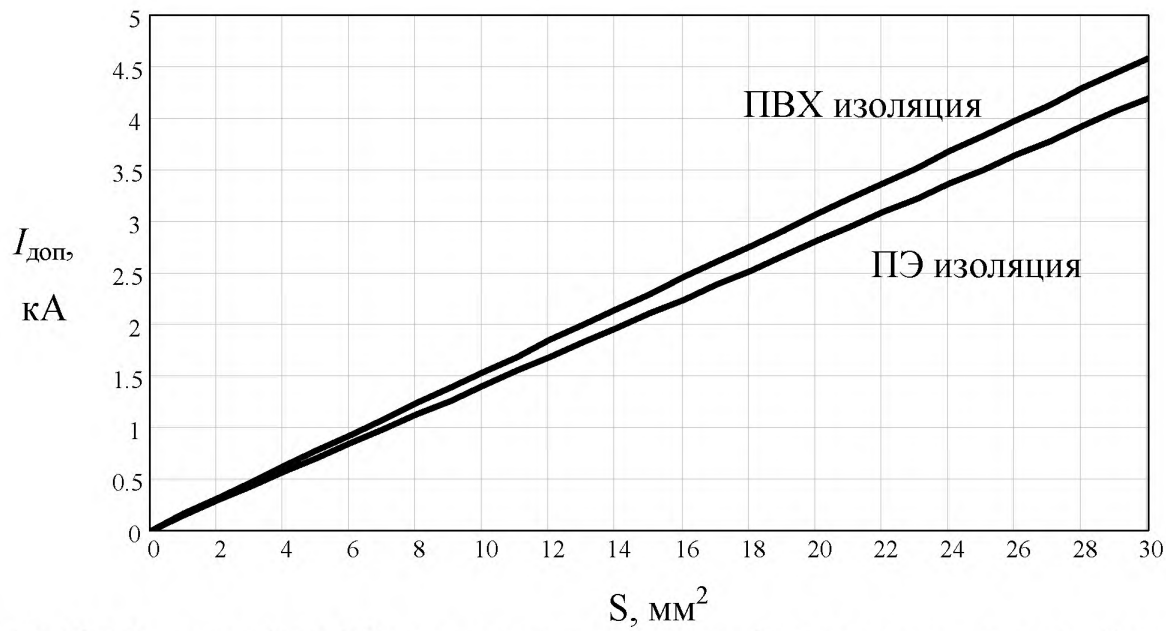


Рис. Ж.6 Допустимый ток КЗ для алюминиевого экрана кабеля с поливинилхлоридной или резиновой изоляцией и полиэтиленовой изоляцией при времени воздействия не более 0,1 с

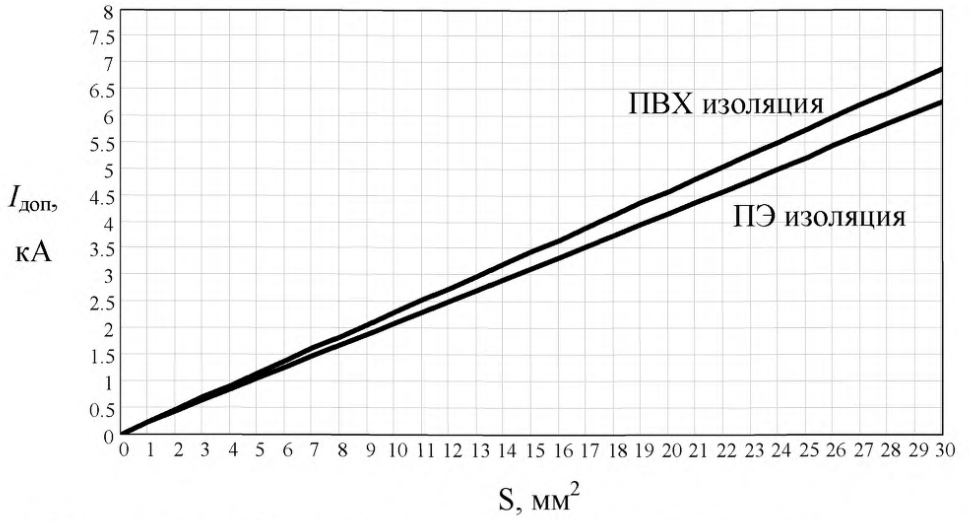


Рис. Ж.7 Допустимый ток КЗ для медного экрана кабеля с поливинилхлоридной или резиновой изоляцией и полиэтиленовой изоляцией при времени воздействия не более 0,1 с.

2 Погонные сопротивления проводников и экранов кабелей на промышленной частоте

При расчете напряжений на ЗУ и токов, протекающих по проводникам и экранам кабелей необходимо иметь данные о погонных активных и индуктивных сопротивлений заземляющих проводников и экранов кабелей.

Зависимости погонных сопротивлений для проводников из стали и меди от их эквивалентного диаметра приведены ниже.

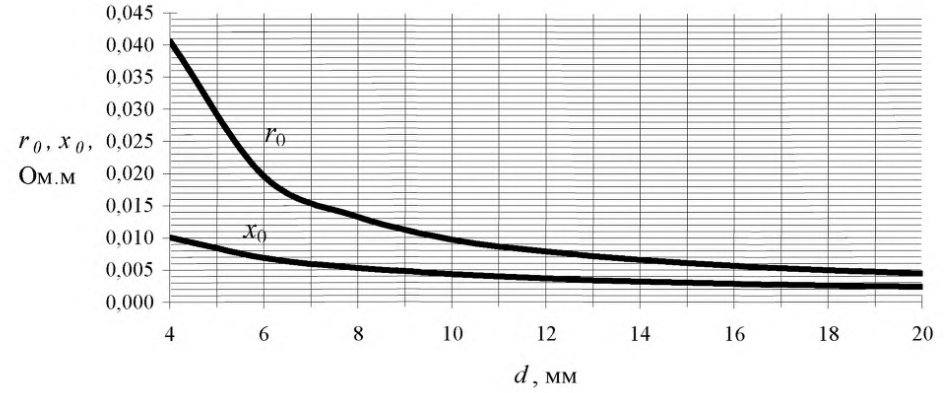


Рис. Ж.8 Зависимость погонных активного r_0 и индуктивного x_0 сопротивлений стального проводника от диаметра d

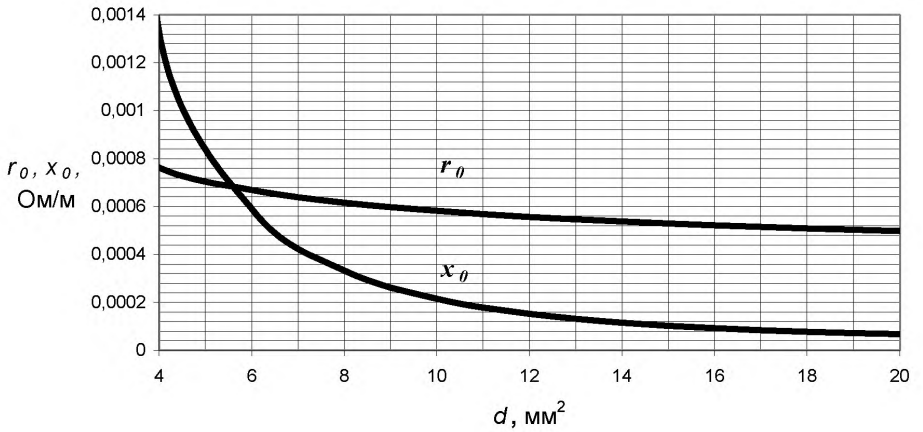


Рис. Ж.9 Зависимость погонных активного r_0 и индуктивного x_0 сопротивлений медного проводника от диаметра d

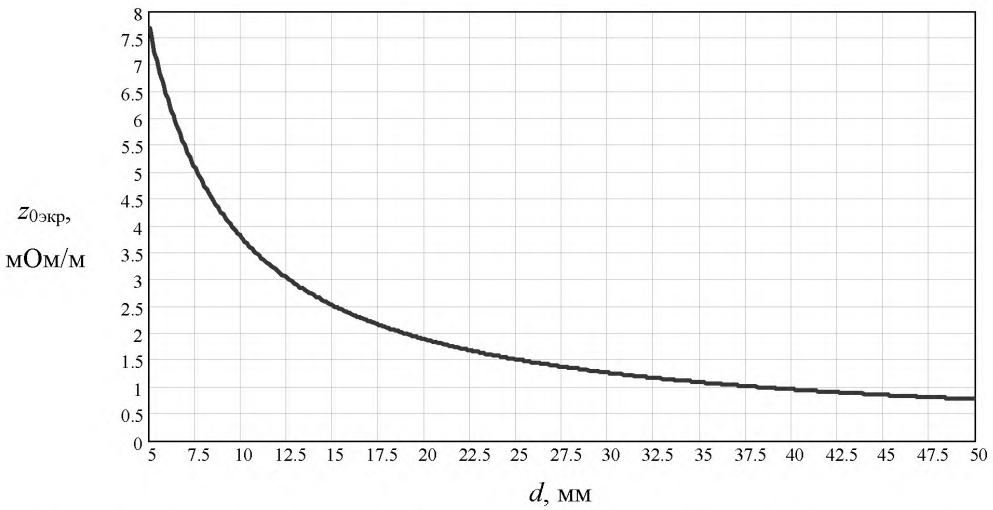


Рис. Ж.10 Зависимость погонного сопротивления медного экрана $z_{0экр}$ от его наружного диаметра d

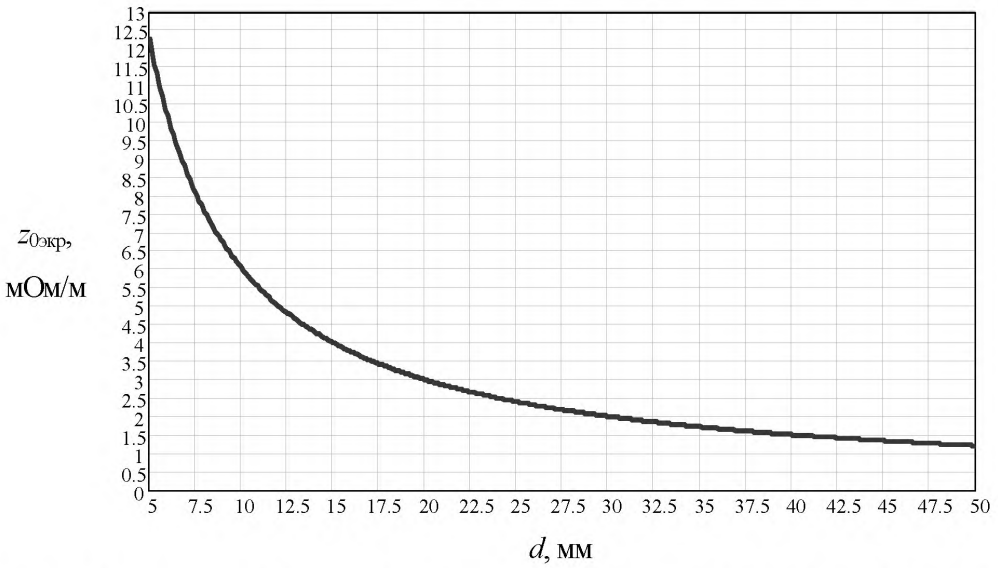


Рис. Ж.11 Зависимость погонного сопротивления алюминиевого экрана $z_{0экр}$ от его наружного диаметра d

Приложение 3

Коэффициенты экранирования

1 Методика расчета

Экранирующее свойство кабельных экранов, лотков, каналов и других элементов объясняется тем, что источник помехи индуцирует в экране ток, электромагнитное поле которого компенсирует электромагнитное поле помехи. Для получения высокого коэффициента экранирования следует обеспечить как можно более низкое сопротивление контура, по которому протекает экранирующий ток. На частотах до 10 МГц экранирующий ток протекает по экрану и через точки заземления экрана замыкается в грунте. Только на частотах более 10 МГц экранирующий ток может замыкаться через емкости между экраном и землей, а так же в самом экране (рис. 3.1).

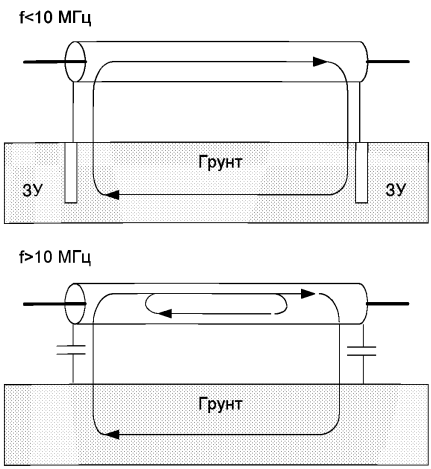


Рис. 3.1 Пути протекания экранирующих токов в зависимости от частоты помехи.

Частота помех, имеющих место на территории ОРУ и ЗРУ, как правило, ниже 10 МГц (см. табл. 3.1). Поэтому для обеспечения эффективного экранирования помех необходимо обеспечить минимальное сопротивление контура, по которому протекает экранирующий ток. Это обеспечивается надежным гальваническим присоединением экрана на обеих сторонах к ЗУ проводниками с минимальной индуктивностью. Все приведенные ниже данные по коэффициентам экранирования вычислены для экранирующих элементов заземленных

(присоединенных к ЗУ) с обеих сторон. Методика расчета коэффициентов экранирования для этого случая изложена в [1].

Таблица 3.1

Частота помех, создаваемых различными источниками

Источник помехи	Основная частота
Коммутации, пробои электрической изоляции, срабатывание разрядников в первичных цепях высокого напряжения ОРУ	50-1000 кГц
Коммутации, пробои электрической изоляции, срабатывание разрядников в первичных цепях высокого напряжения ЗРУ	1-5 МГц
Коммутации, пробои электрической изоляции, срабатывание разрядников в первичных цепях высокого напряжения КРУЭ	до 30 МГц
Подскоки потенциалов вследствие протекания токов КЗ через заземляющие устройства	50 Гц
Первый удар молнии	25 кГц
Последующие удары молнии	1 МГц

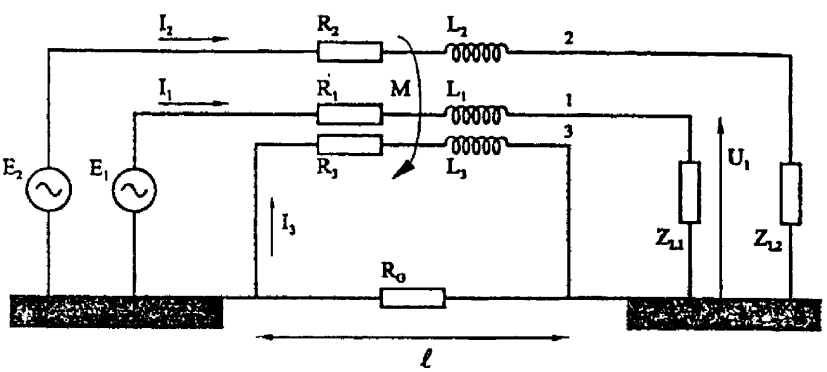


Рис. 3.2 Схема замещения для расчета коэффициента экранирования.
Индекс 1 соответствует экранируемому проводу, индекс 2 - контуру, генерирующему помеху, индекс 3 - экрану. R_G - сопротивление грунта.

Коэффициент экранирования K ≥ 1 для линии с заземленным с обеих сторон экраном определяется из общего выражения

$$K = \frac{R_G + R_3 + j\omega L_3}{Z_t l + j\omega L_g}$$

где l - протяженность системы;

$Z_t = (R_3 + j\omega L_t)/l$ - передаточное сопротивление;

R_3 – активное сопротивление экрана;

$L_t = M_{13} - L_3$-- передаточная индуктивность;

L_3-индуктивность экрана;

M_{13} -взаимная индуктивность между экраном и жилой;

R_G - сопротивление пути протекания тока в земле;

L_g - собственная индуктивность заземляющих выводов экрана (величиной около 1 мкГн/м).

Для расчета коэффициентов экранирования протяженных экранирующих элементов (кабельных экранов, стальных труб коробов и т.д.) необходимо вычислить значения перечисленных параметров с учетом скин-эффекта в металле и грунт В железобетонных кабельных каналах, лотках и зданиях основным экранирующим элементом являются стальные стержни арматуры. В кирпичном здании экранирующими элементами являются трубы водопровода, отопления, а также электропроводка. В [2] коэффициенты экранирования стен зданий предлагается вычислять, представляя их в виде металлических сеток. Коэффициент экранирования алюминиевой и медной сетки на всех частотах составляет

$$K = \frac{8{,}5}{w}.$$

Для стальной сетки: на частоте ~25 кГц

$$K = \frac{8{,}5}{w\sqrt{1 + 18 \cdot 10^{-6} / r^2}}$$

на частоте ~1 МГц:

$$K = \frac{8{,}5}{w};$$

для $\mu r \sim 200$,

где w - размер ячейки; r - радиус прутка.

Расчет коэффициента экранирования металлических шкафов проведен по соотношению из [3] для сферического экрана.

$$K = \cosh(kt) + \frac{1}{3}(F + \frac{2}{F})\sinh(kt),$$

где

$$k = \sqrt{j\omega\sigma\mu}; \qquad F = kr_0 / \mu_r,$$

σ, μ_r - электропроводность и относительная магнитная проницаемость материала; ω - угловая частота; r_0 - радиус сферического экрана; t - толщина стенки экрана.

2 Результаты расчета коэффициентов экранирования

На рис. 3.3- 3.10 и в таблице 3.2 приведены значения коэффициентов экранирования часто используемых экранирующих элементов.

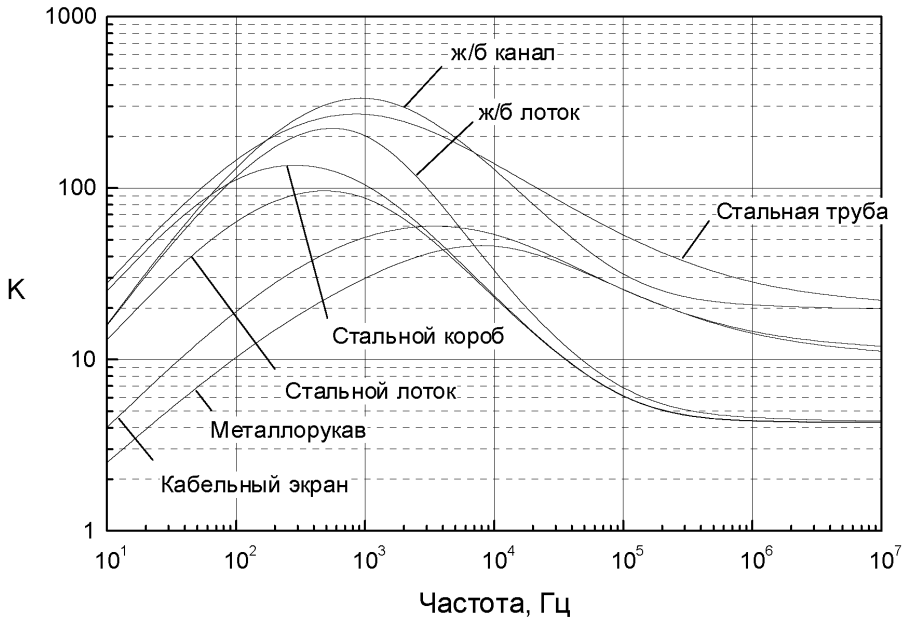


Рис. 3.3 Сравнительные коэффициенты экранирования различных экранирующих элементов

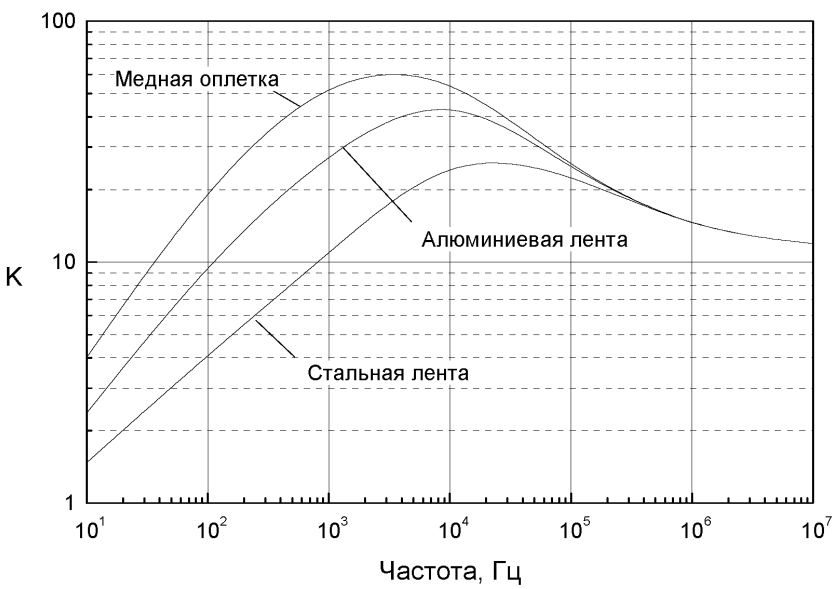


Рис.3.4 Коэффициенты экранирования кабельных экранов

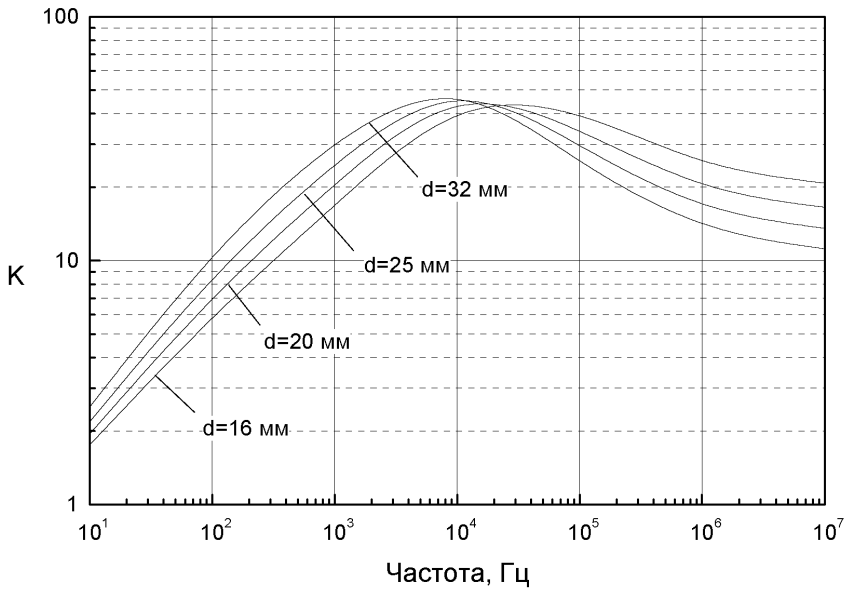


Рис. 3.5 Коэффициенты экранирования металлорукавов различного диаметра

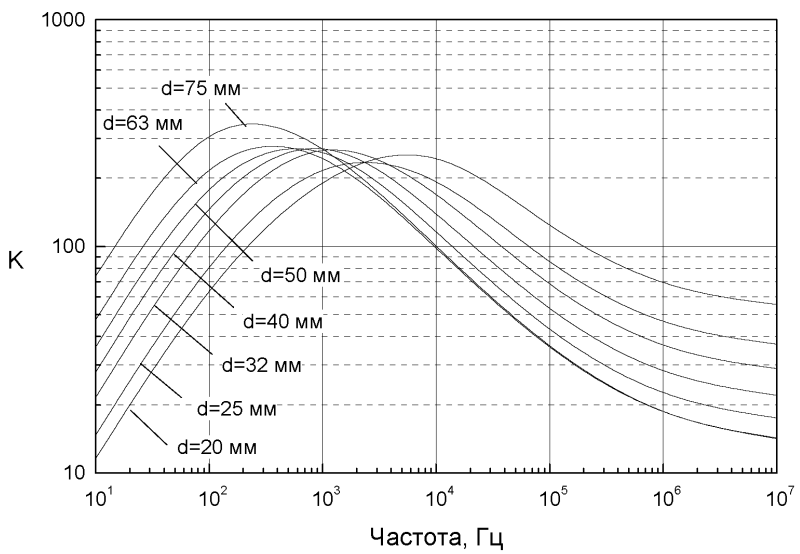


Рис.3.6 Коэффициенты экранирования стальных толстостенных труб различного диаметра

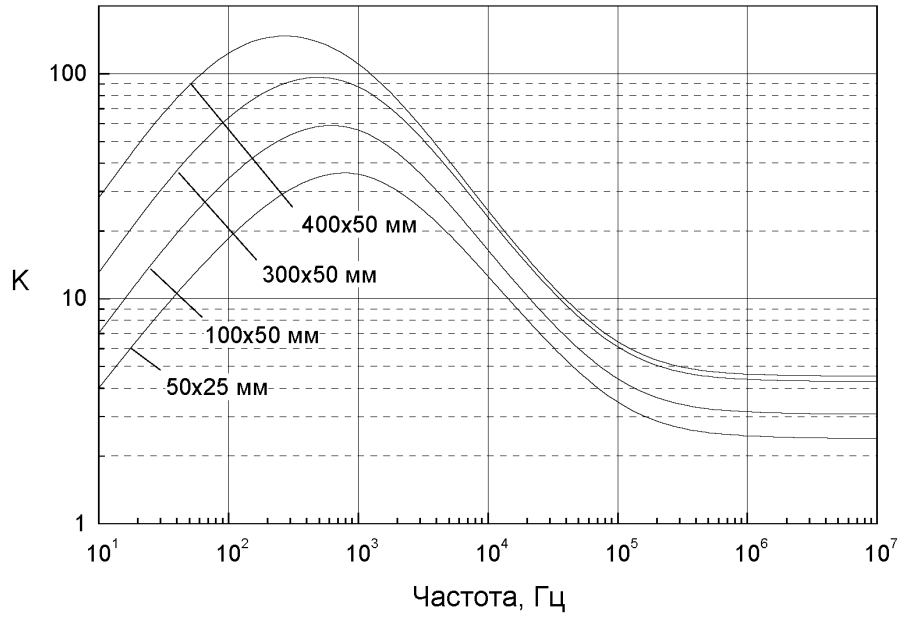


Рис.3.7 Коэффициенты экранирования стальных лотков различного сечения

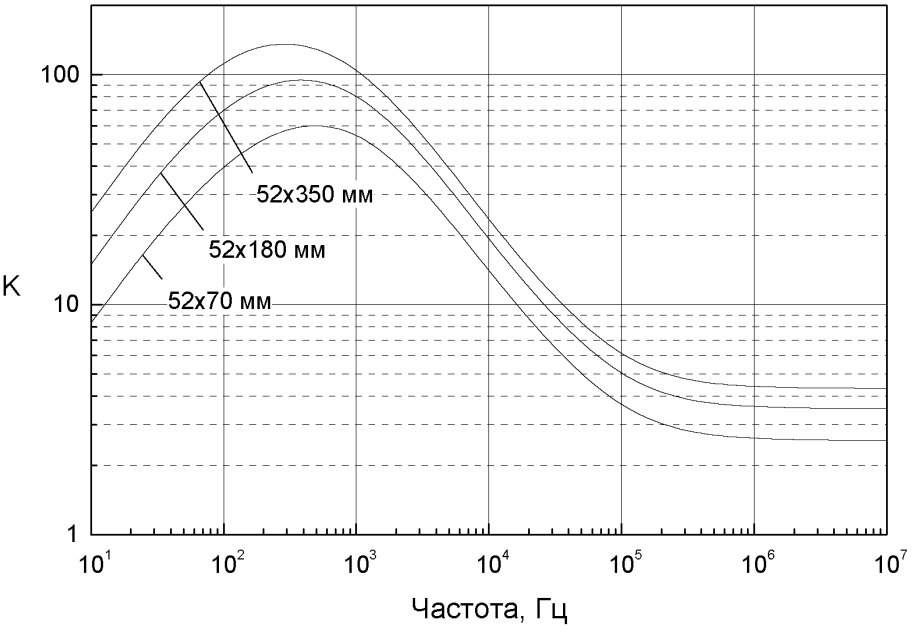


Рис. 3.8 Коэффициенты экранирования стальных коробов различного сечения

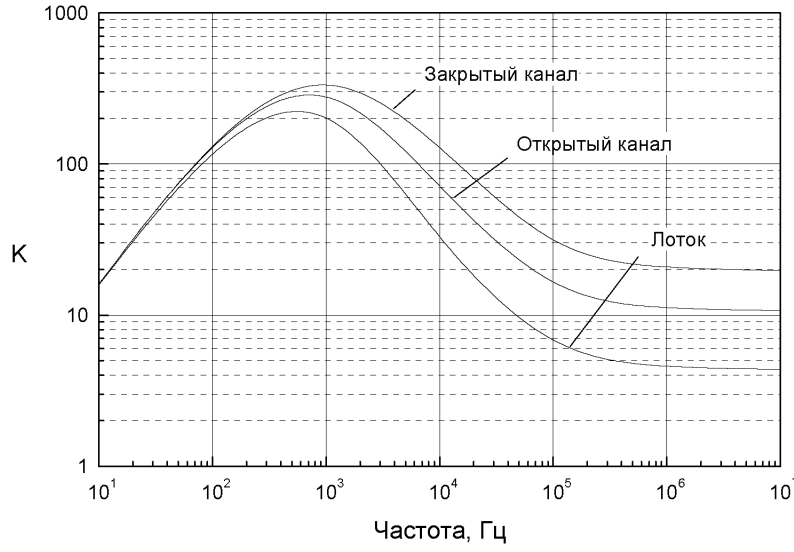


Рис.3.9 Коэффициенты экранирования железобетонных каналов и лотков (при обеспечении непрерывности электрического соединения)

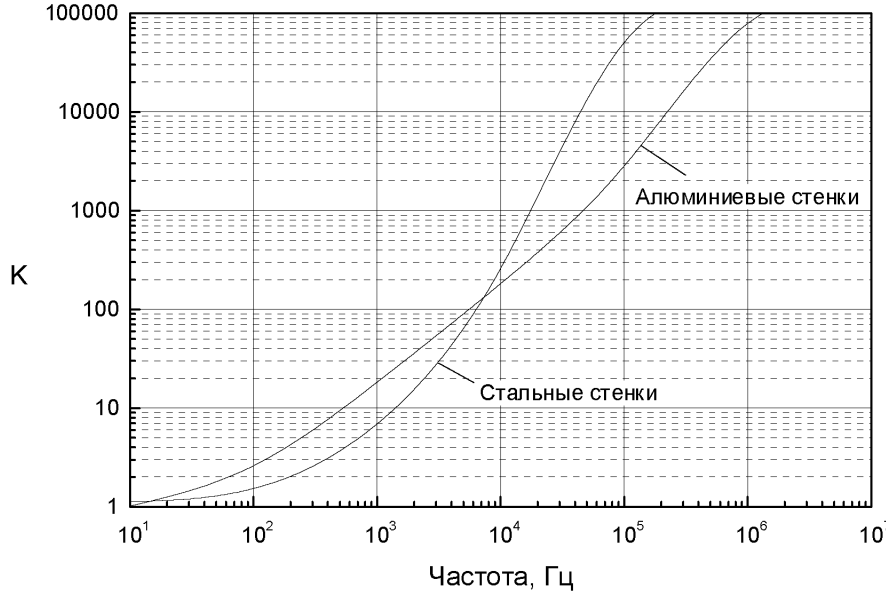


Рис.3.10 Коэффициенты экранирования металлических шкафов

Таблица 3.2

Коэффициенты экранирования стен зданий.

Вид здания	Кирпичное	С металлическим каркасом	Из сборного железобетона
Коэффициент экранирования на частоте 25 кГц	3	10	30
Коэффициент экранирования на частоте 1 МГц	3	8	20

Список литературы для Приложения 3

1. Руководство по обеспечению электромагнитной совместимости на электрических станциях и подстанциях. Подготовлено Рабочей группой СИГРЕ 36.04:«ЭМС на электрических станциях и подстанциях». 1977, 196 с.

2. Стандарт МЭК 62305-2003. Молниезащита.

3. Шваб А. Электромагнитная совместимость. М: Энергоатомиздат, 1995, 468 с.

Приложение И

Типовые решения по обеспечению ЭМС вторичного оборудования и систем связи на электросетевых объектах

И.1 Общие положения

В соответствии с требованиями стандарта ОАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.240.10.028-2009 «Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ» проект электросетевого объекта должен содержать раздел по ЭМС.

При проектировании объектов нового строительства, технического перевооружения и реконструкции ПС 110 кВ и выше должен быть выполнен комплекс мероприятий, обеспечивающих электромагнитную совместимость устройств РЗА, ПА, АСУ ТП и связи.

Основные мероприятия должны включать:

- компоновочные решения объекта;
- выполнение защиты вторичных цепей и устройств от электромагнитных воздействий молнии;
- выбор заземляющего устройства подстанции по условиям ЭМС;
- выбор трассы прокладки кабельных каналов, типа кабельной канализации с учетом требований ЭМС;
- выполнение защиты от статического электричества и других электромагнитных воздействий.

Мероприятия по обеспечению требований электромагнитной совместимости на объектах технического перевооружения и реконструкции должны разрабатываться с учетом результатов проведенных обследований электромагнитной обстановки, в т.ч. и на ПС противоположных концов ВЛ 110-750 кВ, где устанавливаются микропроцессорные устройства РЗА, ПА, связи.

В Приложении представлены примеры выполнения разделов проектов по ЭМС для типовых электросетевых объектов:

- полная реконструкция подстанции 330/110/10кВ с ОРУ;
- новое строительство подстанции 500/220/110/20кВ с КРУЭ;
- новое строительство подстанции 220/20кВ с КРУЭ и открытой частью;
- новое строительство подстанции 500/220/10кВ с поэтапным вводом в эксплуатацию ОРУ 220кВ и ОРУ 500кВ;
- установка микропроцессорных устройств РЗА на отдельных линиях действующей подстанции.

И.2 Полная реконструкция подстанции с ОРУ 330кВ и 110кВ

И.2.1 Проектные решения по обеспечению допустимых уровней воздействий напряжения и токов промышленной частоты на вторичное оборудование при коротких замыканиях на землю

ПС после реконструкции представляет собой открытую подстанцию, на которой расположены: ОРУ-330кВ, ОРУ-110кВ (с автотрансформаторами АТ-1 - АТ-4). Применена компоновка с распределенными РЩ: РЩ 330кВ в здании ОПУ, РЩ-1 и РЩ-2 110кВ - в отдельных зданиях.

Проект заземляющего устройства, расположение оборудования и трассы прокладки кабелей приведены на чертеже.

Для снижения уровней напряжений и токов промышленной частоты при коротких замыканиях на землю применяют систему выравнивания потенциала на ОРУ и система уравнивания потенциалов внутри здания.

В связи с тем, что токи замыкания на землю имеют высокие значения, при выполнении заземляющего устройства в качестве заземлителей и заземляющих проводников применяют медный пруток диаметром 16мм.

Заземляющее устройство ПС представляет собой замкнутый контур, соединяющий все здания и сооружения.

Вокруг всех зданий прокладывают горизонтальный заземлитель на расстоянии 1м от здания. От этого заземлителя выполняют вводы в здания.

В помещениях РЩ, ЩПТ, АСУ ТП и АСКУЭЭ шкафы присоединяют к закладным металлоконструкциями. Каждый ряд шкафов соединяют с шиной, проложенной по периметру помещения.

Результаты расчетов.

1) Сопротивление растеканию не превысит 0,14 Ом, а потенциал на ЗУ - 2,0кВ.

2) Напряжения, воздействующие на изоляцию контрольных кабелей, проложенных от ОПУ до оборудования 330кВ и от РЩ1(2) до оборудования 110кВ и токи по их экранам, заземленным с обеих сторон, не превысят 250В и 100А соответственно, что допустимо для кабелей типа КВВГэ.

Выводы.

Проект заземляющего устройства соответствует требованиям электробезопасности и электромагнитной совместимости.

И.2.2 Проектные решения по обеспечению допустимых уровней воздействий импульсных помех, возникающих при коммутациях силового оборудования и КЗ в первичных цепях

Прокладка кабелей цепей вторичной коммутации от ОРУ-330кВ до РЩ 330 и от ОРУ-110кВ до РЩ-110кВ выполнена в полузаглубленных ж/б монолитных кабельных каналах.

Разводка из кабельных каналов к шкафам выполнена в оцинкованных кабельных коробах. Кабели в кабельных каналах прокладывают по полкам с разделением силовых и контрольных кабелей асбестоцементными перегородками; при разводке кабелей в кабельных коробах, силовые и контрольные кабели прокладывают в разных коробах.

Трассы прокладки кабелей на ОРУ 330кВ удалены от шин высокого напряжения.

Контрольные кабели - экранированные типа КВВГэ. Заземление экранов - с двух сторон.

Результаты расчетов.

1) Наибольшие расчетные значения тока высокочастотной составляющей при коротком замыкании на землю составят:

ОРУ-330кВ - 3,2кА;

ОРУ-110кВ - 1кА.

При коммутациях наибольшие значения амплитуды импульсных токов будут примерно в 4 раза меньше.

2) Наибольшее значение импульсных помех во вторичных цепях не превысят 1кВ.

Выводы.

Уровень импульсных помех не превышает допустимые для МП устройств РЗА значений.

И.2.3 Проектные решения по обеспечению допустимых уровней воздействий импульсных помех от токов молнии

Молниезащиту ОРУ-330кВ и ОРУ-110кВ осуществляют при помощи молниеотводов на порталах и отдельно стоящих молниеотводов.

Результаты расчетов.

1) При ударе молнии в молниеотводы на ОРУ вероятность обратного перекрытия с ЗУ на кабели цепей вторичной коммутации пренебрежимо мала.

2) Импульсные помехи не превышают 4кВ.

Выводы.

Молниезащита подстанции соответствует требованиям ЭМС вторичного оборудования.

И.2.4 Проектные решения по обеспечению допустимых уровней воздействий магнитных полей промышленной частоты

Реакторные камеры установлены в отдельных зданиях на ОРУ 330кВ.

Результаты расчетов.

1) Напряженность магнитных полей промышленной частоты в помещениях ОПУ не превышает 8А/м.

2) В помещениях РЩ-1 и РЩ-2 не превысит 25А/м, что соответствует 4 степени жесткости.

Выводы.

Уровень напряженности магнитных полей промышленной частоты в местах размещения устройств РЗА не превышает допустимых значений для оборудования, испытанного по 4-й степени жесткости испытаний на устойчивость к магнитным полям промышленной частоты.

И.2.5 Проектные решения по защите от электромагнитных полей радиочастотного диапазона

По результатам предпроектных изысканий установлено, что вблизи подстанции отсутствуют мощные источники электромагнитных полей радиочастотного диапазона. Фоновый уровень не превышает 0,1 В/м.

Допустимые уровни напряженности электромагнитного поля радиочастотного диапазона обеспечивают естественные экраны: металлоконструкции зданий подстанции и металлических шкафов.

Для защиты от воздействия электромагнитного поля переносных радиопередающих устройств необходимо административно ограничить их применение вблизи микропроцессорной аппаратуры (не ближе 2-3м).

И.2.6 Проектные решения по обеспечению допустимых уровней воздействий импульсных магнитных полей

Молниеотводы установлены на допустимом расстоянии от РЩ.

Результаты расчетов.

Наибольшее значение напряженности импульсных магнитных полей от расположенных вблизи РЩ молниеотводов не превышает 80А/м. Импульсные магнитные поля от первичных цепей существенно ниже, чем от молнии.

Выводы.

На подстанции могут быть установлены устройства, соответствующие 4 степени жесткости испытаний по ГОСТ Р 50649.

И.2.7 Проектные решения по защите от разрядов статического электричества

Для обеспечения допустимых уровней электростатического потенциала тела человека в помещениях РЩ, серверной и связи применяютфальшполы с антистатическим покрытием фирмы DOBO.

Результаты измерений и расчетов.

Наибольшее значение электростатического потенциала тела человека во всех помещениях с микропроцессорной аппаратурой ПС не превысит 1,0кВ.

Выводы.

Микропроцессорная аппаратура РЗ, ПА, АСУ, АСКУЭЭ, связи, устанавливаемая в этих помещениях, должна быть испытана по ГОСТ Р 51317.4.2 не менее, чем по 2 степени жесткости.

И.2.8 Проектные решения по защите от наносекундных импульсных помех

Для защиты от наносекундных импульсных помех применяются решения:

- электромеханические устройства не устанавливаются вблизи микропроцессорной аппаратуры;
- питание электромеханических устройств и микропроцессорных устройств выполняют с разных фидеров.

И.2.9 Проектные решения по обеспечению качества электропитания постоянным током вторичного оборудования

Для обеспечения качественного электропитания постоянным током применяют подзарядные устройства, обеспечивающие уровень пульсаций менее 2,5%.

Питание МП устройств, чувствительных к электромагнитным помехам, осуществляют от отдельных фидеров.

Кабели сети постоянного тока, проходящие в распределительном устройстве, прокладывают в кабельных каналах и металлических коробах.

И.2.10 Проектные решения по обеспечению качества электропитания переменным током вторичного оборудования.

Для обеспечения качественного электропитания переменным током применяется система электропитания TN-S.

Для питания устройств АСУ ТП применяют системы бесперебойного электропитания на базе ИБП.

И.2.11 Проектные решения по защите от кондуктивных помех

Для защиты от кондуктивных помех, наведённых внешними электромагнитными полями, применяют экранированные кабели.

Для защиты от взаимного влияния цепей различного назначения применяют следующие технические решения:

- силовые кабели и контрольные кабели вторичного оборудования прокладывают на расстоянии не менее 0,25м.

И.2.12 Авторский надзор за выполнением проекта и приемо-сдаточные испытания.

Предусмотрено проведение измерений для контроля ЭМО в процессе строительства подстанции.

После завершения монтажных работ проводят приемо-сдаточные испытания в соответствии с «Методическими указаниями по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях». СО 34.35.311.2004.

Результаты расчетных значений уровней электромагнитных воздействий и степени жесткости испытаний МП устройств на помехоустойчивость приведены в таблице И.1.

Таблица И.1

Расчетные значения уровней электромагнитных воздействий и степени жесткости испытаний МП устройств

№ п/п	Электромагнитное воздействие	Вид испытаний на помехоустойчивость	Расчетное значение/ степень жесткости испытаний	Условия ЭМС
1.	Напряжения промышленной частоты при КЗ на землю.	Испытания электрической прочности изоляции (напряжение в установившемся режиме). ГОСТ 30328-95 (МЭК 255-5).	250В/2000В	выполнены
2.	Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне.	На устойчивость к колебательным затухающим помехам: - одиночных, - повторяющихся. ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12-96).	1кВ/ 3 ст. жест. (2,5кВ синфазное , 1кВ противофазное)	выполнены
3.	Импульсные помехи от токов молнии.	На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95).	4кВ/ 4 ст. жест. (4кВ)	выполнены
4.	Магнитные поля	На устойчивость к магнитному полю промышленной частоты.	4 ст. жест. (30А/м	выполнены

№ п/п	Электромагнитное воздействие	Вид испытаний на помехоустойчивость	Расчетное значение/ степень жесткости испытаний	Условия ЭМС
	промышленной частоты.	ГОСТ Р 50648-94 (МЭК 61000-4-8-93).	длительно, 300А/м кратковременно)	
5.	Электромагнитные поля радиочастотного диапазона.	На устойчивость к излучаемым радиочастотным электромагнитным полям. ГОСТ Р 51317.4.3-99 ((МЭК 61000-4-3-95).	0,1В/м/ 3 ст. жест. (10В/м)	выполнены
6.	Импульсные магнитные поля.	На устойчивость к импульсному магнитному полю. ГОСТ Р 50649-94 (МЭК 61000-4-10-93).	80А/м соответствует 3 ст. жест. / не указано	Сделать запрос производителю
7.	Разряды статического электричества.	На устойчивость к разрядам статического электричества. ГОСТ Р 51317.4.2-99 (МЭК 61000-4-2-95, МЭК 60255-22-2-96).	1кВ/ 3 ст. жест. (6кВ контактный, 8кВ воздушный)	выполнены
8.	Наносекундные импульсные помехи от электромеханических устройств.	На устойчивость к наносекундным импульсным помехам. ГОСТ Р51317.4.4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4-92).	4 ст. жест. (4кВ, 2кВ)	выполнены
9.	Качество электропитания постоянным током.	На устойчивость к пульсациям напряжения постоянного тока. ГОСТ Р 51317.4.17-2000 (МЭК 61000-4-17-99).	2,5%/ 4 ст. жест. (15%)	выполнены
10.	Качество электропитания переменным током.	На устойчивость к гармоникам и интергармоникам, к сигналам систем телеуправления и сигнализации в напряжении сети переменного тока. ГОСТ 51317.4.1-2000 (МЭК 61000-4-13).	Обеспечивается источниками бесперебойного питания	выполнены
		На устойчивость к колебаниям напряжения. ГОСТ Р 51317.4.14-2000 (МЭК 61000-4-14-2000).	Обеспечивается источниками бесперебойного питания	выполнены
		На устойчивость к динамическим изменениям напряжения электропитания. ГОСТ Р 51317.4.11-99 (МЭК	Обеспечивается источниками бесперебойного питания	выполнены

№ п/п	Электромагнитное воздействие	Вид испытаний на помехоустойчивость	Расчетное значение/ степень жесткости испытаний	Условия ЭМС
		61000-4-11-94).		
		На устойчивость к несимметрии напряжений электропитания. МЭК 6 1000 -4-27-2000.	Обеспечивается источниками бесперебойного питания	выполнены
		На устойчивость к изменениям частоты питания в сети переменного тока. ГОСТ Р 51317.4.28 - 2000 (МЭК 6 1000 -4-28-2000).	Обеспечивается источниками бесперебойного питания	выполнены
11.	Кондуктивные помехи.	На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц, воздействующим на порты электропитания и ввода-вывода сигналов. ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 6 1000-4-6-96).	3 ст. жест. (10В)	выполнены
		На устойчивость к кондуктивным помехам в полосе частот от 0 до 150 кГц. ГОСТ Р 51317.4.16 - 2000 (МЭК 61000-4-16-96).	2В (длительно) 30В (1с)/3 ст. жест.	

И.3 Новое строительство подстанции 500/220/110/20кВ с КРУЭ

И.3.1 Проектные решения по обеспечению допустимых уровней воздействий напряжения и токов промышленной частоты на вторичное оборудование при коротких замыканиях на землю.

И.3.1.1 Для снижения уровней напряжений и токов промышленной частоты при коротких замыканиях на землю применяют систему выравнивания потенциала вне зданий и систему уравнивания потенциалов внутри здания.

В связи с тем, что токи замыкания на землю имеют высокие значения, при выполнении заземляющего устройства в качестве заземлителей и заземляющих проводников применяют медную полосу сечением 60х5 мм^2 .

И.3.1.2 Заземляющее устройство ПС представляет собой замкнутый контур, соединяющий все здания и сооружения.

Вокруг каждого здания КРУЭ-220кВ, КРУЭ-500кВ, КРУ-20кВ и переходных пунктов прокладывают горизонтальный заземлитель на расстоянии 1м от здания. От этого заземлителя выполняются вводы в здание на расстоянии не более 10м один от другого и присоединяются к внутреннему заземляющему устройству. Для выравнивания потенциалов на территории подстанции между зданиями применяют сетку заземлителей с размерами ячеек не менее 10х10 м.

На части территории подстанции, где расположены порталы 500кВ и кабельные вводы 220кВ, также прокладывают сетку из шин заземления с шагом не более 10х10м, связанную с общим заземлителем.

Вокруг здания проходной, маслосборников, насосной станции противопожарного водопровода, резервуара противопожарного запаса воды прокладывают заземлители на расстоянии 1м от объекта, связанные с общим ЗУ, как показано на схеме заземляющего устройства.

И.3.1.3 По периметру помещения с оборудованием КРУЭ прокладывают заземляющую медную шину сечением 60х5 мм^2. Шину соединяют с закладными металлоконструкциями, оборудованием КРУЭ и высокочастотной (ВЧ) сеткой. В качестве ВЧ сетки применяются арматуру железобетонной конструкции пола. Сетку присоединяют к закладным металлоконструкциям здания и к внешнему заземлителю равномерно по периметру не менее, чем в 10 точках. От ВЧ сетки для заземления оборудования КРУЭ оборудуют выводы медной шиной сечением 60х5 мм2 . Число выводов должно быть не менее 2-х для каждого присоединения КРУЭ. Все оборудование КРУЭ соединяют между собой медной шиной 60х5 мм^2 .

Дополнительно, в помещении КРУЭ на уровне пола прокладывают сетку из медной шины 5х60мм с шагом ячейки 1х1м, связанную с шиной системы уравнивания потенциалов, проложенной по периметру помещения.

И.3.1.4 В помещениях КРУ-20кВ (10кВ) корпуса ячеек КРУ присоединяются к закладным металлоконструкциям и между собой медной шиной 60х5 мм^2 .

Связи между рядами ячеек КРУ и внутренней шиной выполняют с шагом не более 10м.

И.3.1.5 Для заземления трансформаторов и автотрансформаторов в трансформаторных камерах по периметру прокладывают заземляющую медную шину 60х5 мм^2 , соединенную с закладными металлоконструкциями здания в 4х точках в каждой камере и заземляющими шинами соседних помещений здания. К заземляющей шине присоединяют корпус трансформатора заземляющими проводниками, не менее двух с каждой стороны. Вблизи мест заземляемых нейтралей силовых трансформаторов прокладывают продольные и поперечные заземляющие проводники (в четырех направлениях), соединенные с заземляющей шиной, проложенной по периметру трансформаторной камеры.

И.3.1.6 В помещениях РЩ, ЩПТ, АСУ и АСКУЭЭ шкафы вторичного оборудования присоединяют к закладным металлоконструкциями. Каждый ряд шкафов соединяют с шиной, проложенной по периметру помещения.

Результаты расчетов.

1) Наибольшее напряжение промышленной частоты на вторичном кабеле или оборудовании при всех режимах не превышает 0,6кВ.

2) Наибольшее значение тока промышленной частоты в экранах вторичных кабелей, проложенных от РУ 110кВ и выше до РЩ, не превышает 200А.

Наибольшее значение тока в экранах вторичных кабелей, проложенных от РУ 20кВ до РЩ, не превышает 60А.

Наибольшее значение тока в экранах любых вторичных кабелей, при ближнем внешнем КЗ для всех напряжений не превышает 30 А.

3) Наибольшие расчетные значения напряжения на ЗУ при эквивалентных значениях удельного сопротивления грунта ρ, приведенных к двухслойной модели с учетом промерзания грунта в зимний период, ρ_1= 200 Ом*м, ρ_2 =60 Ом*м, h=2м составят:

при КЗ на КРУЭ 500 кВ - 3,3 кВ,

при КЗ на КРУЭ 220 кВ - 4,5 кВ,

при КЗ на КРУЭ 110 кВ - 1,1 кВ.

При двойном замыкании на землю на РУ 20 кВ напряжение на ЗУ составляет 0,8 кВ.

Выводы.

1) При КЗ на землю на РУ 110кВ и выше и двойном замыкании на землю на РУ 20кВ напряжение промышленной частоты, воздействующее на изоляцию контрольных кабелей, и токи, протекающие по экранам контрольных кабелей, не превышает значений 0,6кВ и 200А соответственно.

2) Расчетное значение напряжения на ЗУ не превышает 5 кВ

И.3.2 Проектные решения по обеспечению допустимых уровней воздействий импульсных помех, возникающих при коммутациях силового оборудования и КЗ в первичных цепях.

Для снижения уровней импульсных помех до допустимых значений приняты следующие проектные решения.

И.3.2.1 В помещениях КРУЭ-500кВ, КРУЭ-220кВ, КРУЭ-110кВ выполнить ВЧ сетку для снижения импульсного потенциала на оборудовании при КЗ и коммутациях. В качестве сетки применяют арматуру железобетонного пола.

И.3.2.2 В КРУЭ, от КРУЭ до РЩ и от ЩПТ до КРУЭ прокладывают экранированные кабели с заземлением экранов с двух сторон (для заземления экранов применяют разъемы или зажимы специального исполнения).

И.3.2.3 Выбрана прокладка всех вторичных кабелей в кабельной канализации с большим эффектом экранирования - металлических коробах. Кабельные короба заземляют на обоих концах и в местах пересечения с другими металлическими конструкциями.

И.3.2.4 Силовые кабели и контрольные кабели прокладывают либо в разных кабельных коробах, либо на расстоянии не менее 0,25м.

Результаты расчетов.

1) Наибольшие расчетные значения тока высокочастотной составляющей при коротком замыкании на землю составят:

КРУЭ-110кВ - 5кА;

КРУЭ-220кВ - 10кА;

КРУЭ-500кВ - 23кА.

Частотный спектр составляющих импульсных токов - от 20МГц до 1 МГц.

При коммутациях наибольшие значения амплитуды импульсных токов будут примерно в 4 раза меньше.

2) Наибольшие расчетные значения высокочастотных потенциалов на ЗУ при коротком замыкании на землю на шинах составят:

КРУЭ-110кВ - 4,5кВ;

КРУЭ-220кВ - 9кВ;

КРУЭ-500кВ - 20кВ.

3) Наибольшие расчетные значения высокочастотных потенциалов на ЗУ агрегатных шкафов в КРУЭ составят:

КРУЭ-110кВ - 2,5кВ;

КРУЭ-220кВ - 4кВ;

КРУЭ-500кВ - 9кВ.

4) С учетом коэффициента затухания (не менее 6) уровень импульсных помех при коротких замыканиях и коммутациях из-за подъема потенциала на ЗУ не превысят 1,5кВ при условии, что цепи напряжения и тока заземляют в агрегатных шкафах или на РЩ.

5) Наибольшее значение импульсных излучаемых помех в экранированных цепях не превысит 1кВ.

Выводы.

При выполнении указанных выше мероприятий уровень синфазных импульсных помех при коммутациях и коротких замыканиях не превысят 1,5 кВ, а противофазных - 1кВ.

И.3.3 Проектные решения по обеспечению допустимых уровней воздействий импульсных помех от токов молнии.

И.3.3.1 Для выполнения молниезащиты зданий ПС принята концепция использования металлических конструкций зданий в качестве молниеприемной сетки, токоотводов (заземляющих проводников) и заземлителей системы молниезащиты.

И.3.3.2 Обеспечить электрическую непрерывность стального каркаса, железобетонных колонн и фундамента здания, для чего не менее 50% соединений арматурных стержней фундамента между собой требуется выполнить сваркой или вязкой проволокой.

Гидроизоляцию фундамента здания выполнить битумными или битумно-латексными покрытиями. Применение полимерных покрытий при использовании фундамента здания в качестве молниезащитного заземлителя не допускается.

И.3.3.3 Все стальные колонны здания соединяют с арматурой его железобетонного фундамента и с расположенными под крышей поперечными фермами при помощи сварки или болтового соединения.

От колонн выполняют выводы на отметках этажей для соединения с внутренней системой уравнивания потенциалов, а на отметке 0м - для соединения с внешним заземляющим устройством.

И.3.3.4 Должна быть обеспечена электрическая непрерывность металлической кровли и ее связь с металлическими стропилами.

В местах установки антенн и другого оборудования на крыше здания предусматривают выводы от стропил для заземления оборудования. Все кабели, выходящие на крышу, прокладывают в стальных трубах.

И.3.3.5 Для снижения разности потенциалов между зданиями заземлители выполняют с шагом не более 5м.

И.3.3.6 Для защиты контрольных кабелей от вторичных проявлений тока молнии применяют экранированные кабели с заземлением экранов с двух сторон.

Прокладку кабелей в пределах здания осуществляют в оцинкованных кабельных коробах, прокладку кабелей между зданиями осуществляют в подземных кабельных каналах или тоннелях.

Результаты расчетов.

Разность потенциалов внутри здания при ударе молнии не превышает 2кв.

Разность потенциалов между зданиями не превышает 4 кВ.

Импульсные помехи, вызванные подъемом потенциала на заземляющем устройстве, не превышают 4кВ.

Излучаемые импульсные помехи не превышают 1кв.

Выводы.

При ударе молнии в здания импульсные помехи, вызванные подъемом потенциала на заземляющем устройстве, и излучаемые импульсные помехи не превышают 4кВ.

И.3.4 Проектные решения по обеспечению допустимых уровней воздействий магнитных полей промышленной частоты.

Для снижения напряженности магнитного поля при имеющихся планировках зданий было применены следующие технические решения.

И.3.4.1 Максимально удалены источники поля (реакторы) от помещений с аппаратурой АСТУ:

- Между помещениями КРУ-10(20кВ) и реакторными камерами в здании КРУ-20кВ выполнен этаж высотой 3м.
- Реакторные камеры в здании КРУЭ-220кВ отделены от помещений с устройствами АСТУ и КРУ-20кВ собственных нужд коридором.
- Ячейки КРУЭ-500кВ отдалены от стены помещения РЩ и ГЩУ.

И.3.4.2 Применена компоновка КРУ, при которой токи по шинам уменьшены примерно в два раза.

В КРУ-10кВ и КРУ-20кВ вводная и секционная ячейки размещаются в соседних ячейках КРУ в середине каждой секции. При этом полный ток, протекающий по шинам КРУ, будет уменьшен примерно в два раза.

Результаты расчетов.

1) В здание КРУЭ-220кВ напряженность магнитного поля от реакторов на всей территории помещений 112-114, 121 и 204 (в точках, где устанавливаются шкафы) не превышает значений, соответствующих 4 степени жесткости по ГОСТ Р 50648.

В помещении 115 (мастерская КРУЭ) напряженность поля в длительном режиме не превышает 25 А/м, что допустимо для 8-часовой рабочей смены работы персонала.

Напряженность магнитного поля от ошиновки КРУ в точке установки терминалов в ячейках в аварийном режиме не превысит 720А/м, что соответствует 5 степени жесткости по ГОСТ Р 50648.

При расположении вводной и секционной ячеек в середине каждой секции КРУ, напряженность магнитного поля в нормальном режиме не превысит 60А/м, что соответствует 5 степени жесткости испытаний по ГОСТ Р 50648.

2) В здании КРУ-20кВ напряженность магнитного поля от реакторов при установке реакторов на отметке 7,5м на подставке 0,9м в помещениях КРУ-10кВ на уровне 1,8м от пола не превысит 45А/м в нормальном режиме и 180А/м в аварийном режиме, что соответствует 5 степени жесткости испытаний по ГОСТ Р 50648 и соответствует требованиям правил охраны труда для персонала, работающего по 8-часовой рабочей смене.

Напряженность поля от ошиновки КРУ в точке установки терминалов в ячейках КРУ-20кВ в аварийном режиме не превысит 720А/м, что соответствует 5 степени жесткости испытаний по ГОСТ Р 50648.

При расположении вводной и секционной ячейки в середине каждой секции КРУ, напряженность магнитного поля в нормальном режиме не превысит 60А/м, что соответствует 5 степени жесткости по ГОСТ Р 50648.

3) В здание КРУЭ-500кВ напряженность магнитного поля в помещении РЩ и ГЩУ от шин КРУЭ-500кВ в нормальном режиме до 70 А/м, в аварийном режиме - до 1000А/м, что соответствует требованиям 5 степени жесткости испытаний по ГОСТ Р 50648.

Напряженность магнитного поля в помещении ЩПТ от шин КРУЭ-500кВ в нормальном режиме до 30 А/м, в аварийном режиме - до 500А/м, что соответствует требованиям 5 степени жесткости испытаний по ГОСТ Р 50648.

Выводы.

1) ЭМО в части магнитных полей промышленной частоты в ячейках КРУ-10кВ и КРУ-20кВ, помещениях АСКУЭ и АСУ ТП здания КРУЭ-220кВ, помещении РЩ и ГЩУ, помещении ЩПТ здания КРУЭ-500кВ характеризуется, как крайне жесткая.

Микропроцессорная аппаратура РЗА, АСУ ТП, АСКУЭЭ, связи, устанавливаемая в этих помещениях, должна быть испытана:

- не менее, чем по 5 степени жесткости испытаний по ГОСТ Р 50648 для ячеек КРУ-10кВ и ячеек КРУ-20кВ, помещения ГЩУ и РЩ, помещении ЩПТ здания КРУЭ-500кВ;
- не менее, чем по 4 степени жесткости испытаний по ГОСТ Р 50648 для помещений АСКУЭЭ и АСУ ТП здания КРУЭ-220кВ.

2) Во всех помещениях напряженность поля не превысит 80А/м, что допустимо требованиями правил техники безопасности для 8-часовой рабочей смены персонала.

3) В помещении РЩ и ГЩУ здания КРУЭ-500кВ напряженность магнитного поля не превысит 10А/м, что соответствует нормам СанПиН для жилых помещений.

И.3.5 Проектные решения по защите от электромагнитных полей радиочастотного диапазона.

Для обеспечения допустимых уровней напряженности электромагнитного поля радиочастотного диапазона от внешних источников используют металлоконструкции зданий подстанции и размещение микропроцессорных устройств в металлических шкафах.

Для защиты от внутренних источников поля применяют размещение микропроцессорных устройств в закрытых металлических шкафах.

В связи с тем, что применяют шкафы со стеклянными дверцами, необходимо административно ограничивать использование переносных радиопередающих устройств вблизи микропроцессорной аппаратуры (не ближе 2-3м).

Результаты измерений и расчетов.

Наибольшее значение напряженности поля, создаваемого внешними и внутренними источниками в местах установки микропроцессорной аппаратуры не превышает 0,1В/м.

Выводы.

1) Электромагнитная обстановка в части воздействия электромагнитного поля радиочастотного диапазона в помещениях ПС характеризуется как легкая.

2) При работе эксплуатационного персонала необходимо административно ограничивать использование переносных радиопередающих устройств вблизи микропроцессорных устройств.

И.3.6 Проектные решения по обеспечению допустимых уровней воздействий импульсных магнитных полей.

И.3.6.1 Использование металлических конструкций зданий в качестве молниеприемной сетки, токоотводов (заземляющих проводников) и заземлителей системы молниезащиты обеспечивает равномерное распределение тока молнии по периметру зданий.

Импульсное магнитное поле имеет значения наибольшие напряженности вблизи колонн и стен зданий. В месте размещения МП устройств наибольшее значение напряженности импульсного магнитного поля от молнии не превысит 300А/м.

И.3.6.2 Импульсные магнитные поля от первичных цепей существенно ниже, чем от молнии, так как в КРУЭ импульсные токи протекают в практически коаксиальной системе.

Выводы.

На подстанции могут быть установлены устройства, испытанные по 4 степени жесткости.

И.3.7 Проектные решения по защите от разрядов статического электричества.

Для обеспечения допустимых уровней электростатического потенциала тела человека используются антистатическое напольные покрытия:

- в КРУЭ-500кВ, КРУЭ-220кВ, КРУЭ-110кВ, в КРУ-10 (20)кВ - применяют бетонное покрытие пола;
- в помещениях РЩ, ГЩУ, ЩПТ, АСКУЭ и АСУТП - применяют фальшполы с антистатическим покрытием фирмы DOBO.

Результаты измерений и расчетов.

Наибольшее значение электростатического потенциала тела человека во всех помещениях с микропроцессорной аппаратурой не превысит 1,0кВ.

Выводы.

Электромагнитная обстановка в части воздействия статического электричества в помещениях характеризуется как обстановка средней тяжести.

Микропроцессорная аппаратура должна быть испытана не менее, чем по 2 степени жесткости.

И.3.8 Проектные решения по защите от наносекундных импульсных помех.

Для защиты от наносекундных импульсных помех применяют решения:

- электромеханические устройства не устанавливают вблизи микропроцессорной аппаратуры;
- питание электромеханических устройств и микропроцессорных устройств выполняют с разных фидеров.

И.3.9 Проектные решения по обеспечению качества электропитания постоянным током вторичного оборудования.

И.3.9.1 Для обеспечения качественного электропитания постоянным током применяют подзарядные устройства, обеспечивающие уровень пульсаций менее 2,5%.

И.3.9.2 Питание МП устройств, чувствительных к электромагнитным помехам, осуществляют от отдельных фидеров.

И.9.3 Кабели сети постоянного тока, проходящие в распределительном устройстве, прокладывают с экраном или броней.

И.3.9.4 Предусмотрено резервирование питания с применением диодного моста.

И.3.9.5 Время отключения близкого КЗ меньше допустимого времени перерыва питания терминалов (50мс).

И.3.9.6 Применяют шкафы ввода со стабилизатором напряжения (170/225В).

И.3.10 Проектные решения по обеспечению качества электропитания переменным током вторичного оборудования.

Для обеспечения качественного электропитания переменным током применяют следующие технические решения:

И.3.10.1 Для питания АСУ ТП предусмотрены инверторы, подключаемые к СОПТ, которые обеспечивают бесперебойное качество питания переменным током.

И.3.10.2 Применяют систему электропитания TN-S.

И.3.10.3 Применяют системы гарантированного бесперебойного электропитания на базе ИБП.

И.3.11 Проектные решения по защите от кондуктивных помех.

И.3.11.1 Для защиты от кондуктивных помех от внешних электромагнитных полей применяют экранированные кабели.

И.3.11.2 Для защиты от взаимного влияния цепей различного назначения применяют следующие технические решения:

- силовые кабели и контрольные кабели вторичного оборудования прокладывают в разных кабельных коробах, либо на расстоянии не менее 0,25м.

- в одном контрольном кабеле не прокладывают цепи, по которым передают сигналы различных типов;

- не применяют для передачи одного сигнала жилы разных контрольных кабелей.

И.3.12 Авторский надзор за выполнением проекта и приемо-сдаточные испытания.

И.3.12.1. Предусмотрено проведение измерений для контроля ЭМО в процессе строительства подстанции.

И.3.12.2 После завершения монтажных работ проводят приемо-сдаточные испытания в соответствии с «Методическими указаниями по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях». СО 34.35.311.2004.

Результаты расчетных значений уровней электромагнитных воздействий и рекомендуемые степени жесткости испытаний устройств вторичных систем на помехоустойчивость приведены в таблице И.2.

Таблица И.2

Расчетные значения уровней электромагнитных воздействий и рекомендуемые степени жесткости испытаний

№ п/п	Электромагнитное воздействие	Вид испытаний на помехоустойчивость	Расчетное значение и (рекомендуемая степень жесткости испытаний)
1.	Напряжения промышленной частоты при КЗ на землю.	Испытания электрической прочности изоляции (напряжение в установившемся режиме). ГОСТ 30328 (МЭК 255-5).	600В/2000В
2.	Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне.	На устойчивость к колебательным затухающим помехам: - одиночных, - повторяющихся. ГОСТ Р 51317.4.12 (МЭК 61000-4-12).	1,5 кВ (3 ст. жест.)
3.	Импульсные помехи от токов молнии.	На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. ГОСТ Р 51317.4.5 (МЭК 61000-4-5).	4кВ (4 ст. жест.)
4.	Магнитные поля промышленной частоты.	На устойчивость к магнитному полю промышленной частоты. ГОСТ Р 50648 (МЭК 61000-4-8).	70А/м (5 ст. жест.)
5.	Электромагнитные поля радиочастотного диапазона.	На устойчивость к излучаемым радиочастотным электромагнитным полям. ГОСТ Р 51317.4.3 ((МЭК 61000-4-3).	0,1В/м (3 ст. жест.)
6.	Импульсные магнитные поля.	На устойчивость к импульсному магнитному полю. ГОСТ Р 50649 (МЭК 61000-4-10).	300А/м (4ст. жест.)
7.	Разряды статического электричества.	На устойчивость к разрядам статического электричества.	1кВ (2 ст. жест.)

№ п/п	Электромагнитное воздействие	Вид испытаний на помехоустойчивость	Расчетное значение и (рекомендуемая степень жесткости испытаний)
		ГОСТ Р 51317.4.2 (МЭК 61000-4-2, МЭК 60255-22-2).	
8.	Наносекундные импульсные помехи от электромеханических устройств.	На устойчивость к наносекундным импульсным помехам. ГОСТ Р51317.4.4 (МЭК 61000-4-4, МЭК 60255-22-4).	(4 ст. жест.)
9.	Качество электропитания постоянным током.	На устойчивость к пульсациям напряжения постоянного тока. ГОСТ Р 51317.4.17 (МЭК 61000-4-17).	2,5% (3 ст. жест.)
10.	Качество электропитания переменным током.	На устойчивость к гармоникам и интергармоникам, к сигналам систем телеуправления и сигнализации в напряжении сети переменного тока. ГОСТ 51317.4.1 (МЭК 61000-4-13).	Обеспечивается источниками бесперебойного питания
		На устойчивость к колебаниям напряжения. ГОСТ Р 51317.4.14 (МЭК 61000-4-14).	Обеспечивается источниками бесперебойного питания
		На устойчивость к динамическим изменениям напряжения электропитания. ГОСТ Р 51317.4.11 (МЭК 61000-4-11).	Обеспечивается источниками бесперебойного питания
		На устойчивость к несимметрии напряжений электропитания. МЭК 6 1000 -4-27.	Обеспечивается источниками бесперебойного питания
		На устойчивость к изменениям частоты питания в сети переменного тока. ГОСТ Р 51317.4.28 (МЭК 6 1000 -4-28).	Обеспечивается источниками бесперебойного питания
11.	Кондуктивные помехи.	На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц, воздействующим на порты электропитания и ввода-вывода сигналов. ГОСТ Р 51317.4.6 (МЭК 6 1000-4-6). На устойчивость к кондуктивным помехам в полосе частот от 0 до 150 кГц. ГОСТ Р 51317.4.16 (МЭК 61000-4-16).	(3 ст. жест.) (4 ст. жест.)

И.4 Новое строительство подстанции с КРУЭ и переходным пунктом

И.4.1 Проектные решения по обеспечению допустимых уровней воздействий напряжения и токов промышленной частоты на вторичное оборудование при коротких замыканиях на землю.

И.4.1.1 На территории ПС расположены: здание КРУЭ 220/20 кВ (ячейки элегазовые фирмы Simens и ячейки комплектные фирмы ABB с вакуумным выключателем) с 3-мя Т 230/22кВ, переходной пункт.

Для снижения уровней напряжений и токов промышленной частоты при коротких замыканиях на землю применяют систему выравнивания потенциала вне зданий и систему уравнивания потенциалов внутри здания.

При выполнении заземляющего устройства в качестве заземлителей и заземляющих проводников применяют стальную шину сечением 6х50мм^2.

И.4.1.2 Заземляющее устройство ПС представляет собой замкнутый контур, соединяющий все здания и сооружения.

Заземляющее устройство выполнено с соблюдением требований к его сопротивлению, которое в любое время года не должно превышать 0,5 Ом.

На всей территории ПС выполнена сетка из продольных и поперечных горизонтальных заземлителей с неравномерным шагом из стали полосой оцинкованной 60х5мм^2. Размеры ячейки сетки - от 3м до 12м.

По периметру ЗУ ПС установлены вертикальные заземлители длинной 15м через 15м в количестве 20шт.

И.4.1.3 В помещениях КРУЭ-220кВ, КРУЭ-110кВ выполняют высокочастотную сетку для снижения импульсного потенциала на оборудовании при КЗ и коммутациях. В качестве ВЧ сетки используют арматуру железобетонного пола. Высокочастотную сетку присоединяют к закладным деталям фундамента вдоль стен через 1м.

По периметру помещения КРУЭ прокладывают полосу стальную оцинкованную 60х5мм^2 на высоте 0,5м.

Заземление КРУЭ выполняют в соответствии с заводскими чертежами, полученными 08.02.20007.

Внутренний контур заземления КРУЭ присоединяют к общему контуру не мене, чем в 2-х точках, а также к закладным деталям в колоннах по периметру здания.

Заземлители КРУЭ присоединяют к закладным деталям крепления КРУЭ.

И.4.1.4 В помещениях КРУ-20кВ (10кВ) корпуса ячеек КРУ присоединяютк закладным металлоконструкциям и между собой шиной 6х50мм^2.

Связи между рядами ячеек КРУ и внутренней шиной выполняют с шагом не более 10м.

Внутри всех помещений по периметру по стене прокладывают замкнутую шину системы уравнивания потенциалов на высоте 0,5м от пола. Между двумя связями со смежными помещениями расстояние должно быть не более 10м. Шины в помещениях на разных отметках по высоте соединяют между собой вертикальными шинами с шагом не более 20м (но не менее 4-х). Шины на отметке 0м соединяют с вводами от наружного заземлителя с шагом не менее 10м.

И.4.1.5 Внутри помещений трансформаторных (и автотрансформаторных) камер по периметру по стене прокладывают замкнутую шину системы уравнивания потенциалов на высоте 0,5м от пола.

На полу трансформаторной камеры выполняется сетка из шин 6х50мм^2 с шагом не более 10х10м. Корпус трансформатора присоединяют к точке пересечения шин для обеспечения растекания тока в 4 направлениях. В точках заземления нейтралей силовых трансформаторов (автотрансформаторов) прокладывают продольные и поперечные заземляющие проводники в четырех направлениях, соединенные с сеткой на полу трансформаторной (автотрансформаторной) камеры.

И.4.1.6 В помещениях АРМ РЗА, РЩ, АСУ ТП, связи, АСКУЭЭ шкафы с микропроцессорными устройствами устанавливают на закладные металлоконструкции и присоединяют к ним при помощи сварки или болтовых соединений (не менее 2-х точек для каждого шкафа). Закладные металлоконструкции связывают с шиной системы уравнивания потенциалов и между собой с шагом не более 10м.

Результаты расчетов.

1) При замыкании на землю уровни напряжений промышленной частоты, воздействующие на изоляцию контрольных кабелей, и токов, протекающие по экранам контрольных кабелей, не превысят допустимых значений.

2) Сопротивление растеканию тока заземляющего устройства ПС не превысит 0,2 Ом. Напряжение на ЗУ не превысит 10 кВ. Соответствует требованиям ПУЭ п.1.7.89.

3) При КЗ на землю на 220кВ, двойном замыкании на землю на РУ-20кВ и ближнем внешнем коротком замыкании на землю напряжение прикосновения (шага) в здании КРУЭ не превысит - 500В, а на рабочих местах - 65В. Соответствует требованиям ПУЭ п.1.7.91.

5) Необходимо выполнять не менее 2-х заземляющих проводников от оборудования к ЗУ для обеспечения допустимой температуры заземляющих проводников при КЗ на землю.

5) Напряжение на ЗУ превышает 5кВ.

Необходимо применять волоконно-оптические линии связи и принимать меры по защите проводных линий связи от перенапряжений.

Установить изоляционные вставки для исключения выноса потенциала за пределы подстанции по трубопроводам и кабелям связи.

И.4.2 Проектные решения по обеспечению допустимых уровней воздействий импульсных помех, возникающих при коммутациях силового оборудования и КЗ в первичных цепях

Для снижения уровней импульсных помех до допустимых значений приняты следующие проектные решения.

И.4.2.1 В помещении КРУЭ выполняют ВЧ сетку для снижения импульсного потенциала на оборудовании при КЗ и коммутациях. В качестве сетки применяют арматуру железобетонного пола.

И.4.2.2 В КРУЭ, от КРУЭ до РЩ и от ЩПТ до КРУЭ прокладывают экранированные кабели с заземлением экранов с двух сторон (для заземления экранов применяют разъемы или зажимы специального исполнения).

И.4.2.3 Силовые кабели и контрольные кабели прокладывают либо в разных кабельных коробах (лотках), либо на расстоянии не менее 0,25м.

Результаты расчетов.

1) Наибольшие расчетные значения тока высокочастотной составляющей при коротком замыкании на землю составят:

КРУЭ-220кВ - 10кА;

Переходной пункт - 5кА.

При коммутациях наибольшие значения амплитуды импульсных токов будут примерно в 4 раза меньше.

2) Наибольшие расчетные значения высокочастотных потенциалов на ЗУ при коротком замыкании на землю на шинах составят:

КРУЭ-220кВ - 9кВ;

Переходной пункт - 7кВ.

3) С учетом коэффициента затухания (не менее 6) уровень импульсных помех при коротких замыканиях и коммутациях из-за подъема потенциала на ЗУ не превысят 2,5кВ.

4) Наибольшее значение импульсных излучаемых помех в экранированных цепях не превысят 1кВ.

И.4.3 Проектные решения по обеспечению допустимых уровней воздействий импульсных помех от токов молнии

И.4.3.1 В качестве молниезащиты здания КРУЭ 220/110 кВ подстанции используют молниеприемную металлическую сетку на крыше здания, токоотводы (металлоконструкции здания, заземляющие проводники) и заземлители (фундамент здания и сетка вокруг здания).

И.4.3.2. При выполнении молниезащиты здания обеспечивают электрическую непрерывность стального каркаса, железобетонных колонн и фундамента здания, для чего не менее 50% соединений арматурных стержней фундамента между собой требуется выполнить сваркой или вязкой проволокой.

Гидроизоляцию фундамента здания выполняют битумными или битумно-латексными покрытиями. Применение полимерных покрытий при использовании фундамента здания в качестве молниезащитного заземлителя не допускается.

От колонн выполняют выводы на отметках этажей для соединения с внутренней системой уравнивания потенциалов, а на отметке 0м - для соединения с внешним заземляющим устройством.

И.4.3.3 В местах установки антенн и другого оборудования на крыше здания предусматривают выводы для заземления оборудования. Все кабели, выходящие на крышу, прокладывают в стальных трубах.

Результаты расчетов.

Разность потенциалов внутри здания при ударе молнии не превышает 2кВ.

Импульсные помехи, вызванные подъемом потенциала на заземляющем устройстве, не превышают 4кВ.

Излучаемые импульсные помехи не превышают 1кв.

И.4.4 Проектные решения по обеспечению допустимых уровней воздействий магнитных полей промышленной частоты

Для снижения напряженности магнитного поля при существующих планировках зданий применены следующие технические решения.

И.4.4.1 Максимально возможное удаление источников поля (реакторов) от помещений с аппаратурой АСТУ: реакторные камеры установлены на отдельном этаже и отделены залом КРУЭ от помещений 2-го этажа.

И.4.4.2 Применение компоновки КРУ, при которой токи по шинам будут снижены примерно в два раза.

В КРУ-20кВ вводную и секционную ячейки размещают в соседних ячейках КРУ в середине каждой секции. При этом полный ток, протекающий по шинам КРУ, будет уменьшен примерно в два раза.

Результаты расчетов.

1) ЭМО в отношении магнитных полей промышленной частоты в помещениях ПС характеризуется как крайне жесткая.

2) Микропроцессорная аппаратура РЗА, АСУ ТП, АСКУЭЭ, связи, устанавливаемая в этих помещениях, должна быть испытана:

- не менее, чем по 5 степени жесткости испытаний по ГОСТ Р 50648 для ячеек КРУ-20кВ (при расположении вводной и секционной ячейки в середине каждой секции КРУ), помещений ЩСН, помещении ЩПТ здания КРУЭ-500кВ;
- не менее, чем по 4 степени жесткости испытаний по ГОСТ Р 50648 для помещений панелей РЩ, ЩТП, АСУ, ТП АИИС КУЭ, ЛАЗ и серверной;
- по 3 степени жесткости испытаний по ГОСТ Р 50648 в помещении АРМ.

3) В помещениях персонала СДТУ и релейного персонала напряженность поля не превысит 50А/м, что соответствует требованиям правил техники безопасности и охраны труда для 8-часовой рабочей смены персонала.

4) Для снижения уровней полей, создаваемых шинами КРУ-20кВ в собственных релейных отсеках, необходимо использовать в качестве вводной ячейки и ячейки секционного выключателя две соседние ячейки, расположенные в середине секции.

И.4.5 Проектные решения по защите от электромагнитных полей радиочастотного диапазона

Допустимые уровни напряженности электромагнитного поля радиочастотного диапазона обеспечивают естественные экраны: металлоконструкции зданий подстанции и металлические шкафы.

Для защиты от воздействия электромагнитного поля переносных радиопередающих устройств необходимо административно ограничивать их применение вблизи микропроцессорной аппаратуры (не ближе 2-3м).

Результаты измерений и расчетов.

Наибольшее значение напряженности поля, создаваемого внешними и внутренними источниками в местах установки микропроцессорной аппаратуры не превышает 0,1В/м.

И.4.6 Проектные решения по обеспечению допустимых уровней воздействий импульсных магнитных полей

И.4.6.1 Использование металлических конструкций зданий в качестве токоотводов (заземляющих проводников) и заземлителей системы молниезащиты обеспечивает равномерное распределение тока молнии по периметру зданий.

И.4.6.2 Импульсные магнитные поля от первичных цепей существенно ниже, чем от молнии, так как в КРУЭ импульсные токи протекают в практически коаксиальной системе.

Результаты расчетов.

1) Электромагнитная обстановка в отношении воздействия импульсных магнитных полей в помещениях КРУЭ-220кВ, ЗРУ-10(20)кВ характеризуется как жесткая (на расстояниях более 1м и 4м от внешних стен).

2) Импульсное магнитное поле имеет наибольшую напряженность вблизи колонн и стен зданий. В местах размещения МП устройств наибольшая напряженность импульсного магнитного поля от молнии не превысит 300А/м.

3). На подстанции могут быть установлены устройства, испытанные по 4 степени жесткости по ГОСТ Р 50649.

И.4.7 Проектные решения по защите от разрядов статического электричества.

Для обеспечения допустимых уровней электростатического потенциала тела человека используют антистатические напольные покрытия:

- в КРУ-20кВ- применяют покрытие пола на бетонной основе;
- в помещении РЩ, серверной, ЛАЗ - применяют фальшполы с антистатическим покрытием фирмы DOBO.

Результаты измерений и расчетов.

1) Электромагнитная обстановка в отношении воздействия разрядов статического электричества в помещениях здания характеризуется как средней тяжести.

2) Наибольшее значение электростатического потенциала тела человека во всех помещениях с микропроцессорной аппаратурой ПС не превысит 1,0кВ. Микропроцессорная аппаратура РЗ, ПА, АСУ ТП, АСКУЭЭ, связи, устанавливаемая в этих помещениях, должна быть испытана не менее, чем по 2 степени жесткости по ГОСТ Р 51317.4.2.

И.4.8 Проектные решения по защите от наносекундных импульсных помех

Для защиты от наносекундных импульсных помех применяются решения:

- электромеханические устройства не устанавливают вблизи микропроцессорной аппаратуры;
- питание электромеханических устройств и микропроцессорных устройств выполняют с разных фидеров.

И.4.9 Проектные решения по обеспечению качества электропитания постоянным током вторичного оборудования

И.4.9.1 Для обеспечения качественного электропитания постоянным током применяют подзарядные устройства, обеспечивающие уровень пульсаций менее 2,5%.

И.4.9.2 Питание МП устройств, чувствительных к электромагнитным помехам, осуществляют от отдельных фидеров.

И.4.9.3 Кабели сети постоянного тока, проходящие в распределительном устройстве, прокладывают с экраном или броней.

И.4.9.4 Время отключения близкого КЗ меньше допустимого времени перерыва питания терминалов (50мс).

И.4.10 Проектные решения по обеспечению качества электропитания переменным током вторичного оборудования.

Для обеспечения качественного электропитания переменным током применяют следующие технические решения:

И.4.10.1 Применяют систему электропитания TN-S.

И.4.10.2 Применяют системы бесперебойного электропитания на базе ИБП.

И.4.11 Проектные решения по защите от кондуктивных помех

И.4.11.1 Для защиты от кондуктивных помех от внешних электромагнитных полей применяют экранированные кабели.

И.4.11.2 Для защиты от взаимного влияния цепей различного назначения применяют следующие технические решения:

- силовые кабели и контрольные кабели вторичного оборудования прокладывают в разных кабельных коробах, либо на расстоянии не менее 0,25м.
- в одном контрольном кабеле не прокладываются цепи, по которым передают сигналы различных типов;
- не применяют для передачи одного сигнала жилы разных контрольных кабелей.

И.4.12 Авторский надзор за выполнением проекта и приемо-сдаточные испытания.

И.4.12.1 Предусмотрено проведение измерений для контроля ЭМО в процессе строительства подстанции.

И.4.12.2 После завершения монтажных работ проводят приемо-сдаточные испытания в соответствии с «Методическими указаниями по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях». СО 34.35.311.2004.

Результаты расчетных значений уровней электромагнитных воздействий и степени жесткости испытаний МП устройств на помехоустойчивость приведены в таблице И.3.

Таблица И.3

Расчетные значения уровней электромагнитных воздействий и степени жесткости испытаний МП устройств

№ п/п	Электромагнитное воздействие	Вид испытаний на помехоустойчивость	Расчетное значение/ степень жесткости испытаний	Условия ЭМС
1.	Напряжения промышленной частоты при КЗ на землю.	Испытания электрической прочности изоляции (напряжение в установившемся режиме). ГОСТ 30328 (МЭК 255-5).	1000В/2000В	выполнены
2.	Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне.	На устойчивость к колебательным затухающим помехам: - одиночных, - повторяющихся. ГОСТ Р 51317.4.12 (МЭК 61000-4-12).	2,5 кВ и 1кВ/ 3 ст. жест. (2,5кВ синфазное , 1кВ противофазное)	выполнены
3.	Импульсные помехи от токов молнии.	На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. ГОСТ Р 51317.4.5 (МЭК 61000-4-5).	4кВ/ 4 ст. жест. (4кВ)	выполнены
4.	Магнитные поля промышленной частоты.	На устойчивость к магнитному полю промышленной частоты. ГОСТ Р 50648 (МЭК 61000-4-8).	4 ст. жест. (30А/м длительно, 300А/м кратковременно) в КРУ и ЩСН соответствует 5ст. жест. (100А/м длительно, 1000А/м кратковременно)	выполнена, кроме КРУ, ЩСН. Сделать запрос производителю
5.	Электромагнитные поля радиочастотного диапазона.	На устойчивость к излучаемым радиочастотным электромагнитным полям. ГОСТ Р 51317.4.3 ((МЭК 61000-4-3).	0,1В/м/ 3 ст. жест. (10В/м)	выполнены
6.	Импульсные магнитные поля.	На устойчивость к импульсному магнитному полю. ГОСТ Р 50649 (МЭК 61000-4-10).	300А/м соответствует 4ст. жест. / не указано	Сделать запрос производителю
7.	Разряды статического электричества.	На устойчивость к разрядам статического электричества. ГОСТ Р 51317.4.2 (МЭК 61000-4-2, МЭК 60255-22-2).	1кВ/ 3 ст. жест. (6кВ контактный, 8кВ воздушный)	выполнены
8.	Наносекундные импульсные помехи от электромеханическ	На устойчивость к наносекундным импульсным помехам. ГОСТ Р51317.4.4 (МЭК 61000-	4 ст. жест. (4кВ, 2кВ)	выполнены

№ п/п	Электромагнитное воздействие	Вид испытаний на помехоустойчивость	Расчетное значение/ степень жесткости испытаний	Условия ЭМС
	их устройств.	4-4, МЭК 60255-22-4).		
9. .	Качество электропитания постоянным током.	На устойчивость к пульсациям напряжения постоянного тока. ГОСТ Р 51317.4.17 (МЭК 61000-4-17).	2,5%/ 4 ст. жест. (15%)	выполнены
10.	Качество электропитания переменным током.	На устойчивость к гармоникам и интергармоникам, к сигналам систем телеуправления и сигнализации в напряжении сети переменного тока. ГОСТ 51317.4.1 (МЭК 61000-4-13).	Обеспечивается источниками бесперебойного питания	выполнены
		На устойчивость к колебаниям напряжения. ГОСТ Р 51317.4.14 (МЭК 61000-4-14).	Обеспечивается источниками бесперебойного питания	выполнены
		На устойчивость к динамическим изменениям напряжения электропитания. ГОСТ Р 51317.4.11 (МЭК 61000-4-11).	Обеспечивается источниками бесперебойного питания	выполнены
		На устойчивость к несимметрии напряжений электропитания. МЭК 6 1000 -4-27.	Обеспечивается источниками бесперебойного питания	выполнены
		На устойчивость к изменениям частоты питания в сети переменного тока. ГОСТ Р 51317.4.28 (МЭК 6 1000 -4-28).	Обеспечивается источниками бесперебойного питания	выполнены
11.	Кондуктивные помехи.	На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц, воздействующим на порты электропитания и ввода-вывода сигналов. ГОСТ Р 51317.4.6 (МЭК 6 1000-4-6). На устойчивость к кондуктивным помехам в полосе частот от 0 до 150 кГц. ГОСТ Р 51317.4.16 (МЭК 61000-4-16).	3 ст. жест. (10В)	выполнены

И.5 Новое строительство подстанции 500/220кВ с поэтапным пуском

И.5.1 Проектные решения по обеспечению допустимых уровней воздействий напряжения и токов промышленной частоты на вторичное оборудование при коротких замыканиях на землю.

И.5.1.1 На территории ПС расположены: ОРУ-500кВ с двумя АТ 500/220/10кВ, ОПУ совмещенное с ЗРУ 10кВ, вспомогательные здания и сооружения.

Пусковой комплекс - только 220кВ.

Для снижения уровней напряжений и токов промышленной частоты при коротких замыканиях на землю применяют систему выравнивания потенциала вне зданий и система уравнивания потенциалов внутри здания ОПУ.

В качестве заземлителей и заземляющих проводников применяют сталь полосковую оцинкованную 40х6мм^2 и сталь круглую оцинкованную диаметром 16мм^2.

И.5.1.2 Заземляющее устройство ПС представляет собой замкнутый контур, соединяющий все здания и сооружения.

Вокруг здания ОПУ проложен горизонтальный заземлитель на расстоянии около 1м от здания, от которого выполнены вводы в здание - 4 заземляющих проводника. На ОРУ-220кВ выполнена сетка из горизонтальных заземлителей с неравномерным шагом.

Заземляющее устройство ОРУ-220 кВ соединено с заземляющим устройством здания ОПУ, 4 заземлителя.

В здании ОПУ выполняют внутренний контур заземления на высоте 0,4м от пола. К внутреннему контуру подсоединяют все корпуса оборудования и металлические части, подлежащие заземлению.

Подключение закладных металлоконструкций к внутреннему контуру заземления производят не менее чем в трех точках. Закладные элементы должны быть соединены между собой: по концам каждого ряда шкафов; внутри каждого ряда шкафов через 4-5м; между рядами шкафов не менее, чем в четырех точках.

Внутри всех помещений по периметру по стене прокладывают замкнутую шину системы уравнивания потенциалов на высоте 0,4м от пола. Шины в помещениях на разных отметках по высоте соединяют между собой вертикальными шинами не менее 4-х. Шины на отметке 0м соединяют с вводами от наружного заземлителя.

Схема заземляющего устройства приведена на чертеже.

Результаты расчетов.

Наибольшее напряжение на кабелях или устройствах при всех режимах не превысит 1,8кВ.

Наибольшее значение тока в экранах вторичных кабелей, проложенных от РУ до РЩ, не превысит 315А. Для кабелей типа КВВГэ допустимый по термической стойкости ток в экране (при времени протекания менее 0,1с) - 385А.

Расчетное значение напряжения на ЗУ не превысит 9,2 кВ.

Выводы.

При замыкании на землю уровни напряжений промышленной частоты, воздействующие на изоляцию контрольных кабелей (типа КВВГэ), и токов, протекающие по экранам контрольных кабелей, не превысят допустимых значений (при времени протекания тока менее 0,1с).

Напряжение на ЗУ превышает 5кВ, но, поскольку отходящие от ПС коммуникации отсутствуют, дополнительных мероприятий не требуется.

И.5.2 Проектные решения по обеспечению допустимых уровней воздействий импульсных помех, возникающих при коммутациях силового оборудования и КЗ в первичных цепях.

Для снижения уровней импульсных помех до допустимых значений приняты следующие проектные решения.

И.5.2.1 На ОРУ-220кВ прокладывают экранированные кабели (в полузаглубленных кабельных каналах) с заземлением экранов с двух сторон (для заземления экранов применяют разъемы или зажимы специального исполнения).

И.5.2.2 Искусственное экранирование кабелей и заземление кабельных конструкций осуществляют с помощью специально прокладываемых искусственных экранов. Искусственный экран выполняют из стальной полосы 40х6мм^2, прокладываемой по верху кабельных каналов с двух сторон. Полосу, проложенную в кабельном канале присоединяют к устройству заземления ПС стальной полосой 40х6 мм^2 в местах пересечения кабельных каналов с продольными и поперечными заземлителями.

Силовые кабели и контрольные кабели прокладывают раздельно с контрольными или на расстоянии не менее 0,25см.

Результаты расчетов.

И.5.2.3 Наибольшее значение наведенных напряжений для неэкранированных кабелей не превысит 2,5кВ.

При применении экранированных кабелей с коэффициентом экранирования более 6 (типа КВВГэ) наведенные импульсные помехи при коммутациях и КЗ не превысят 0,5кВ.

И.5.2.4 Наибольшие расчетные значения тока высокочастотной составляющей при коротком замыкании на землю составят: ОРУ-220кВ - 2,6кА. Частотный спектр составляющих импульсных токов - от 0,1 МГц до 2МГц.

И.5.2.5 Расчетные значения импульсного напряжения на ЗУ оборудования при КЗ составят до 20кВ, а на МП устройствах (с учетом коэффициента затухания примерно 6) для цепей заземленных на ОРУ могут составить более 3кВ. При коммутациях наибольшие значения амплитуды импульсных токов и соответственно напряжений на ЗУ оборудования будут примерно в 5 раз меньше.

Выводы.

Уровень излучаемых импульсных помех при коммутациях и коротких замыканиях не превысит 0,5 кВ.

И.5.3 Проектные решения по обеспечению допустимых уровней воздействий импульсных помех от токов молнии.

И.5.3.1 Для выполнения молниезащиты ОРУ-220 кВ (пусковой комплекс) используют 4 молниеприемника, расположенных на порталах ОРУ и 7 отдельно стоящих молниеотводов, в том числе один - антенная мачта. Пять молниеотводов используют как прожекторную мачту. Кабели проложены в земле в трубах до кабельного канала.

Результаты расчетов.

И.5.3.2 Расчетное импульсное сопротивление ЗУ молниеотводов для отдельно стоящих молниеотводов составляет (3-5) Ом. Для антенной мачты расчетное значение сопротивления ЗУ - 7,5Ом, а для портальных молниеотводов - (1-3) Ом. Потенциалы на поверхности земли и заземлителях вблизи кабельных каналов на ОРУ 220 кВ не превышают 150кВ, за исключение портального молниеотвода М4 (см. 0014-006.0- 020-ЭП1. Лист 3) вблизи ТН 2СШ.

И.5.3.3 Излучаемые импульсные помехи при применении кабелей с экраном (броней, оболочкой), заземленных с двух сторон не превышают 4кВ.

Выводы.

При ударе молнии в молниеотводы излучаемые импульсные помехи при применении кабелей с экраном (броней, оболочкой), заземленных с двух сторон не превышают 4кВ.

И.5.4 Проектные решения по обеспечению допустимых уровней воздействий магнитных полей промышленной частоты.

Напряженность поля, создаваемого в точке установки терминалов в ячейках КРУ-10кВ в нормальном режиме (на расстоянии 0,84м от центра шин) составит до 20А/м, что не превышает требования 4 степени жесткости по ГОСТ Р 50648.

В аварийном режиме напряженность поля не превысит 300А/м, что соответствует 4 степени жесткости по ГОСТ Р 50648.

В помещении РЩ и ЩПТ напряженность магнитного поля не превысит 10А/м.

Выводы.

Микропроцессорная аппаратура РЗА, АСУ ТП, АСКУЭЭ, связи, должна быть испытана:

- не менее, чем по 4 степени жесткости по ГОСТ Р 50648 для ячеек КРУ-10кВ,
- не менее, чем по 3 степени жесткости по ГОСТ Р 50648 для помещений щита постоянного тока и РЩ.

И.5.5 Проектные решения по защите от электромагнитных полей радиочастотного диапазона.

Вблизи подстанции и на подстанции нет мощных радиопередающих устройств. Наибольшее значение напряженности поля, создаваемого внешними и внутренними источниками в местах установки микропроцессорной аппаратуры не превышает 0,1В/м.

Допустимые уровни напряженности электромагнитного поля радиочастотного диапазона обеспечивают естественные экраны: металлоконструкции зданий подстанции и металлические шкафы.

Для защиты от воздействия электромагнитного поля переносных радиопередающих устройств необходимо административно ограничить их применение вблизи микропроцессорной аппаратуры (не ближе 2-3м).

Выводы.

1) Электромагнитная обстановка в части воздействия электромагнитного поля радиочастотного диапазона в помещениях ПС характеризуется как легкая.

2) При работе эксплуатационного персонала необходимо административно ограничить использование переносных радиопередающих устройств вблизи микропроцессорных устройств.

И.5.6 Проектные решения по обеспечению допустимых уровней воздействий импульсных магнитных полей.

В месте размещения МП устройств наибольшее значение напряженности импульсного магнитного поля от молнии не превысит 50А/м.

Импульсные магнитные поля от первичных цепей существенно ниже, чем от молнии, так как ошиновка расположена на значительном расстоянии (более 60м) от здания ОПУ.

Выводы.

1) Электромагнитная обстановка в отношении импульсных магнитных полей в помещениях с микропроцессорной аппаратурой характеризуется как жесткая.

2) На подстанции могут быть установлены устройства, испытанные по 3 степени жесткости на воздействие импульсных магнитных полей.

И.5.7 Проектные решения по защите от разрядов статического электричества.

Для обеспечения допустимых уровней электростатического потенциала тела человека используют антистатические напольные покрытия:

- в КРУ-10кВ применяют покрытие пола - керамическая плитка;
- В помещении ТСН применяют покрытие пола - бетон;
- в помещении панелей РЗА, дежурного, серверная, ЩСН и ЩПТ применяют фальшполы с антистатическим покрытием.

В помещениях оперативного персонала, АРМ, РЗА, АСУ, мониторинга АТ и кабинет начальника ПС - ламинированный паркет.

Результаты расчетов.

Наибольшее значение электростатического потенциала тела человека во всех помещениях с микропроцессорной аппаратурой ПС не превысит 1,0кВ.

Выводы.

1) Электромагнитная обстановка в отношении воздействия разрядов статического электричества в помещениях с микропроцессорной аппаратурой характеризуется как обстановка средней тяжести.

2) Микропроцессорная аппаратура РЗА, ПА, АСУ ТП, АСКУЭЭ, связи, устанавливаемая в этих помещениях, должна быть испытана не менее, чем по 2 степени жесткости по ГОСТ Р 51317.4.2.

И.5.8 Проектные решения по защите от наносекундных импульсных помех.

Для защиты от наносекундных импульсных помех применяют решения:

- электромеханические устройства не устанавливаются вблизи микропроцессорной аппаратуры;
- питание электромеханических устройств и микропроцессорных устройств выполняют с разных фидеров.

И.5.9 Проектные решения по обеспечению качества электропитания постоянным током вторичного оборудования.

И.5.9.1 Для обеспечения качественного электропитания постоянным током применяют подзарядные устройства, обеспечивающие уровень пульсаций менее 2,5%.

И.5.9.2 Питание МП устройств, чувствительных к электромагнитным помехам, осуществляют от отдельных фидеров.

И.5.9.3 Кабели сети постоянного тока, проходящие в распределительном устройстве, прокладывают с экраном или броней.

И.5.9.4 Время отключения близкого КЗ меньше допустимого времени перерыва питания терминалов (50мс).

И.5.10 Проектные решения по обеспечению качества электропитания переменным током вторичного оборудования.

Для обеспечения качественного электропитания переменным током применяют следующие технические решения:

И.5.10.1 Применяют систему электропитания TN-S.

И.5.10.2 Применяют системы гарантированного бесперебойного электропитания на базе ИБП.

И.5.11 Проектные решения по защите от кондуктивных помех.

И.5.11.1 Для защиты от кондуктивных помех от внешних электромагнитных полей применяют экранированные кабели.

И.5.11.2 Для защиты от взаимного влияния цепей различного назначения применяют следующие технические решения:

- силовые кабели и контрольные кабели вторичного оборудования прокладывают в разных кабельных коробах, либо на расстоянии не менее 0,25м.
- в одном контрольном кабеле не прокладывают цепи, по которым передают сигналы различных типов;
- не применяются для передачи одного сигнала жилы разных контрольных кабелей.

И.5.12 Авторский надзор за выполнением проекта и приемо-сдаточные испытания.

И.5.12.1 Предусмотрено проведение измерений для контроля ЭМО в процессе строительства подстанции.

И.5.12.2 После завершения монтажных работ проводят приемо-сдаточные испытания в соответствии с «Методическими указаниями по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях». СО 34.35.311.2004.

На ПС устанавливают МП устройства фирмы **General Electric.** Результаты расчетных значений уровней электромагнитных воздействий и степени жесткости испытаний МП устройств на помехоустойчивость приведены в таблице И.4.

Таблица И.4

Расчетные значения уровней электромагнитных воздействий и степени жесткости испытаний МП устройств

№ п/п	Электромагнитное воздействие	Вид испытаний на помехоустойчивость	Расчетное значение/ степень жесткости испытаний	Условия ЭМС
1.	Напряжения промышленной частоты при КЗ на землю.	Испытания электрической прочности изоляции (напряжение в установившемся режиме). ГОСТ 30328 (МЭК 255-5).	1800В/2000В	выполнены
2.	Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне.	На устойчивость к колебательным затухающим помехам: - одиночных, - повторяющихся. ГОСТ Р 51317.4.12 (МЭК 61000-4-12).	2,5 кВ и 1кВ/ 3 ст. жест. (2,5кВ синфазное , 1кВ противофазное)	выполнены, необходимо провести измерения после строительства
3.	Импульсные помехи от токов молнии.	На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. ГОСТ Р 51317.4.5 (МЭК 61000-4-5).	4кВ/ 4 ст. жест. (4кВ)	выполнены
4.	Магнитные поля промышленной частоты.	На устойчивость к магнитному полю промышленной частоты. ГОСТ Р 50648 (МЭК 61000-4-8).	10А/м/ 4 ст. жест. (30А/м длительно, 300А/м кратковременно) в КРУ 20А/м соответствует 4ст. жест. (30А/м длительно, 300А/м кратковременно)	выполнены
5.	Электромагнитные поля радиочастотного диапазона.	На устойчивость к излучаемым радиочастотным электро-магнитным полям. ГОСТ Р 51317.4.3 ((МЭК 61000-4-3).	0,1В/м/ 3 ст. жест. (10В/м)	выполнены
6.	Импульсные магнитные поля.	На устойчивость к импульсному магнитному полю. ГОСТ Р 50649 (МЭК 61000-4-10).	50А/м соответствует 3ст. жест. / не указано	выполнены

№ п/п	Электромагнитное воздействие	Вид испытаний на помехоустойчивость	Расчетное значение/ степень жесткости испытаний	Условия ЭМС
7.	Разряды статического электричества.	На устойчивость к разрядам статического электричества. ГОСТ Р 51317.4.2 (МЭК 61000-4-2, МЭК 60255-22-2).	1кВ/ 3 ст. жест. (6кВ контактный, 8кВ воздушный)	выполнены
8.	Наносекундные импульсные помехи от электромеханических устройств.	На устойчивость к наносекундным импульсным помехам. ГОСТ Р51317.4.4 (МЭК 61000-4-4, МЭК 60255-22-4).	4 ст. жест. (4кВ, 2кВ)	выполнены
9.	Качество электропитания постоянным током.	На устойчивость к пульсациям напряжения постоянного тока. ГОСТ Р 51317.4.17 (МЭК 61000-4-17).	2,5%/ соотв. РД 34.35.310-97	выполнены

И.6 Установка микропроцессорных устройств релейной защиты на действующей подстанции 500кВ

И.6.1 Краткая характеристика объекта.

Подстанция открытого типа 500/220/110/6кВ, на территории которой расположены ОРУ-110кВ, ОРУ-220кВ, ОРУ-500кВ, здание ГЩУ, здание машзала, в котором расположен РЩ-500кВ.

На ПС устанавливают следующие терминалы:

фирмы ABB: FOX 515 - мультиплексор;

фирмы Simiens: Siprotec 7SA52, 6MD66 - резервные защиты, Siprotec 7SD5 - основные защиты.

Схема распредустройства 500кВ - две рабочие системы шин с двумя выключателями на присоединение. От ОРУ-500 кВ отходят 3 воздушные линии.

Молниезащиту ОРУ-500 кВ осуществляют молниеотводами на порталах и отдельно стоящими молниеотводами (прожекторные мачты).

Прокладка кабелей цепей напряжения, тока и управления от ОРУ-500кВ до РЩ-500 кВ выполнена в существующих кабельных каналах на глубине 1 м. Для цепей напряжения и управления ВВ 500кВ применяют существующие контрольные кабели. Для цепей тока 500кВ ВЛ М проложены новые экранированные контрольные кабели.

Устройства РЗА питаются постоянным оперативным током от аккумуляторных батарей АБ-1, АБ-2, установленных в здании РЩ-500кВ.

Расчетные значения токов однофазного КЗ на шинах 500 кВ для ПС составляют:

В месте КЗ - 7кА;

В нейтраль Т1 - 0,4кА;

В нейтраль Т2 - 0,27кА.

Удельное сопротивление грунта ρ приведенное к двухслойной модели составляет (с учетом промерзания в зимний период):

ρ верхнего слоя - 200 Ом·м, толщина верхнего слоя - 1,5 м,

ρ нижнего слоя - 85 Ом·м.

И.6.2 Результаты определения электромагнитной обстановки

Диагностика заземляющего устройства проводилась в соответствии с «Методическими указаниями по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок» РД 153-34.0-20.525-00.

В результате обследования была составлена исполнительная схема заземляющего устройства ячейки ВЛ 500кВ (приведена на схеме).

Выявлены следующие недостатки:

•Сопротивление связи КС и агрегатных шкафов ВВ, ТН ВЛ 500кВ М превышают 0,05Ом.

Определение электромагнитной обстановки проводилось в соответствии с «Методическими указаниями по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях» СО 34.35.311-2004. Результаты работы приведены в Протоколах 1-12.

И.6.2.1 Воздействие токов и напряжений промышленной частоты при коротком замыкании

Результаты измерений и расчетов приведены в Протоколе 1.

При КЗ на КС л.М ОРУ-500кВ уровни напряжений, воздействующих на изоляцию кабелей, и токов по заземленным с обеих сторон экранам контрольных кабелей превысят допустимые значения.

При КЗ на остальном оборудовании л.М ОРУ-500кВ уровни напряжений, воздействующих на изоляцию кабелей, и токов по заземленным с обеих сторон экранам контрольных кабелей не превысят допустимые значения.

И.6.2.2 Импульсные помехи, создаваемые первичными цепями в нормальных и аварийных режимах

И.6.2.2.1 Импульсные помехи, связанные с подъемом потенциала ЗУ.

Результаты измерений и расчетов приведены в Протоколе 2.

Для определения уровня импульсных помех во вторичных цепях из-за подъема потенциала на ЗУ проводились имитации ВЧ составляющей тока КЗ на землю на ОРУ-500кВ. Измерение помех при имитации ВЧ составляющей тока КЗ выполнялись в цепях РЗА на РЩ. Измеренные значения пересчитывались к реальному току КЗ, определенному путем расчета по программе «Interference». Расчетное значение ВЧ составляющей тока КЗ на ОРУ-500кВ составило 3,5кА.

Импульсные помехи, вызванные подъемом потенциала заземлителя, превысят допустимые значения в цепях напряжения при КЗ на ТН л.В на ОРУ-500кВ.

И.6.2.2.2 Импульсные излучаемые помехи.

Результаты измерений и расчетов приведены в Протоколе 3.

Определение уровней импульсных излучаемых помех при коммутациях силового оборудования и КЗ на шинах осуществлялось при имитации с помощью ИКП-1, а также расчетом по программе «Interference».

Импульсные излучаемые помехи на терминалах при КЗ и коммутациях на ОРУ-500кВ не превышают допустимых уровней.

И.6.2.3 Импульсные помехи при ударах молнии

Результаты расчетов импульсных помех при ударе молнии в молниеотводы на территории подстанции приведены в Протоколе 4 и 5.

При ударе молнии в молниеотводы М1 и М2 на ОРУ-500кВ перенапряжения в цепях, проложенных по существующим кабельным трассам, могут превысить допустимые значения.

При ударах молнии в молниеотводы М1 и М2 на ОРУ-500кВ возможно обратное перекрытие с заземляющего устройства на контрольные кабели.

При ударе молнии в остальные молниеотводы перенапряжения не превысят допустимые значения.

И.6.2.4 Электромагнитные поля и кондуктивные помехи радиочастотного диапазона

Результаты измерений и расчетов приведены в Протоколах 7 и 10 и на рис.4.2.

Уровни фоновых электромагнитных полей радиочастотного диапазона в РЩ-500кВ не превышают допустимых значений.

Вблизи (ближе 2-3м) переносных радиопередающих устройств мощностью более 4 Вт напряженность ЭМ поля может превысить допустимые уровни.

Уровни кондуктивных помех, наведенных полями радиочастотного диапазона, в цепях РЗА в РЩ-500кВ не превышают допустимых значений.

И.6.2.5 Магнитные поля промышленной частоты

Результаты измерений и расчетов приведены в Протоколе 8.

Уровни напряженности магнитного поля 50Гц в помещении РЩ-500кВ в нормальном и аварийном режиме не превышает допустимых значений для аппаратуры ABB, SIEMENS.

И.6.2.6 Разряды статического электричества

Результаты измерений и расчетов приведены в Протоколе 6.

Уровни электростатического потенциала тела человека в РЩ-500кВ не превышают допустимые значения для аппаратуры SIEMENS.

Уровни электростатического потенциала тела человека на РЩ-500кВ, могут превысить допустимые значения для терминалов FOX ABB в зимнее время при включенном отоплении.

И.6.2.7 Помехи, связанные с возмущениями в цепях питания низкого напряжения

Результаты измерений и расчетов приведены в Протоколе 11.

Уровни пульсаций в оперативном постоянном оперативном токе на РЩ-500кВ не превышают допустимые значения.

Импульсные помехи при КЗ и коммутациях в постоянном оперативном токе на РЩ-500кВ не превышают допустимых значений.

И.6.2.8 Импульсные магнитные поля

Результаты измерений и расчетов приведены в Протоколе 9.

Напряженность импульсных магнитных полей в помещениях РЩ-500кВ не превысит допустимых значений, соответствующих 4 степени жесткости по ГОСТ Р 50649.

И.6.2.9 Взаимное влияние кабелей

Результаты измерений приведены на рис.4.4 и в Протоколе 12.

Уровни наводок промышленной частоты в контрольных кабелях на РЩ-500кВ не превышают значений, соответствующих 3 степени жесткости по ГОСТ Р 51317.4.16.

И.6.3 Проектные решения по обеспечению ЭМС

И.6.3.1 Выполнить прокладку дополнительных заземлителей и заземляющих проводников, как указано на схеме.

И.6.3.2 Экраны контрольных кабелей цепей ТТ заземлять с двух сторон при помощи специальных зажимов, хомутов или пайки.

И.6.3.3 Изменить трассы контрольных кабелей на ОРУ-500кВ возле молниеприемников М1 и М2 или во все цепи, заходящие на терминалы с ОРУ-500кВ, установить ОПН.

И.6.3.4 Запретить использование вблизи МП устройств (ближе 2-3м) переносных радиопередающих устройств мощностью 4Вт и более.

И.6.3.5 Заменить покрытие пола около места установки терминалов ABB FOX на антистатическое или работать с терминалами в заземляющих браслетах, или получить подтверждение у производителя о возможности работы терминалов при воздействии разрядов статического электричества, соответствующих 4 степени жесткости по ГОСТ Р 51317.4.2.

И.6.3.6 Запросить у производителя данные по испытаниям микропроцессорной аппаратуры на следующие виды воздействий:

Для аппаратуры АББ, Siemens:

по ГОСТ Р 50649 - не менее чем по 4 степени жесткости;

по ГОСТ Р 51317.4.16 - не менее, чем по 3 степени жесткости.

ПРОТОКОЛ №1

Токи и напряжения промышленной частоты при коротком замыкании на землю

№ кабеля, аппаратура	Трасса кабеля	Место приложения воздействия	Расчетно-экспериментальные воздействия		Время воздействия, с	Допустимые уровни воздействия		Выводы	Рекомендации
			Наибольшее напряжение на кабеле или аппаратуре, кВ	Наибольший ток в экране, оболочке или броне кабеля, А		Наибольшее напряжение на кабеле или аппаратуре, кВ	Наибольший ток в экране, оболочке или броне кабеля, А		
ОРУ-500кВ *(ток КЗ 7кА, нейтрали трансформаторов 0,67кА)*									
-	БЩУ-Оборудование ОРУ-500кВ	КС ВЛ 500кВ М	3,5	700	0,1	2,0	380	Превышает норму	Реконструкция ЗУ
-	БЩУ-Оборудование РУ-500кВ	Остальное оборудование ВЛ 500кВ М	0,4	200	0,1	2,0	380	В норме	-

1.	Температура воздуха	-5 ° С	Влажность воздуха	80 %	Атмосферное давление	737 мм.рт.ст.
2.	Измерения проведены приборами типа	КДЗ-1	заводской номер	17/27	дата поверки	14.02.2007
3.	Расчеты проведены по программе	ОРУ-М 2.1.20	№ регистрации	2002611768	От 15.10.2002	

Заключение: При КЗ на КС ВЛ Мытищинская ОРУ-500кВ уровни напряжений, воздействующих на изоляцию кабелей, и токов по заземленным с обеих сторон экранам контрольных кабелей превысят допустимые значения.

При КЗ на остальном оборудовании ВЛ Мытищинская ОРУ-500кВ уровни напряжений, воздействующих на изоляцию кабелей, и токов по заземленным с обеих сторон экранам контрольных кабелей не превысят допустимые значения.

ПРОТОКОЛ №2

Импульсные помехи, вызванные подъемом потенциала заземлителя

Вид цепей	Оборудование, откуда цепи	Имитация ВЧ составляющей тока КЗ				Расчетно-экспериментальные воздействия		Степень жесткости испытаний, (или допустимый уровень воздействия, кВ)	Выводы	Рекомендации
		Ток генератора, А	f, МГц	$Z_{имп.обор}$ оборудования, Ом	$К_{ПЕРЕД}$, о.е.	$I_{ВЧ}$, кА	Наибольшее напряжение на устройстве, кВ			
Помеха общего вида										
ТН	ТН л. М	2,5	1	6	30	3,5	0,7	2,5	В норме	-
ТН	ТН л. Ч	2,8	1	5	30	3,5	0,6	2,5	В норме	-
ТН	ТН л. В	2,3	1	9	5	3,5	6,1	2,5	Превышает норму	Реконструкция ЗУ
цепи управления	ВВ 2 СШ л. М	2,5	1	4	50	3,5	0,3	2,5	В норме	-
цепи управления	ВВ 1 СШ л. М	3,0	1	4	60	3,5	0,2	2,5	В норме	-
Помеха дифференциального вида										
ЦН	ТН л. М	2,5	1	6	30	3,5	0,7	1	В норме	-
ЦН	ТН л. Ч	2,8	1	5	30	3,5	0,6	1	В норме	-
ЦН	ТН л. В	2,3	1	9	5	3,5	5,3	1	Превышает норму	Реконструкция ЗУ
цепи откл-я	ВВ 2 СШ л.	2,5	1	4	50	3,5	0,3	1	В норме	-
цепи откл-я	ВВ 1 СШ л. М	3,0	1	4	60	3,5	0,2	1	В норме	-

1.	Температура воздуха	-5 ° С	Влажность воздуха	80%	Атмосферное давление	737 мм.рт.ст.
2.	Измерения проведены приборами типа	ИКП-1	заводской номер	33/33	дата поверки	14.02.2007
3.	Расчеты проведены по программе	Interferences	№ регистрации	2004610419	От 11.02.2004	

Заключение: Импульсные помехи, вызванные подъемом потенциала заземлителя, превысят допустимые значения в цепях напряжения при КЗ на ТН л. Владимирская на ОРУ-500кВ

ПРОТОКОЛ №3
Импульсные излучаемые помехи

Кабель (вид цепей)	Трасса прокладки кабеля (№ трассы)	Коэффициент экранирования, о.е.	Расчетно-экспериментальные воздействия				Степень жесткости испытаний, (или допустимый уровень воздействия, кВ)	Выводы	Рекомендации
			При коммутациях		При КЗ				
			Вид коммутации	Наибольшее напряжение на устройстве, кВ	Место КЗ	Наибольшее напряжение на устройстве, кВ			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
РЩ-500 кВ									
ТН, ТТ, цепи управления	ВЛ М - РЩ - 500кВ	60-100	все	0,2	все	0,3	2,5	В норме	-

1.	Температура воздуха	-5 ° С	Влажность воздуха	75%	Атмосферное давление	737 мм.рт.ст.
2.	Измерения проведены приборами типа	ИКП-1	заводской номер	33/33	дата поверки	14.02.2007
3.	Расчеты проведены по программе	Interference 2.2.61	№ регистрации	2004610419	От 11.02.2004	

Заключение: Уровни импульсные излучаемые помехи на терминалах при КЗ и коммутациях на ОРУ-500кВ не превышают допустимых значений.

ПРОТОКОЛ №4
Импульсные излучаемые помехи, вызванные ударами молнии

молниеотвод	Трасса прокладки кабеля (№ трассы)	Коэффициент экранирования, о.е.	Наибольшее напряжение на кабеле, кВ	Наибольшее напряжение на устройстве, кВ	Степень жесткости испытаний, (или допустимый уровень воздействия, кВ)	Выводы	Рекомендации
РЩ-500кВ							
М1, М2	Ближайший кабельный канал	60-100	15	15	5,0	Превышает норму	Изменить трассы кабелей или установить ОПН
остальные	Ближайший кабельный канал	60-100	4	4	5,0	В норме	-

1.	Температура воздуха	-5 ° С	Влажность воздуха	80%	Атмосферное давление	737 мм.рт.ст.
2.	Измерения проведены приборами типа	ИК-1	заводской номер	24/63	дата поверки	14.02.2008 г
3.	Расчеты проведены по программе	ОРУ-М 2.1.20	№ регистрации	2002611768	От 15.10.02	-

Заключение: При ударе молнии в молниеотводы М1 и М2 на ОРУ-500кВ перенапряжения в цепях, проложенных по существующим кабельным трассам, могут превысить допустимые значения.

ПРОТОКОЛ №5

Импульсные напряжения, воздействующие на контрольные кабели и оборудование при ударах молнии

№ молние-приемника	Трасса прокладки кабелей (№ трассы)	Ток молнии, кА	Длительность фронта, мкс	Наибольшее напряжение между ЗУ и кабелем, кВ	Допустимый уровень воздействия, кВ	Выводы	Рекомендации
молниеотвод М1, М2	Ближайшая к молниеотводу	100	10	50	20	Превышает норму	Реконструкция ЗУ. Изменить трассу кабелей.
Остальные	Ближайшая к молниеотводу	100	10	5	20	В норме	-

1.	Температура воздуха	-5 ° С	Влажность воздуха	80 %	Атмосферное давление	737 мм.рт.ст.
2.	Измерения проведены приборами типа	С511	заводской номер	24/63	дата поверки	14.02.2007 г
3.	Расчеты проведены по программе	ОРУ-М	№ регистрации	2002611768	От 15.10.2002	

Заключение: При ударах молнии в молниеотводы М1 и М2 на ОРУ-500кВ возможно обратное перекрытие с заземляющего устройства на контрольные кабели.

ПРОТОКОЛ №6

Электростатический потенциал тела человека

Помещение	Тип покрытия пола	Измерения			Расчетно-экспериментальное значение			Степень жесткости испытаний (или допустимый уровень воздействия, кВ)	Выводы	Рекомендации
		Влажность, %	Температура, °С	Потенциал на теле человека, кВ	Влажность, %	Температура, °С	Наибольший потенциал тела человека, кВ			
РЩ-500 кВ терминалы FOX ABB	Паркет	80	23	0,3	20	+25	10	8	Превышает норму	Заменить покрытие пола на антистатическое или работать с терминалами в заземляющих браслетах
РЩ-500 кВ терминалы Siemens	Паркет	80	23	0,3	20	+25	10	15	В норме	-

1.	Температура воздуха	-5 ° С	Влажность воздуха	80 %	Атмосферное давление	737 мм.рт.ст.
2.	Измерения проведены приборами типа	С502	заводской номер	№6940	дата поверки	2007
3.	Расчеты проведены по программе	-	№ регистрации	-		

Заключение: Уровни электростатического потенциала тела человека на РЩ-500кВ, могут превысить допустимые значения для терминалов FOX ABB в зимнее время при включенном отоплении.

ПРОТОКОЛ №7
Электромагнитные поля радиочастотного диапазона

Частота, МГц	Наибольшая напряженность, В/м	Степень жесткости испытаний (или допустимый уровень воздействия, В/м)	Выводы	Рекомендации
Фон				
25-1000	0,01	10	В норме	-

1.	Температура воздуха	-5 °С	Влажность воздуха	80 %	Атмосферное давление	737 мм.рт.ст.
2.	Измерения проведены приборами типа	АКТАКОМ АКС-1201	заводской номер	2505829	дата поверки	2007 г.
3.	Расчеты проведены по программе	-	№ регистрации	-	-	-

Заключение: Уровни фоновых электромагнитных полей радиочастотного диапазона не превышают допустимые уровни.

ПРОТОКОЛ №8
Магнитные поля промышленной частоты

Место измерения, расчета	Наибольшая напряженность, А/м	Степень жесткости испытаний (или допустимый уровень воздействия, А/м)	Выводы	Рекомендации
Нормальный режим				
РЩ-500кВ место установки терминалов АББ, Siemens	2,0	30	В норме	-
Аварийный режим (ток трехфазного КЗ на шинах 10кВ)				
РЩ-500кВ место установки терминалов АББ, Siemens	250	300	В норме	-

1.	Температура воздуха	-5 ° С	Влажность воздуха	80%	Атмосферное давление	737 мм.рт.ст.
2.	Измерения проведены приборами типа	ИПМ-203	заводской номер	17/27	дата поверки	14.02.2007
3.	Расчеты проведены по программе	-	№ регистрации	-	-	-

Заключение: Уровни напряженности магнитного поля 50Гц в помещении РЩ-500кВ (место установки терминалов АББ, Siemens) в нормальном и аварийном режиме не превышает допустимых значений.

ПРОТОКОЛ №9
Импульсные магнитные поля

Источник поля	Место измерения, расчета	Наибольшая напряженность, А/м	Степень жесткости испытаний (или допустимый уровень воздействия, А/м)	Выводы	Рекомендации
молниеотводы на территории ПС	РЩ-500кВ место установки терминалов АББ, Siemens	150	4 ст. жесткости	Соответствует 4 ст. жесткости по ГОСТ Р 50649-94	Проверить возможность работы аппаратуры при данном виде воздействия

1.	Температура воздуха	-5 ° С	Влажность воздуха	80%	Атмосферное давление	737 мм.рт.ст.
2.	Измерения проведены приборами типа	-	заводской номер	-	дата поверки	-
3.	Расчеты проведены по программе	-	№ регистрации	-	-	-

Заключение: Уровни импульсных электромагнитных полей в РЩ-500кВ (место установки терминалов АББ, Siemens) соответствуют 4 степени жесткости по ГОСТ Р 51317.4.16.

ПРОТОКОЛ №10
Кондуктивные помехи радиочастотного диапазона

Вид цепей, устройство	Наибольшее напряжение, В	Степень жесткости испытаний (или допустимый уровень воздействия, В)	Выводы	Рекомендации
РЩ-500 кВ				
Цепи ТН, ТТ, управления ВВ, постоянного оперативного тока	1,0	10	В норме	-

1.	Температура воздуха	-5 ° С	Влажность воздуха	80%	Атмосферное давление	737 мм.рт.ст.
2.	Измерения проведены приборами типа	Fluke 199С	заводской номер	DM010080	дата поверки	2007 г.
3.	Расчеты проведены по программе	-	№ регистрации	-		

Заключение: Уровни кондуктивных помех радиочастотного диапазона в цепях ТН, ТТ, управления ВВ, постоянного оперативного тока защит ВЛ 500кВ Мытищинская не превышают допустимых значений.

ПРОТОКОЛ №11

Кондуктивные помехи в цепях постоянного оперативного тока

Вид цепи	Пульсации в постоянном оперативном токе		Импульсные помехи в постоянном оперативном токе		Выводы	Рекомендации
	Наибольший уровень пульсаций, %	Допустимый уровень пульсаций, %	Наибольшее напряжение, кВ	Степень жесткости испытаний (или допустимый уровень воздействия, В)		
Оперативный ток =220В АБ-1	0,4	6 (ABB) 15 (Siemens)	0,5	2 (FOX ABB) 4 (Siemens)	В норме	-
Оперативный ток =220В АБ-2	1	6 (ABB) 15 (Siemens)	0,5	2 (FOX ABB) 4 (Siemens)	В норме	-

1.	Температура воздуха	-5 °С	Влажность воздуха	80 %	Атмосферное давление	737 мм.рт.ст.
2.	Измерения проведены приборами типа	Fluke 199C	заводской номер	DM010080	дата поверки	2007 г.
3.	Расчеты проведены по программе	-	№ регистрации	-		

Заключение: Уровни пульсаций и импульсных помех при коммутациях и КЗ в оперативном постоянном токе не превышают допустимые значения.

ПРОТОКОЛ №12
Взаимное влияние кабелей на низкой частоте

Кабель (вид цепи), устройство	Частота, кГц	Наибольшее напряжение, В	Степень жесткости испытаний (или допустимый уровень воздействия, В)	Выводы	Рекомендации
РЩ-500кВ					
Цепи оперативного постоянного тока, управления ВВ	50	6	3 ст. жесткости	Соответствует 3 ст. жесткости по ГОСТ Р 51317.4.16.	Проверить возможность работы аппаратуры при данном виде воздействия

1.	Температура воздуха	-5 ° С	Влажность воздуха	80 %	Атмосферное давление	737 мм.рт.ст.
2.	Измерения проведены приборами типа	Fluke 199C	заводской номер	DM010080	дата поверки	2007 г.
3.	Расчеты проведены по программе	-	№ регистрации	-	-	-

Заключение: Уровни кондуктивных помех низкой частоты в контрольных кабелях не превышают значений, соответствующих 3 степени жесткости по ГОСТ Р 51317.4.16.

gost.e-ecolog.ru