

СТО 56947007-29.240.043–2010

**«Руководство по обеспечению
электромагнитной совместимости
вторичного оборудования
и систем связи электросетевых
объектов»**

СТО 56947007-29.240.044–2010

**«Методические указания
по обеспечению электромагнитной
совместимости на объектах
электросетевого хозяйства»**

Вниманию специалистов

Вышли в свет следующие выпуски

«Библиотечки электротехника»:

Соловьев А. Л. **Защита генераторов малой и средней мощности терминалами «Сириус-ГС».**

Трофимов В. М. **Выбор и проверка надежности функционирования устройств выпрямленного оперативного тока подстанций: БПТ-1002, БПНС (УПНС-М).**

Хромченко Ф. А. **Сварочные технологии ремонта элементов трубопроводов (справочные материалы).**

Шмурьев В. Я. **Реле времени полупроводниковые.**

Захаров О. Г., Козлов В. Н. **Цифровые устройства центральной сигнализации (части 1 и 2).**

Беляев А. В. **Вторичная коммутация в распределительных устройствах, оснащенных цифровыми РЗА (части 1 и 2).**

Киреева Э. А., Цырук С. А. **Измерительные трансформаторы тока и напряжения с литой изоляцией (справочные материалы, части 1 и 2).**

Алексеев Б. А. **Крупные силовые трансформаторы: контроль состояния в работе и при ревизии.**

Хромченко Ф. А. **Особенности и причины повреждений сварных соединений трубопроводов ТЭС (справочные материалы)**

Хромченко Ф. А. **Диагностика для продления ресурса трубопроводов ТЭС (справочные материалы)**

Захаров О. Г. **Поиск дефектов в релейно-контакторных схемах (части 1 и 2)**

Беляев А. В. **Защита, автоматика и управление на электростанциях малой энергетики (части 1 и 2)**

Подписку можно оформить в любом почтовом отделении связи по объединенному каталогу «ПРЕССА РОССИИ». Том 1. Российские и зарубежные газеты и журналы.

**Подписной индекс «Библиотечки электротехника» —
приложения к журналу «Энергетик»**

88983

**Адрес редакции
журнала «Энергетик»:**

115280, Москва, ул. Автозаводская, д. 14/23.

Телефон (495) 675-19-06.

E-mail: energetick@mail.ru

Библиотечка электротехника

Приложение к журналу «Энергетик»

Основана в июне 1998 г.

Выпуск 9—10 (141—142)

СТО 56947007-29.240.043—2010.

**«РУКОВОДСТВО ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ
СОВМЕСТИМОСТИ ВТОРИЧНОГО
ОБОРУДОВАНИЯ И СИСТЕМ СВЯЗИ
ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ ОБЪЕКТОВ»**

СТО 56947007-29.240.044—2010.

**«МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО
ОБЕСПЕЧЕНИЮ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ
СОВМЕСТИМОСТИ НА ОБЪЕКТАХ
ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА»**

Москва

НТФ «Энергопрогресс», «Энергетик»

2010

29573

НЭГРЭС

**НАУЧНО-
ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА**

УДК 537.531

ББК 31.2

С 11

Главный редактор журнала «Энергетик» А. Ф. ДЬЯКОВ

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

«Библиотечки электротехника»

В. А. Семенов (*председатель*), И. И. Батюк (*зам. председателя*),
Б. А. Алексеев, К. М. Антипов, Г. А. Безчастнов, А. Н. Жулев,
В. А. Забегалов, В. Х. Ишкин, Ф. Л. Коган, В. И. Кочкарев,
Н. В. Лисицын, В. И. Пуляев, А. И. Таджибаев, Ю. В. Усачев

С 11 **СТО 56947007-29.240.043—2010; СТО 56947007-29.240.044—2010.** —
М.: НТФ «Энергопрогресс», 2010. — 170 с.: ил. [Библиотечка
электротехника, приложение к журналу «Энергетик», Вып. 9 — 10
(141 — 142)].

В брошюре опубликованы два новых стандарта организации:

СТО 56947007-29.240.043—2010 «Руководство по обеспечению электромагнитной совместимости вторичного оборудования и систем связи электросетевых объектов»;

СТО 56947007-29.240.044—2010 «Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства».

С вводом рассматриваемых документов отменяется РД 34.20.116—93 «Методические указания по защите вторичных цепей электрических станций и подстанций от импульсных помех».

ISSN 0013-7278

© НТФ «Энергопрогресс», «Энергетик», 2010

Предисловие разработчиков

За последние 15 лет в РФ была введена группа государственных стандартов ГОСТ Р 51317.4.X-X (МЭК 61000-X-X-X) по вопросам испытаний электрооборудования на помехоустойчивость к различным видам электромагнитных помех.

В настоящее время ГОСТ Р 51317.6.5–2006 (МЭК 61000-6-5–2001) «Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых на электростанциях и подстанциях. Требования и методы испытаний» вместе с группой стандартов ГОСТ Р 51317.4.X-X (МЭК 61000-4-X-X) «Совместимость технических средств электромагнитная. Требования и методы испытаний» применяются в обязательном порядке при аттестации оборудования в ОАО «ФСК ЕЭС» в соответствии с «Положением об аттестации оборудования и технологий в ОАО «ФСК ЕЭС».

В последние годы созданы стандарты организации для электросетевых объектов электроэнергетической отрасли в целях обеспечения помехоустойчивой работы вторичного оборудования, включающего в себя: устройства релейной защиты и электроавтоматики, противоаварийной автоматики; автоматизированные системы управления технологическими процессами, диспетчерского управления; системы сбора и передачи информации; автоматизированные информационно-измерительные системы коммерческого учета электроэнергии; противопожарные системы; системы охранной сигнализации и видеонаблюдения, оперативного постоянного тока, собственных нужд переменного тока напряжением 0,4 кВ, управления и сигнализации вспомогательного оборудования, диагностики силового оборудования; контрольные кабели.

Первым, введенным в 2004 г., был стандарт организации СО 34.35.311.2004 «Методические указания по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях», предназначенный для осуществления испытаний при сдаче объектов в эксплуатацию.

В стандарте организации СТО 56947007-29.240.10.028–2009 «Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35 – 750 кВ» предусмотрен раздел 5: «Защита от перенапряжений, заземление, электромагнитная совместимость», в котором даны указания по обеспечению электромагнитной совместимости (ЭМС) при проектировании новых и расширении, реконструкции, техническом перевооружении действующих объектов.

С апреля 2010 г. введены в действие два новых стандарта организации, публикуемые в выпуске 9 — 10 «Библиотечки электротехника» — приложения к журналу «Энергетик»:

СТО 56947007-29.240.043—2010 «Руководство по обеспечению электромагнитной совместимости вторичного оборудования и систем связи электросетевых объектов»;

СТО 56947007-29.240.044—2010 «Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства».

Публикуемые документы разработаны под руководством чл.-корр. РАН РФ, доктора техн. наук, проф. А. Ф. Дякова авторским коллективом: от МЭИ — Р. К. Борисов, Б. К. Максимов, от СО ЕЭС — А. В. Жуков, В. А. Фещенко, от НПФ ЭЛНАП — М. Н. Смирнов, Е. С. Колечицкий, Е. В. Коломиец.

С вводом рассматриваемых документов отменяется РД 34.20.116—93 «Методические указания по защите вторичных цепей электрических станций и подстанций от импульсных помех».

С введением новых СТО завершено формирование системы НТД по ЭМС, обеспечивающей выполнение условий надежной работы вторичного оборудования в сложной электромагнитной обстановке подстанций напряжением 35 — 750 кВ.



**СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ
ОАО «ФСК ЕЭС»**

СТО 56947007-29.240.043–2010

**РУКОВОДСТВО
ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ
ВТОРИЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ
И СИСТЕМ СВЯЗИ ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ
ОБЪЕКТОВ**

Дата введения: 21.04.2010

**ОАО «ФСК ЕЭС»
2010**

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», общие требования к построению, изложению, оформлению, содержанию и обозначению межгосударственных стандартов, правил и рекомендаций по межгосударственной стандартизации и изменений к ним — ГОСТ Р 1.5 – 2001, 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 Руководстве

1. *Разработано:* ООО «Научно-производственная фирма. Электротехника: наука и практика» (НПФ ЭЛНАП) при участии Московского энергетического института (МЭИ ТУ), ОАО «ФСК ЕЭС», ОАО «СО ЕЭС», ОАО «МОЭСК».

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

3. *Утверждено и введено в действие:* приказом ОАО «ФСК ЕЭС» от 21.04.10 № 265.

4. *Введено:* впервые.

Замечания и предложения по стандарту организации следует направлять в Дирекцию технического регулирования и экологии ОАО «ФСК ЕЭС» по адресу 117630, Москва, ул. Академика Челомея, д. 5а, электронной почтой по адресу: zhulev-an@fsk-ees.ru.

Настоящий стандарт организации не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения ОАО «ФСК ЕЭС».

ВВЕДЕНИЕ

«Руководство по обеспечению электромагнитной совместимости вторичного оборудования и систем связи электросетевых объектов» (далее — Руководство по обеспечению ЭМС) разработано с учетом «Положения о технической политике ОАО «ФСК ЕЭС», «Норм технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35 — 750 кВ» и других действующих нормативно-технических документов.

Руководство по обеспечению ЭМС содержит комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение устойчивой и надежной работы оборудования и устройств объектов ЕНЭС, а также объектов электроэнергетики, присоединяющихся к сетям ЕНЭС.

С вводом Руководства по обеспечению ЭМС и стандарта «Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства» отменяются «Методические указания по защите вторичных цепей электрических станций и подстанций от импульсных помех» (РД 34.20.116—93).

1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Настоящий стандарт устанавливает требования по обеспечению ЭМС при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов ЕНЭС, а также объектов электроэнергетики, присоединяющихся к сетям ЕНЭС.

Требования стандарта распространяются на системы релейной защиты и противоаварийной автоматики, автоматизированные системы управления технологическим процессом, автоматизированные информационно-измерительные системы коммерческого учета электроэнергии, автоматизированные системы диспетчерского управления, системы сбора и передачи информации, противопожарные системы, системы связи, видеонаблюдения и охранной сигнализации, системы оперативного постоянного и переменного тока объектов электросетевого хозяйства с высшим напряжением 35 — 750 кВ.

Настоящий стандарт обязателен к применению всеми организациями, участвующими в проектировании, строительстве, производстве монтажных и пусконаладочных работ при новом строительстве, комплексной реконструкции, замене/установке отдельных устройств вторичного оборудования и текущей эксплуатации объектов ЕНЭС, а также объектов электроэнергетики, присоединяющихся к сетям ЕНЭС.

2. НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

Настоящее Руководство по ЭМС разработано на основе следующей нормативно-технической документации.

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

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

2.3. ГОСТ Р 51317.6.2—99 (МЭК 61000-6-2-97). Совместимость технических средств электромагнитная. Помехоэмиссия от технических средств, применяемых в промышленных зонах. Нормы и методы испытаний.

2.4. ГОСТ 51317.6.5—2006 (МЭК 61000-6-5—2001). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых на электростанциях и подстанциях. Требования и методы испытаний.

2.5. ГОСТ Р 51318.22—99. Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи промышленные от оборудования информационных технологий. Нормы и методы испытаний.

2.6. ГОСТ Р 50932—96. Устойчивость оборудования проводной связи к электромагнитным помехам. Совместимость технических средств электромагнитная. Требования и методы испытаний.

2.7. ГОСТ Р 50799—95. Устойчивость технических средств радиосвязи к электростатическим разрядам, импульсным помехам и динамическим изменениям напряжения сети электропитания. Совместимость технических средств электромагнитная. Требования и методы испытаний.

2.8. ГОСТ Р 50628—93. Совместимость электромагнитная машин электронных вычислительных персональных. Устойчивость к электромагнитным помехам. Технические требования и методы испытаний.

2.9. ГОСТ Р 50745—95. Системы бесперебойного питания приемников переменного тока и устройства для подавления сетевых импульсных помех. Совместимость технических средств электромагнитная. Требования и методы испытаний.

2.10. ГОСТ Р 51179—98 (МЭК 870-2-1—95). Устройства и системы телемеханики. Ч. 2. Условия эксплуатации. Раздел 1. Источники питания и электромагнитная совместимость.

2.11. ГОСТ Р 50571.21—2000 (МЭК 60364-5-548—96). Электроустановки зданий. Ч. 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Раздел 548. Заземляющие устройства и системы уравнивания электрических потенциалов в электроустановках, содержащих оборудование обработки информации.

2.12. ГОСТ Р 50571.22—2000 (МЭК 60364-7-707—84). Требования к специальным электроустановкам. Заземление оборудования обработки информации.

2.13. ГОСТ Р 50571.19—2000 (МЭК 60364-4-443—95). Требования по обеспечению безопасности. Защита от перенапряжений. Защита электроустановок от грозовых и коммутационных перенапряжений.

2.14. ГОСТ Р 50571.20–2000 (МЭК 60364-4-444–96). Требования по обеспечению безопасности. Защита от перенапряжений. Защита электроустановок от перенапряжений, вызванных электромагнитными воздействиями.

2.15. ГОСТ 12.4.124–83. Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования.

2.16. ГОСТ 13109–97. Качество электрической энергии. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

2.17. Стандарт МЭК 62305. В 5 ч. Молниезащита. 2003.

2.18. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. Раздел 1.7. Заземление и защитные меры электробезопасности.

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

2.20. Общие технические требования к микропроцессорным устройствам защиты и автоматики энергосистем. РД 34.35.310–97 РАО «ЕЭС России».

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

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

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

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

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

2.26. Earthing of GIS. An application guide. (Заземление КРУЭ. Практическое руководство.) CIGRE. Group 23.10 // Elektra. 1993. № 151.

2.27. Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. РД 153-34.0-03.150–00.

2.28. СанПиН 2.2.4.1191–03. Физические факторы производственной среды. Электромагнитные поля в производственных условиях. М.: Минздрав России, 2003.

3. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Для целей настоящего Руководства использованы следующие термины с соответствующими определениями:

3.1. **Вторичное оборудование (технические средства)** — устройства релейной защиты и электроавтоматики, противоаварийной автоматики; автоматизированной системы управления технологическим процессом; автоматизированной системы диспетчерского управления; системы сбора и передачи информации; автоматизированной информационно-изме-

рительной системы коммерческого учета электроэнергии; противопожарной системы; охранной сигнализации; видеонаблюдения; системы оперативного постоянного тока; системы собственных нужд переменного тока 0,4 кВ; системы управления и сигнализации вспомогательного оборудования; системы диагностики силового оборудования и контрольные кабели.

3.2. **Заземляющее устройство (ЗУ)** — совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

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

3.4. **Заземляющий проводник** — проводник, соединяющий заземляемую часть (точку) с заземлителем.

3.5. **Излучаемая электромагнитная помеха** — электромагнитная помеха, распространяющаяся в пространстве.

3.6. **Степень (класс) жесткости** — соответствующий уровень испытательного электромагнитного воздействия.

3.7. **Кондуктивная электромагнитная помеха** — электромагнитная помеха, распространяющаяся в проводящей среде.

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

3.9. **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.

3.10. **Показатель качества электрической энергии** — величина, характеризующая качество электрической энергии по одному или нескольким ее параметрам.

3.11. **Техническое средство (ТС)** — электротехническое, электронное или радиотехническое изделие (оборудование, аппаратура или система), а также изделие (оборудование, аппаратура или система), содержащее электрические и(или) электронные компоненты (схемы).

3.12. **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.

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

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

3.15. *Электромагнитная обстановка (ЭМО)* — совокупность электромагнитных явлений, процессов в заданной области пространства, в частотном и временном диапазонах.

3.16. *Электромагнитная помеха* — электромагнитное явление или процесс, который ухудшает или может ухудшить качество функционирования ТС.

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

3.18. *Электромагнитное излучение* — явление или процесс, при котором электромагнитная энергия излучается источником помехи в пространство в виде электромагнитных волн.

3.19. *Электромагнитная эмиссия от источника помех* — генерирование источником помехи электромагнитной энергии.

4. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

4.1. Технические средства и контрольные кабели, размещенные на объекте, подвергаются электромагнитным воздействиям, возникающим при коротких замыканиях (КЗ), переключениях (коммутациях) первичного оборудования и во вторичных цепях, ударах молнии, работе устройств высокочастотной связи разного назначения и т.п.

4.2. На электросетевом объекте должна быть обеспечена ЭМО, при которой уровни электромагнитных воздействий всех видов не превышают допустимых значений для каждого конкретного ТС.

4.3. Создание требуемой ЭМО на электросетевом объекте обеспечивается выполнением комплекса организационных и технических мероприятий.

4.3.1. Организационные мероприятия для объектов нового строительства, комплексной реконструкции, расширения действующих объектов и при замене/установке отдельных устройств:

- принятие технических решений по обеспечению ЭМС в составе проектной документации на стадии проекта;
- применение сертифицированных ТС на помехоустойчивость в соответствии с ГОСТ 51317.6.5—2006 (МЭК 61000-6-5—2001) и назначением;
- 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 и пусконаладочных работ;
- проведение приемо-сдаточных испытаний в целях подтверждения достаточности выполненных мероприятий.

4.3.2. Организационные мероприятия для действующих объектов:

- проведение планового (периодического) контроля ЭМО при эксплуатации объекта;
- проведение внепланового контроля ЭМО при возникновении признаков ее ухудшения в межплановый контрольный период;

- выполнение ремонтных работ по устранению выявленных недостатков, не требующих разработки проектной документации;
- разработка, при необходимости, проектной документации по устранению выявленных недостатков, и выполнение работ в соответствии с проектом.

4.3.3. Для создания ЭМО, обеспечивающей соблюдение на объекте требований ЭМС, должны быть выполнены основные и дополнительные (при необходимости) технические мероприятия.

К основным техническим мероприятиям относятся технические решения по:

- заземляющему устройству;
- молниезащите;
- компоновке объекта (первичного, вторичного оборудования, молниесводов и др.);
- кабельной канализации (выбор типа кабельной канализации, трассы, раскладка кабелей в кабельных каналах);
- определению ЭМО и проверке обеспечения требований ЭМС с использованием методов и технических средств в соответствии с СО 34.35.311.2004.

Дополнительные технические мероприятия следует выполнить в случае невозможности достижения ЭМО, обеспечивающей требования ЭМС ТС, реализацией только основных технических мероприятий.

К дополнительным техническим мероприятиям относятся технические решения по:

- экранированию помещений, в которых установлены ТС;
- применению экранированных кабелей для подключения ТС;
- усилению заземляющего устройства (изменение шага сетки, замена материала заземляющего устройства);
- ограничению уровня эмиссии помех в источнике их возникновения.

Порядок применения основных и дополнительных технических мероприятий определен в разделе 5 настоящего Руководства.

5. ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТНЫМ РЕШЕНИЯМ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭМС

5.1. Общие требования

5.1.1. Разработка проектных решений по обеспечению ЭМС вторичного оборудования и систем связи должна быть выполнена в соответствии с «Нормами технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35 – 750 кВ» СТО 56947007-29.240.10.028–2009.

5.1.2. Для обеспечения ЭМС ТС при разработке проекта следует осуществить:

- сбор исходных данных в соответствии с табл. Б.1 (см. Приложение Б);
- 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;

- применение оборудования с более высоким уровнем помехоустойчивости.

5.1.3. Наибольший возможный уровень всех видов электромагнитных воздействий (с учетом погрешности расчетов и измерений) должен быть ниже уровня помехоустойчивости вторичного оборудования и систем связи.

5.2. Разработка проектных технических решений по обеспечению ЭМС

5.2.1. Разработка проектных технических решений по обеспечению допустимых уровней воздействий напряжений и токов промышленной частоты при коротких замыканиях на землю

5.2.1.1. Перечень исходных данных для выполнения расчетов приведен в Приложении Б (см. табл. Б.1 п. 1).

5.2.1.2. Расчет значений напряжений и токов, воздействующих на вторичное оборудование, системы связи и контрольные кабели, рекомендуется выполнять с помощью специальной компьютерной программы.

Расчеты должны быть проведены для следующих режимов:

- однофазного (двухфазного на землю) короткого замыкания на шинах подстанции;

- ближнего (в начале линии электропередачи, отходящей от подстанции) однофазного (двухфазного) короткого замыкания на землю;

- двойных замыканий на землю (в разных точках) в сети с изолированной нейтралью.

При проведении расчетов необходимо учитывать искусственные и естественные (оболочки, броня и экраны кабелей, трубопроводы, металлоконструкции, железобетонные фундаменты, грозозащитные тросы) заземлители и заземляющие проводники.

5.2.1.3. В качестве допустимых должны быть приняты значения испытательных напряжений для изоляции кабелей, ТС, а также значения токов в экранах, оболочках или броне кабелей по условиям термической стойкости.

5.2.1.4. Для снижения уровней воздействующих на ТС и кабели напряжений и токов до допустимых значений необходимо последовательно принять следующие технические решения:

- уменьшить шаг ячейки сетки заземляющего устройства в определенной зоне или на всей подстанции;

- проложить дополнительные заземляющие проводники от силового оборудования;

- установить дополнительные вертикальные заземлители по периметру сетки заземляющего устройства;

- применить для заземляющего устройства проводники из меди вместо стали;

- проложить вдоль кабельной трассы параллельные заземляющие проводники;
- изменить компоновку объекта (например, расположение здания ре-лейного щита);
- применить волоконно-оптические линии связи.

5.2.2. Разработка технических решений по обеспечению допустимых уровней импульсных помех, возникающих при коммутациях силового оборудования и КЗ в первичных цепях

5.2.2.1. Перечень исходных данных для выполнения расчетов приведен в Приложении Б (см. табл. Б.1 п. 2).

5.2.2.2. Расчет импульсных помех, возникающих при коммутациях и коротких замыканиях на землю, рекомендуется проводить с помощью специальной компьютерной программы.

Для определения импульсных токов, протекающих в первичных цепях и через заземляющее устройство, должен быть выполнен расчет переходных процессов при коммутациях силового оборудования и при коротких замыканиях на землю.

5.2.2.3. Для полученных значений импульсных токов и принятой в соответствии с п. 5.2.1 схемы заземляющего устройства должен быть выполнен расчет импульсных потенциалов на заземлении оборудования.

5.2.2.4. Для ограничения импульсных перенапряжений до допустимых значений рекомендуется поочередно применить следующие решения:

- проложить дополнительные заземляющие проводники;
- уменьшить шаг сетки заземлителя вблизи оборудования;
- использовать клеммники в шкафах наружной установки с усиленной изоляцией относительно земли.

5.2.2.5. Расчет уровней наведенных во вторичных кабелях импульсных помех выполнить для коммутаций выключателями, разъединителями и коротких замыканий в первичных цепях. Наибольшие расчетные значения импульсных помех сравнить с уровнями испытательных напряжений для вторичного оборудования.

5.2.2.6. Для ограничения импульсных перенапряжений до допустимых значений необходимо поочередно применять следующие технические решения:

- проложить кабельную трассу таким образом, чтобы она или большая ее часть проходила перпендикулярно (в плане) трассе ошиновки;
- применить экранированные кабели с заземлением экранов с двух сторон, обеспечив их термическую стойкость (для заземления экранов применяют разъемы или зажимы специального исполнения);
- выбрать тип кабельной канализации с более эффективным экранированием (специальные лотки и крышки с экранирующими свойствами, углубленные кабельные каналы, металлические короба);
- установить специальные устройства¹ (см. сноску на с. 16) защиты от импульсных перенапряжений (диоды, ограничители импульсных перенапряжений, разрядники, фильтры).

5.2.3. Разработка технических решений по обеспечению допустимых уровней импульсных помех от токов молнии

5.2.3.1. Перечень исходных данных для выполнения расчетов приведен в Приложении Б (см. табл. Б.1 п. 3).

5.2.3.2. Расчет распределения импульсных потенциалов по ЗУ при ударе молнии в молниеотводы и наведенных импульсных помех рекомендуется выполнить с помощью специальной компьютерной программы. Параметры тока молнии принимают в соответствии с «Инструкцией по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций» СО 153.34.21.122—2003.

5.2.3.3. Для снижения потенциалов на ЗУ до допустимых значений по условию обратного перекрытия изоляции вторичных кабелей или изоляции клеммников необходимо последовательно применить технические решения по уменьшению импульсного сопротивления молниеотводов:

- проложить дополнительные заземляющие проводники молниеотвода;
- уменьшить шаг ячейки сетки ЗУ в месте расположения молниеотводов;
- установить вертикальные заземлители в месте расположения молниеотводов;
- усилить изоляцию клеммников относительно земли в шкафах наружной установки;
- изменить расположение молниеотводов (или вынести молниеотводы за пределы ЗУ электросетевого объекта в соответствии с РД 153-34.3-35.125—99) (при этом обеспечивается защита от прямого удара молнии оборудования и зданий).

5.2.3.4. Для снижения уровней наведенных импульсных помех до допустимых значений необходимо последовательно применить следующие технические решения:

- удалить кабельную трассу от места установки молниеотводов;
- проложить экранированные кабели с заземлением экранов с двух сторон (для заземления экранов применяют разъемы или зажимы специального исполнения);
- выбрать тип кабельной канализации с более эффективным экранированием (в специальных лотках с экранирующими свойствами, в кабельных каналах или металлических коробах);
- изменить место размещения молниеотводов (при этом должна быть обеспечена защита от прямого удара молнии оборудования и зданий);
- установить специальные устройства¹ защиты от импульсных перенапряжений (диоды, ограничители импульсных перенапряжений, разрядники, фильтры).

¹ Применение специальных устройств по ограничению импульсных перенапряжений во вторичных цепях, как правило, не допускается и рекомендуется только как вынужденная мера в исключительных случаях, если выполненными основными и дополнительными мероприятиями необходимая ЭМО не обеспечена. Указанные специальные устройства устанавливаются на основании специальной разработки по согласованию с производителями вторичного оборудования и систем связи. Устанавливаемые устройства не должны влиять на полезный сигнал и снижать надежность работы вторичного оборудования. Должны быть даны указания по обслуживанию устройств в эксплуатации.

5.2.4. Разработка технических решений по обеспечению допустимых уровней магнитных полей промышленной частоты

5.2.4.1. Перечень исходных данных для выполнения расчетов приведен в Приложении Б (см. табл. Б.1 п. 4).

5.2.4.2. Сборные и соединительные шины, силовые кабели, реакторы, силовые трансформаторы, устройства компенсации реактивной мощности должны размещаться на таком расстоянии от вторичного оборудования, чтобы напряженность магнитного поля в месте размещения вторичного оборудования и устройств связи не превышала уровень устойчивости к магнитному полю этого оборудования.

Допустимое расстояние от источника магнитных полей до вторичного оборудования определяют на основании расчетов с помощью компьютерной программы.

5.2.4.3. Дополнительно, для снижения напряженности магнитного поля до допустимого уровня, рекомендуется применить экранирование источников магнитных полей или вторичного оборудования и кабелей (или применить кабели менее чувствительные к низкочастотным электромагнитным полям, например витую пару). Выбор материала и конструкции экрана определяют расчетом.

5.2.5. Разработка проектных решений по защите от электромагнитных полей радиочастотного диапазона

5.2.5.1. Перечень исходных данных для оценки напряженности электромагнитных полей радиочастотного диапазона приведен в Приложении Б (см. табл. Б.1 п. 5). Методы расчетов даны в [1, 3] (см. Приложение А).

5.2.5.2. Для снижения напряженности электромагнитных полей до допустимого уровня следует применить дополнительное экранирование помещений/зданий, в которых размещается вторичное оборудование.

5.2.5.3. Для стационарных устройств связи, устанавливаемых на объекте, необходимо выбирать их место расположения (на основании расчетов) таким образом, чтобы уровень напряженности электромагнитного поля в месте размещения вторичного оборудования не превышал допустимых значений.

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

5.2.6. Разработка технических решений по обеспечению допустимых уровней импульсных магнитных полей

5.2.6.1. Источниками импульсных магнитных полей являются: ток молнии при ударе в молниеотводы и импульсные токи в шинах первичных цепей распределительных устройств, протекающие при коммутациях силового оборудования и КЗ.

5.2.6.2. Перечень исходных данных для выполнения расчетов приведен в Приложении Б (см. табл. Б.1 п. 6).

5.2.6.3. Расчет напряженности импульсных магнитных полей рекомендуется выполнять с помощью компьютерной программы.

5.2.6.4. При превышении напряженности импульсных магнитных полей допустимых значений необходимо последовательно применить следующие технические решения:

- изменить компоновку электросетевого объекта с увеличением расстояния между источниками импульсных магнитных полей и вторичным оборудованием и оборудованием связи;
- установить дополнительные искусственные экраны.

5.2.7. Разработка технических решений по защите от разрядов статического электричества

5.2.7.1. Перечень исходных данных для выполнения расчетов приведен в Приложении Б (см. табл. Б.1 п. 7). Методы расчетов даны в [1] (см. Приложение А).

5.2.7.2. Для защиты от разрядов статического электричества следует применять антистатические напольные покрытия.

5.2.7.3. При выборе мероприятий по защите от разрядов статического электричества следует руководствоваться требованиями ГОСТ 12.4.124–83.

5.2.8. Разработка технических решений по защите от наносекундных импульсных помех

5.2.8.1. Перечень исходных данных для разработки технических решений по защите от наносекундных импульсных помех приведен в Приложении Б (см. табл. Б.1 п. 8).

5.2.8.2. Для защиты от наносекундных импульсных помех необходимо поочередно применить следующие технические решения:

- питание электромеханических устройств и микропроцессорных устройств осуществить по отдельным фидерам;
- использовать защитные устройства в источнике помех (RC-цепочки, диоды, варисторы);
- использовать экранированные кабели.

5.2.9. Разработка проектных решений по обеспечению качества электропитания постоянным током вторичного оборудования

5.2.9.1. Перечень исходных данных для разработки технических решений по обеспечению качества электропитания постоянным током приведен в Приложении Б (см. табл. Б.1 п. 9).

5.2.9.2. Для обеспечения требуемого качества электропитания оперативным постоянным током необходимо применить следующие технические решения:

- выбрать зарядные устройства и коммутационное оборудование для сетей оперативного постоянного тока с учетом нормируемых параметров;
- питание ТС и силовых аппаратов осуществить по разным фидерам;
- применить в сети оперативного постоянного тока экранированные кабели, если при использовании неэкранированных кабелей расчетный уровень наведенных импульсных помех превышает допустимые значения.

5.2.10. Разработка проектных решений по обеспечению качества электропитания переменным током вторичного оборудования

5.2.10.1. Перечень исходных данных для разработки технических решений по обеспечению качества электропитания переменным током приведен в Приложении Б (см. табл. Б.1 п. 10).

5.2.10.2. Нормируемыми параметрами для системы переменного тока являются:

- уровень гармоник и интергармоник, сигналов систем телеуправления и сигнализации в напряжении сети переменного тока;
- размах колебания напряжения;
- динамические изменения напряжения;
- отклонение частоты.

Вместе с нормируемыми параметрами применяют также показатели качества электроэнергии, определяемые по ГОСТ 13109–97.

5.2.10.3. Для обеспечения требуемого качества электропитания переменным током необходимо применить следующие технические решения:

- для *уменьшения отклонения напряжения от номинального значения*: применить регулирование напряжения путем переключения на соответствующее ответвление трансформатора собственных нужд и увеличение сечения проводников;
- для *уменьшения коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения*: выделить нелинейные нагрузки на отдельную систему шин; использовать фильтровые устройства; применить специальное оборудование («ненасыщающиеся» трансформаторы, многофазные преобразователи с улучшенными энергетическими показателями);
- для *снижения размахов колебания напряжения*: установить быстродействующие источники реактивной мощности; разделить нагрузку (с помощью двоянных реакторов, трансформаторов с расщепленной обмоткой и т.д.);
- для *снижения коэффициента несимметрии по обратной или нулевой последовательности*: осуществить симметричное распределение однофазных нагрузок между фазами; применить симметрирующие устройства или схемы симметрирования;
- для *исключения провалов и прерывания напряжения* применить системы бесперебойного электропитания на базе ИБП;
- для *защиты от импульсных перенапряжений* установить специальные устройства (диоды, ограничители импульсных перенапряжений, разрядники, фильтры);
- применить систему электропитания TN-S.

5.2.11. Разработка технических решений по защите от кондуктивных помех

5.2.11.1. При выборе технических решений для снижения уровня кондуктивных помех следует руководствоваться требованиями ГОСТ Р 50571.20–2000.

5.2.11.2. Перечень исходных данных для разработки технических решений по защите от кондуктивных помех приведен в Приложении Б (см. табл. Б.1 п. 11).

5.2.11.3. Для снижения уровня кондуктивных помех от внешних электромагнитных полей следует применять экранированные кабели.

5.2.11.4. Для защиты от взаимного влияния цепей различного назначения необходимо применить следующие технические решения:

- исключить использование для передачи одного сигнала жил разных контрольных кабелей;

- силовые и контрольные кабели, прокладываемые в одном кабельном канале, расположить на расстоянии не менее 0,25 м друг от друга (допустимое расстояние определяют расчетом по методике [6] — см. Приложение А);

- силовые и контрольные кабели вторичного оборудования проложить в разных кабельных каналах (лотках). В одном контрольном кабеле не допускается прокладывать цепи, по которым передают сигналы различных типов.

6. ТРЕБОВАНИЯ К АВТОРСКОМУ НАДЗОРУ, ПРИЕМО-СДАТОЧНЫМ ИСПЫТАНИЯМ И КОНТРОЛЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

6.1. Проведение авторского надзора

6.1.1. Авторский надзор осуществляется проектной организацией непосредственно на объекте строительства.

6.1.2. При проведении авторского надзора на этапе строительства необходимо осуществить контроль:

- соответствия выполненного состава и объема строительно-монтажных работ проектной документации;
- качества реализации технических решений, принятых в проекте;
- соответствия уровней всех возможных электромагнитных воздействий на объекте допустимым значениям (степени жесткости² испытаний ТС на помехоустойчивость).

6.1.3. Если при проведении авторского надзора выявлены отклонения от проектных решений, то проектной организацией составляется Акт с указанием установленных дефектов и направляется Заказчику строительства для принятия необходимых мер.

6.2. Прием-сдаточные испытания

6.2.1. Прием-сдаточные испытания проводят на этапах строительства, монтажа и выполнения пусконаладочных работ на объекте.

6.2.2. При проведении прием-сдаточных испытаний осуществляют проверку заземляющего устройства и обеспечения требований ЭМСТС.

Состояние заземляющего устройства определяют с применением методов и технических средств в соответствии с «Методическими указания-

² Степень жесткости должна быть указана в технической документации на ТС.

ми по проверке состояния заземляющих устройств электроустановок (РД 153-34.0-20.525—00)».

По результатам проверки состояния заземляющего устройства необходимо оформить соответствующие Протоколы и составить Паспорт ЗУ.

6.2.3. Проверку эффективности технических решений по обеспечению ЭМС ТС проводят в соответствии с «Методическими указаниями по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях» (СО 34.35.311.2004).

По результатам проверки ЭМС необходимо составить соответствующие Протоколы и Заключение о выполнении требований ЭМС для вторичного оборудования и систем связи по всем видам электромагнитных воздействий.

6.2.4. Если при проведении проверок по пп. 6.2.2 и 6.2.3 выявлено невыполнение требований ЭМС, то необходимо разработать и реализовать дополнительные технические решения по обеспечению ЭМС вторичного оборудования и систем связи и внести соответствующие изменения в проектную документацию.

6.3. Требования к обеспечению ЭМС при эксплуатации

6.3.1. В процессе эксплуатации оборудования на действующих объектах ЕНЭС должна проводиться периодическая проверка выполнения условий обеспечения ЭМС.

6.3.2. Проверку электромагнитной обстановки и совместимости при эксплуатации объекта необходимо проводить:

- планово, с периодичностью не реже 1 раза в 12 лет;
- внепланово, в случаях выявления нарушений: неправильная или неустойчивая работа ТС, повреждение вторичного оборудования, устройств связи и т.д.

6.3.3. Определение электромагнитной обстановки и совместимости вторичного оборудования и систем связи при эксплуатации объекта проводят в соответствии с СО 34.35.311.2004. Результаты проверки отражают в Протоколах установленной формы, а также в Паспортах на заземляющее устройство и молниезащиту объекта.

6.3.4. По результатам проверки электромагнитной обстановки:

- составляют заключение о выполнении условий ЭМС для вторичного оборудования и систем связи;
- устраняют выявленные дефекты;
- разрабатывают и реализуют дополнительные технические решения для устранения обнаруженных недостатков (при необходимости заказывается проект).

После устранения выявленных дефектов или реализации дополнительных технических решений проводят повторную проверку электромагнитной обстановки для определения достаточности выполненных мероприятий.

7. ТРЕБОВАНИЯ К ПЕРСОНАЛУ, ПРОВОДЯЩЕМУ РАБОТЫ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭМС ВТОРИЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И СИСТЕМ СВЯЗИ ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ ОБЪЕКТОВ

7.1. Работы по обеспечению ЭМС должен выполнять персонал специализированных и проектных организаций, испытательных лабораторий, строительно-монтажных и наладочных организаций, эксплуатирующих организаций:

- прошедший профессиональную подготовку, соответствующую характеру выполняемой работы;
- имеющий право на выполнение работ на объектах ОАО «ФСК ЕЭС»;
- оснащенный необходимыми техническими средствами³ и специальными компьютерными программами⁴, применяемыми для определения ЭМО.

7.2. Профессиональная подготовка персонала, повышение его квалификации, проверка знаний и инструктажи проводятся в соответствии с требованиями государственных и отраслевых нормативных правовых актов по организации работы с персоналом, охраны труда и безопасной работе персонала.

³ Технические средства должны иметь «Сертификат об утверждении типа средств измерений» Госстандарта России и быть аттестованными для применения на объектах ОАО «ФСК ЕЭС» в установленном порядке.

⁴ Компьютерные программы должны быть зарегистрированы в Роспатенте РФ и аттестованы в ОАО «ФСК ЕЭС» в установленном порядке.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. **Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электро-технике** / А. Ф. Дьяков, Б. К. Максимов, Р. К. Борисов и др.; под ред. А. Ф. Дьякова. М.: Энергоатомиздат, 2003.
2. **Хабигер Э.** Электромагнитная совместимость. Основы ее обеспечения в технике: Пер. с нем. И. П. Кужекина / 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. **Кармашев В. С.** Электромагнитная совместимость технических средств: Справочник. М.: Норт, 2001.
5. **Уильямс 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 «Энергосервис», 1998.
8. **Рекомендации МККТ. К 27.** Красная книга.

Таблица Б.1. Исходные данные для расчета уровней электромагнитных воздействий

№ п/п	Электромагнитное воздействие	При новом строительстве	При техническом перевооружении	При текущей эксплуатации
1	Напряжения промышленной частоты при КЗ на землю	1. Характеристики электрической структуры грунта. 2. Компоновка объекта с трассами прокладки кабелей вторичных цепей. 3. Расчетные значения токов однофазного КЗ (двухфазного на землю) на каждом из РУ 110 кВ и выше и токов двухфазного КЗ на РУ 6 – 35 кВ. Значения токов принимают с учетом перспективы развития энергосистемы. 4. Проектное решение по конструктивному выполнению ЗУ в соответствии с гл. 1.7 ПУЭ по условию обеспечения электробезопасности	1. Характеристики электрической структуры грунта. 2. Компоновка объекта с трассами прокладки кабелей вторичных цепей. 3. Расчетные значения токов однофазного КЗ (двухфазного на землю) на каждом из РУ 110 кВ и выше и токов двухфазного КЗ на РУ 6 – 35 кВ. Значения токов принимают с учетом перспективы развития энергосистемы. 4. Исполнительная схема ЗУ	1. Характеристики электрической структуры грунта. 2. Компоновка объекта, трассы прокладки кабелей вторичных цепей. 3. Расчетные значения токов однофазного КЗ (двухфазного на землю) на каждом из РУ 110 кВ и выше и токов двухфазного КЗ на РУ 6 – 35 кВ. Значения токов принимают с учетом перспективы развития энергосистемы на 10 лет. 4. Исполнительная схема ЗУ
2	Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне	1. Характеристики электрической структуры грунта. 2. Электрическая оперативная схема. 3. Первоначально принятое проектное решение по размещению первичного оборудования, выбору трассы прокладки кабелей и типу кабельной канализации. 4. Характеристики первичного оборудования. 5. Схема ЗУ по п. 5.2.1	1. Характеристики электрической структуры грунта. 2. Электрическая оперативная схема. 3. План размещения первичного оборудования, трассы прокладки кабелей и тип кабельной канализации. 4. Характеристики первичного оборудования. 5. Исполнительная схема ЗУ	1. Результаты измерений импульсных помех при коммутациях силового оборудования. 2. Характеристики электрической структуры грунта. 3. Электрическая оперативная схема. 4. План размещения первичного оборудования, трассы прокладки кабелей и тип кабельной канализации. 5. Характеристики первичного оборудования. 6. Исполнительная схема ЗУ

3	Импульсные помехи от токов молний	1. Характеристики электрической структуры грунта. 2. План размещения молниезащитных устройств, сооружений, открытых распределительных устройств в масштабе с указанием их высот. Планы и вертикальные разрезы (высоты) зданий и сооружений и их типы (железобетонные, кирпичные и т. п.). 3. Трассы коммуникаций (трубопроводы, силовые кабели, кабели цепей вторичной коммутации и т. п.) с указанием способа их прокладки (в кабельных лотках, тоннелях, по надземным эстакадам, непосредственно в земле и т. п.). 4. Схема ЗУ по п. 5.2.1	1. Характеристики электрической структуры грунта. 2. План размещения молниезащитных устройств, сооружений, открытых распределительных устройств в масштабе с указанием их высот. Планы и вертикальные разрезы (высоты) зданий и сооружений и их типы (железобетонные, кирпичные и т. п.). 3. Трассы коммуникаций (трубопроводы, силовые кабели, кабели цепей вторичной коммутации и т. п.) с указанием способа их прокладки (в кабельных лотках, тоннелях, по надземным эстакадам, непосредственно в земле и т. п.). 4. Исполнительная схема ЗУ	1. Характеристики электрической структуры грунта. 2. План размещения молниезащитных устройств, сооружений, открытых распределительных устройств в масштабе с указанием их высот. Планы и вертикальные разрезы (высоты) зданий и сооружений и их типы (железобетонные, кирпичные и т. п.). 3. Трассы коммуникаций (трубопроводы, силовые кабели, кабели цепей вторичной коммутации и т. п.) с указанием способа их прокладки (в кабельных лотках, тоннелях, по надземным эстакадам, непосредственно в земле и т. п.). 4. Исполнительная схема ЗУ
4	Магнитные поля промышленной частоты	1. Компоновка объекта (размещение силового оборудования и первичных цепей по отношению к вторичному оборудованию). 2. Наибольшие значения токов в первичных цепях при нормальном режиме и при коротких замыканиях	1. Компоновка объекта (размещение силового оборудования и первичных цепей по отношению к вторичному оборудованию). 2. Наибольшие значения токов в первичных цепях при нормальном режиме и при коротких замыканиях	1. Результаты измерений напряженности магнитного поля в местах размещения вторичного оборудования и систем связи. 2. Компоновка объекта (размещение силового оборудования и первичных цепей по отношению к вторичному оборудованию). 3. Наибольшие значения токов в первичных цепях при нормальном режиме и при коротких замыканиях

Таблица Б.1. (Окончание)

№ п/п	Электромагнитное воздействие	При новом строительстве	При техническом перевооружении	При текущей эксплуатации
5	Электромагнитные поля радиочастотного диапазона	1. Результаты измерений напряженности электромагнитного поля от внешних источников при проведении предпроектных изысканий. 2. Характеристики и место размещения применяемых на объекте радиопередаточных устройств связи. 3. Данные о естественных экранах: конструкции зданий и сооружений (железобетонные, кирпичные) и шкафов, в которых размещается вторичное оборудование	1. Результаты измерений напряженности электромагнитного поля в местах размещения вторичного оборудования и систем связи при проведении предпроектных изысканий	1. Результаты измерений напряженности электромагнитного поля в местах размещения вторичного оборудования и систем связи при проведении предпроектных изысканий
6	Импульсные магнитные поля	1. Компонировка объекта (размещение молниевыводов, силового оборудования и первичных цепей по отношению к вторичному оборудованию). 2. Данные о естественных экранах: конструкции зданий и сооружений (железобетонные, кирпичные) и шкафов, в которых размещается вторичное оборудование	1. Компонировка объекта (размещение молниевыводов, силового оборудования и первичных цепей по отношению к вторичному оборудованию). 2. Данные о естественных экранах: конструкции зданий и сооружений (железобетонные, кирпичные) и шкафов, в которых размещается вторичное оборудование	1. Компонировка объекта (размещение молниевыводов, силового оборудования и первичных цепей по отношению к вторичному оборудованию). 2. Данные о естественных экранах: конструкции зданий и сооружений (железобетонные, кирпичные) и шкафов, в которых размещается вторичное оборудование
7	Разряды статического электричества	1. Данные о типе напольного покрытия в местах установки вторичного оборудования и устройств связи	1. Результаты измерений при проведении предпроектных изысканий. 2. Данные о типе напольного покрытия в местах установки вторичного оборудования и устройств связи	1. Результаты измерений при проведении обследования ЭМО. 2. Данные о типе напольного покрытия

8	Наносекундные импульсные помехи от электромагнитных устройств	Место размещения и тип электромагнитных устройств	Результаты измерений при проведении предпроектных изысканий	Результаты измерений при проведении обследования ЭМО
9	Качество электропитания постоянным током	1. Электрическая схема. 2. Характеристики оборудования	Результаты измерений при проведении предпроектных изысканий	Результаты измерений при проведении обследования ЭМО
10	Качество электропитания переменным током	1. Электрическая схема. 2. Характеристики оборудования	Результаты измерений при проведении предпроектных изысканий	Результаты измерений при проведении обследования ЭМО
11	Кондуктивные помехи	1. Компонировка объекта. 2. Тип кабелей и кабельной канализации. 3. Кабельная трасса. 4. Данные о напряженности электромагнитного поля радиочастотного диапазона	Результаты измерений при проведении предпроектных изысканий	Результаты измерений при проведении обследования ЭМО

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КОМПЬЮТЕРНЫМ ПРОГРАММАМ ДЛЯ РАСЧЕТА УРОВНЕЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

1. Расчет напряжений и токов промышленной частоты, действующих на вторичное оборудование

С помощью компьютерных программ выполняют расчет переходных процессов в разветвленной трехмерной 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 растеканию тока заземляющего устройства (напряжение на ЗУ);
- напряжение, действующее на вторичные кабели и оборудование;
- токи в экранах, броне и оболочках кабелей.

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

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

С помощью компьютерных 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 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.

3. Расчет магнитных полей

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

- шин первичных цепей;
- реакторов, трансформаторов;
- проводников различного назначения;
- молниеотводов.



**СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ
ОАО «ФСК ЕЭС»**

СТО 56947007-29.240.044–2010

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ
НА ОБЪЕКТАХ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО
ХОЗЯЙСТВА**

Дата введения: 21.04.2010

ОАО «ФСК ЕЭС»

2010

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 21.04.10 № 265.

4. *Введен взамен:* РД 34.20.116–93 «Методические указания по защите вторичных цепей электрических станций и подстанций от импульсных помех».

Замечания и предложения по стандарту организации следует направлять в Дирекцию технического регулирования и экологии ОАО «ФСК ЕЭС» по адресу 117630, Москва, ул. Академика Челомея, д. 5а, электронной почтой по адресу: zhulev-an@fsk-ees.ru.

Настоящий стандарт организации не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения ОАО «ФСК ЕЭС».

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 напряжений 6 – 750 кВ.

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 0,4 кВ 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 промышленные 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.
- Ч. 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 ч. Молниезащита. 2003.
- 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. 7-е изд. 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 в системах электроснабжения общего назначения.
- Методические указания по ограничению высокочастотных коммутационных перенапряжений и защите от них электротехнического оборудования в распределительных устройствах 110 кВ и выше. М: СПО ОРГРЭС, 1998.
- Earthing of GIS. An application guide. (Заземление КРУЭ. Практическое руководство.) CIGRE. Group 23.10 // Elektra. 1993. № 151.
- РД 153-34.0-03.150—00. Межотраслевые правила (правила техники безопасности) по охране труда при эксплуатации электроустановок.
- СанПиН 2.2.4.1191 — 03. Физические факторы производственной среды. Электромагнитные поля в производственных условиях. Минздрав России. 2003.

3. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Вторичное оборудование, системы связи, кабели вторичных цепей на протяжении всего срока службы подвергаются электромагнитным воз-

действиям разного вида. Невыполнение условий ЭМС приводит к повреждению вторичного оборудования, неправильным действиям (отказам, излишним или ложным срабатываниям) устройств РЗА, перекрытию изоляции кабелей вторичных цепей и клемм шкафов вторичных цепей, сбоем в работе автоматизированных рабочих мест персонала и т. д., что 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.

Электромагнитная совместимость вторичного оборудования и систем связи достигается при:

- применении вторичного оборудования с высоким уровнем помехозащищенности;
- применении первичного и вторичного оборудования с ограниченным уровнем эмиссии электромагнитных воздействий;
- выполнением 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 допустимых для каждого конкретного устройства значений.

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; автоматизированная система управления технологическим процессом; автоматизирован-

ная система диспетчерского управления; система сбора и передачи информации; автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учета электроэнергии; противопожарная система; охранная сигнализация; видеонаблюдение; системы оперативного постоянного тока; системы собственных нужд напряжением 0,4 кВ переменного тока; системы управления и сигнализации вспомогательного оборудования; системы 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 (РЕ-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.

Пулсации 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.

Сопrotивление 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 (ЭМО) — совокупность электромагнитных явлений, процессов в заданной области пространства, в частотном и временном диапазонах.

Электромагнитная помеха — электромагнитное явление или 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 или процесс, при котором электромагнитная энергия излучается источником помехи в пространство в виде электромагнитных волн.

5. 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, в число которых входят:

- 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 в целях 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;
- сбора и передачи информации;
- автоматизированной системы контроля, учета и управления электропотреблением;
- противопожарной системы;
- охранной сигнализации;
- видеонаблюдения;
- оперативного постоянного тока;
- электроснабжения переменным током на напряжении 0,4 кВ;
- 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 строящаяся подстанция;
- полная реконструкция (техпереворужение) подстанции с заменой первичного и вторичного оборудования;
- поэтапная реконструкция (техпереворужение) подстанции с заменой части первичного и вторичного оборудования;
- частичная реконструкция (техпереворужение) подстанции с заменой отдельных систем;
- замена или установка новых отдельных систем; замена или установка новых устройств РЗА, связи и др.

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 вторичных цепей;
- 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 вторичных цепей 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 проекти-

рования 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 приняты меры 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 ме-

роприятия 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 компоновки 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 ближайшем 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 наиболь-

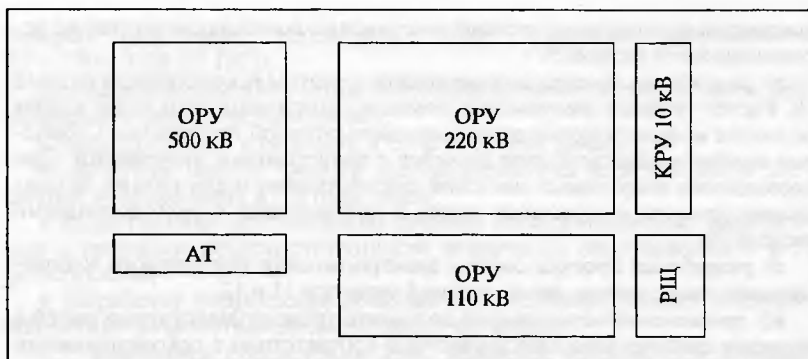


Рис. 1. Пример неудачной компоновки

шее значение (например, при КЗ на ОРУ 110 кВ 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 увеличить затраты на выравнивание потенциалов на ЗУ на всей территории подстанции по сравнению с компоновкой на рис. 2.

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

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.

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 эффективным мероприятием по снижению уровней электромагнитных полей является удаление силового оборудования от вторичного оборудования, реализовать которое 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.

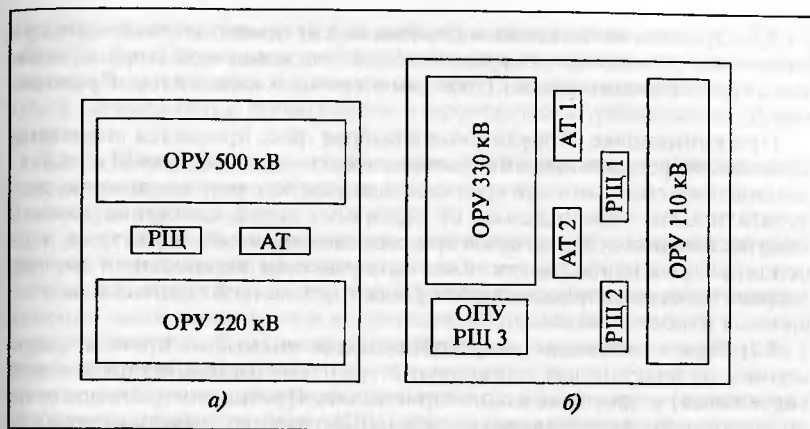


Рис. 2. Примеры рекомендуемой компоновки

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 – 5 кА) допустимое расстояние до помещений, в которых расположены вторичное оборудование и устройства связи, составляет (см. Приложение В):

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

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

Точные расчеты напряженности магнитного поля проводят с помощью компьютерной программы (см. 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 кабельных трасс 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 порталные) 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 грозových 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 размещения вблизи РЩ (ОПУ/ГЩУ) антенных мачт 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 должны удовлетворять требованиям электробезопасности и ЭМС. Электробезопасность, характеризующую предельно допустимыми значениями напряжения прикосновения, обес-

печивают 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 строящихся;
- при полной реконструкции (техпереворужении) с заменой первичного и вторичного оборудования;
- при поэтапной реконструкции (техпереворужении) подстанции с заменой части первичного и вторичного оборудования;
- при частичной реконструкции (техпереворужении) 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 или объекта 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 или 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 установке новых отдельных систем либо 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 учетом 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 нейтраль Т/АТ и ЭС через заземляющее устройство и непосредственно через землю.

Суммарное распределение потенциалов (рис. 4) по ЗУ получают по принципу наложения как сумму распределения токов КЗ от Т/АТ и от 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, какое имеет место 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 5 кВ (см. гл. 1.7 ПУЭ). Если напряжение

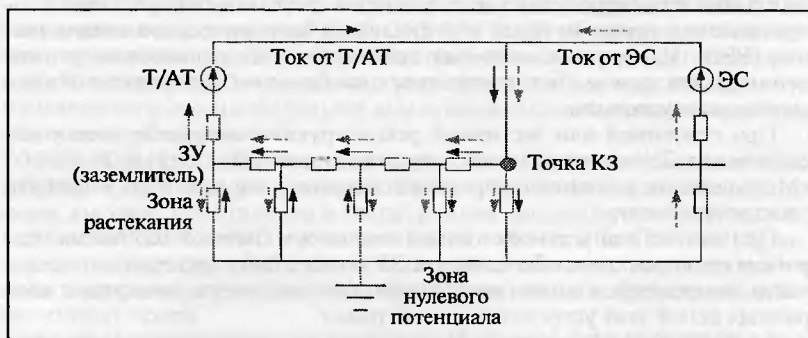


Рис. 3. Схема растекания тока при КЗ на землю



Рис. 4. Распределение потенциалов на заземляющем устройстве:
 — — суммарное; — · — от тока Т/АТ; — — — от тока ЭС

на ЗУ выше 5 кВ, 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 2 кВ.

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 КЗ и токов в нейтральных силовых трансформаторов;
- места заземления нейтралей трансформаторов.

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

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

- однофазного (двухфазного) КЗ на землю;
- ближнего внешнего КЗ 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, грозозащитные тросы) элементы заземляющего устройства.

В результате расчетов необходимо 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 следует провести расчет напряжений прикосновения.

8.2.1.6. При значении напряжения на ЗУ выше 5 кВ должны быть разработаны технические решения и приняты меры 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 с помощью выносного заземлителя, 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 2 кВ, то необходимо разработать технические решения и принять меры по выравниванию потенциалов на ЗУ.

Для снижения потенциала на ЗУ оборудования (включая место заземления АТ/Т) следует выполнить соединения с сеткой заземлителей дополнительными параллельными заземляющими проводниками, увеличить сечение заземляющих проводников, уменьшить шаг сетки заземлителей вблизи оборудования или применить 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. Дополнительные параллельные заземляющие проводники следует прокладывать в кабельных каналах. При наличии нескольких ОРУ следует увеличить количество связей по заземлениям между ОРУ.

После выполнения указанных мероприятий необходимо произвести расчет повторно.

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 КЗ 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 напряжения типовых клеммных зажимов — не менее 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.

8.2.2.2. Расчет значений импульсных помех, возникающих из-за подъема потенциалов на заземлении оборудования при коммутациях и КЗ 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. Для приближенных расчетов могут быть взяты значения из табл. 1 и 2, где:

$U_{\text{ном}}$ — номинальное напряжение первичных цепей;

$I_{\text{ВЧ}}$ — наибольшее значение ВЧ-составляющей тока КЗ;

$f_{\text{осн}}$ — основная частота колебаний импульсного тока.

Далее необходимо выполнить расчет потенциала на оборудовании — потенциала в месте ввода тока. При расчете помехи в измерительных цепях, заземление которых выполнено в клеммном шкафу, установленном отдельно (не на стойках оборудования или порталах), следует дополнительно определить потенциал в месте установки такого клеммного шкафа.

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

8.2.2.3. Для определения импульсной помехи, передающейся на входы устройств вторичного оборудования, значение потенциала на ЗУ оборудования (или потенциала на ЗУ клеммного шкафа — для соответствующих цепей) необходимо разделить на коэффициент ослабления.

Таблица 1. Параметры ВЧ-составляющей тока КЗ (для ОРУ)

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

Таблица 2. Параметры ВЧ-составляющей тока КЗ (для КРУЭ)

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

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

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

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

8.2.2.5. 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, железобетонную арматуру, 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 четырех 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, пульта 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 четырех 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 четырех точках.

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 мм².

Заземляющий проводник присоединяют с одной стороны к главной заземляющей шине вводного распределительного устройства здания (щита собственных нужд), гальванически связанной с глухозаземленной 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 ее корпус должны быть соединены шлейфом с шиной заземления аппаратной.

Система заземления электрических сетей переменного тока 0,38 кВ в помещении аппаратной должна удовлетворять требованиям TN-S системы, т.е. не допускается применение объединенного 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 уравнивания потенциалов.

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

8.4.3. Для заземления оборудования КРУЭ от ВЧ-сетки должны быть предусмотрены выводы, не менее двух для каждого присоединения КРУЭ. Все оборудование КРУЭ следует объединить замкнутой шиной.

Корпус элегазового оборудования должен быть присоединен к сети заземления у основания каждой опоры (кронштейна). Данные соединения выполняют с помощью не менее двух проводников.

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

8.5. Заземление шкафов и панелей

8.5.1. Для выполнения системы заземления внутри шкафа или шкафа на релейном щите необходимо 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 присоединя-

ются все корпуса устройств и отдельные крепежные элементы (например, DIN-рейки).

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

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

Присоединение к системе уравнивания потенциалов помещения осуществляется с помощью сварки или болтового соединения (следует предусмотреть оба варианта). Должно быть не менее четырех 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 (вторичные цепи);
- кабели связи;
- кабели для питания постоянным и переменным током электроприборов силового оборудования;
- силовые кабели 6 — 500 кВ;
- 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, возможна прокладка кабеля непосредственно 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.

9.1.3. 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).

9.1.4. 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 тоннелях. Наибольший эффект экранирования достигается при прокладке кабелей ниже заземлителей.

9.1.5. Проектное решение по кабельной канализации (трасса прокладки, тип кабельной канализации, тип кабелей) должно быть разработано 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 техническом перевооружении используют существующую кабельную канализацию, то выполнение условий ЭМС должно быть проверено 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 с помощью емкостей оборудования на землю и ошиновки, а также вторичные кабели, проложенные по кабельным трассам от силового оборудования до релейного щита или другого помещения со вторичным оборудованием.

Таблица 3. Коэффициенты экранирования кабелей и кабельных конструкций

Кабельная конструкция	Минимальный коэффициент экранирования, отн. ед.
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

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 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 четырех-пяти 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 табл. 3. Более точные значения с учетом частотных характеристик импульсных токов в первичных цепях можно получить по зависимостям, приведенным в Приложении 3, или расчетом.

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 технического перевооружения 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) и тем самым проверить 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:

1) 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;

2) удаление от ошиновки РУ:

- размещение ниже поверхности земли (в кабельных каналах);
- увеличение расстояния (в плане) между отдельными участками кабельной трассы и параллельными 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);

3) 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. Устройства по ограничению импульсных перенапряжений во вторичных цепях устанавливаются в исключительных случаях. Выбор таких устройств и решение об их применении должны быть осуществлены

на основании специальных расчетов. 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:

0,25 м — до силовых кабелей 0,4 кВ, ток КЗ в которых не превышает 1 кА, 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 300 А/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 300 кВ/м, а в воздухе — 500 кВ/м ([12], Приложение А). Напряженность электрического пробоя по поверхности земли принимают 100 кВ/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 15 кВ/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 опре-

Таблица 4. Параметры тока положительной молнии

Параметр	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

Параметр	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

деляется расчетом с помощью компьютерной программы (см. Приложение Г). Для вторичных цепей, которые не заземляются на РУ, импульсный потенциал не должен превышать 10 кВ. 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 табл. 4 и 5.

Для электросетевых объектов в соответствии с СО 153-34.21.122–2003 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 (технического перевооружения) электросетевого объекта на этапе предпроектных изысканий должна быть определена исполнительная схема заземляющего устройства.

10.4. Безопасное 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, м:

$$L > I_m / (2\pi H_{\text{доп}} k_{\text{экp}}),$$

где I_m — ток молнии, А; $H_{\text{доп}}$ — допустимая для оборудования напряженность импульсного магнитного поля; $k_{\text{экp}}$ — коэффициент экранирования (ослабления поля).

Коэффициент экранирования можно определить по зависимостям, приведенным в Приложении 3.

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

10.5. Расстояние 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 (см. 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 3, 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 устанавливают в исключительных случаях. Выбор таких устройств и решение об их применении должны быть осуществлены на основании специальных расчетов.

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.

Если для принятых условий не выполняются требования по уровням импульсных помех или по условию обратного перекрытия с ЗУ на кабели, то необходимо применить одно из 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 следует повторно 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 следует использовать железобетонные фундаменты зданий и внешние заземлители электросетевого объекта, в качестве токоотводов — стальные каркасы зданий (стальные колонны, фермы и балки). Молниеприемную часть зданий следует выполнять из искусственных молниеприемников в виде сетки и (или) стержневых молниеприемников в соответствии с требованиями нормативных документов. Электрическую непрерывность стального каркаса и фундамента здания необходимо обеспечить 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 колонны, то в каждой колонне по всей ее высоте необходимо обеспечить электрическую непрерывность не менее двух арматурных стержней, которые и следует присоединять к арматуре фундамента и фермам. Часть расположенных по периметру здания стальных колонн необходимо присоединить проводниками к внешнему заземлителю электросетевого объекта. Среднее расстояние между присоединяемыми к заземлителю колоннами должно быть не более 20 м. Горизонтальные молниеприемные проводники, прокладываемые по периметру крыши, следует соединить с колоннами здания. Расстояние между точками присоединений должно составлять 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 система уравнивания потенциалов. Количество и сечение проводников определяют расчетом.

На всех этажах следует обеспечить соединения металлических конструкций зданий с внутренней системой уравнивания потенциалов, а на отметке 0 м — 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, необходимо прокладывать в стальных трубах.

Для защиты кабелей от вторичных проявлений тока молнии должны применяться экранированные кабели с заземлением экранов с двух сторон. Кабели в пределах здания следует прокладывать в оцинкованных кабельных коробах, кабели между зданиями рекомендуется прокладывать 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 осуществляются на основании расчетов распределения токов и потенциалов на ЗУ, наведенных напряжений в кабелях, а также импульсных магнитных полей в местах расположения вторичного оборудования (см. пп. 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 волоконно-оптическим кабелем. Проводные цепи обмена информацией 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 быстроедействие 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 (см. табл. Б.1 п. 12).

11.3. Система оперативного постоянного тока 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 аккумуляторных батарей (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 длины. 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 % номинального напряжения (см. Приложение Б, табл. Б1, п. 11). Эмиссия радиопомех подзарядного устройства не должна превышать значений, указанных в Приложении Б (см. табл. Б1, п. 26).

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

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

12. СИСТЕМА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ

12.1. В системе электроснабжения собственных нужд подстанции должны быть выделены следующие типы потребителей, 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 электроприемников системы электроснабжения сети 0,4 кВ 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 0,4 кВ 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 прокладывать их на расстоянии не менее 100 мм от контрольных кабелей и проводников СОПТ (ОСТН 600–93, п.2.1096).

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 табл. 6 приведены показатели качества электроэнергии (ПКЭ), основные причины, приводящие к их ухудшению, и рекомендуемые мероприятия по их улучшению.

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 чувствительных 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.

Таблица 6. Мероприятия по улучшению качества электрической энергии

ПКЭ	Основная причина ухудшения	Рекомендуемое мероприятие
Установившееся отклонение напряжения	Неправильный выбор регулировочного отвлечения трансформатора	1. Регулирование напряжения в центре питания или у потребителя путем переключения на соответствующее отвлечение трансформатора. 2. Снижение потерь напряжения в элементах сети
Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения, коэффициент n -й 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. Разделение нагрузки (с помощью двоянных реакторов, трансформаторов с расщепленной 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 источника бесперебойного питания и дизельных электростанций
Импульсные помехи высокого уровня, перенапряжения	Коммутационные процессы, грозовая деятельность	Организация на объекте многоступенчатой защиты от перенапряжений

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

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

13.3. Один из наиболее простых и низкочастотных 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 соединяется 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 низкочастотный способ экранирования — это применение сетки из тонкой проволоки. Вся внутренняя поверхность помещений должна быть закрыта сеткой. При этом должны быть выполнены надежные электрические контакты 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, расстояния элементов аппаратуры от отверстия и т. п.

В качестве ориентировочных оценок следует принимать, что любая неоднородность в виде окон, щелей и других отверстий 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 30 мм, для 500 МГц (диапазон радиопереговорных устройств) — 60 мм.

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, то применяют технические меры 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 децибелл. Использование стальных пластин или листов более эффективно. Коэффициент экранирования зависит от толщины листа и магнитной проницаемости материала. При использовании стального листа толщи-

Таблица 7. Материалы, применяемые для магнитных экранов

Материал	Магнитная проницаемость μ , отн. ед.
Мю-металл	19 000
79НМ (пермаллой)	25 000
49 КF2V1 (сталь)	8000

ной 2,5 мм с относительной магнитной проницаемостью около 1000, образующего непрерывную магнитную цепь вокруг источника или приемника помех, коэффициент затухания будет находиться в пределах от 10 до 20 дБ. Если магнитная цепь не замкнута, ее магнитное сопротивление остается значительным, а коэффициент затухания не превышает 10 дБ.

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

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

Помимо указанных в таблице материалов для магнитного экранирования применяют:

- фольгу из различных сплавов толщиной от 50 до 150 мкм (возможно несколько слоев фольги);
- магнитный экран из лент аморфного металлического сплава (АМС), предназначенного для локального экранирования постоянных и переменных магнитных полей (представляет собой гибкий листовый 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 магнитомягкие».

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 знать возможный диапазон изменения влажности и температуры воздуха в помещении.

15.2. С помощью стандартной программы Mathcad рассчитывают потенциал оператора и сравнивают с допустимыми значениями (см. Прило-

жение Б). Максимальное установившееся значение потенциала оператора U , В, определяется по выражению:

$$U = \frac{16 j_0 h}{\gamma_V \pi^2} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^{m+n}}{(2m+1)(2n+1) \left\{ 1 + \frac{\gamma_S h}{\gamma_V} \left[\frac{\pi^2}{4} \left(\left(\frac{2m+1}{11} \right)^2 + \left(\frac{2n+1}{12} \right)^2 \right) \right] \right\}},$$

где j_0 — плотность тока электризации, мкА/м², которая в обычных условиях составляет менее 10 мкА/м² [6]; $\gamma_S = 1/\rho_S$ и $\gamma_V = 1/\rho_V$ — удельные поверхностная, 1/Ом, и объемная, 1/(Ом·м), 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 находится на токопроводящем полу в различной обуви. Вместо параметров напольного покрытия (γ_V , γ_S , h , l_1 и l_2) в выражение подставляют параметры подошвы ботинок. При расчетах используют экспериментальные зависимости γ_V и γ_S от относительной влажности воздуха ψ , %.

Для приближенных оценок можно воспользоваться данными табл. 8.

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

15.4. 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.

15.5. Антистатические напольные покрытия, выпускаемые в настоящее время, подразделяются на три группы, в зависимости от их электрического сопротивления:

- антистатические, или антистатики — не более 10^8 Ом;
- токорассеивающие, или диссипативные — от 10^7 до 10^8 Ом;
- токопроводящие, или электропроводные — 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.).

15.6. Выбор средств защиты от статического электричества следует осуществлять на основании технико-экономических расчетов. В табл. 9

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 жесткости испытаний, контактный/воздушный разряд
1	Синтетическое покрытие (ковролин), покрытый лаком паркет	Синтетические одежда и обувь	30	X ¹ /X
2	Синтетическое покрытие (ковролин), покрытый лаком паркет	Синтетическая одежда и кожаная обувь	30	X/X
3	Обычный (виниловый) линолеум	То же	15	X/4
4	Токопроводящие (бетонные) полы или антистатический линолеум	Синтетические одежда и обувь	12	X/4
5	Обычный (виниловый) линолеум	Синтетическая одежда и кожаная обувь	8	4/3
6	Токопроводящие (бетонные) полы или антистатический линолеум	То же	6	3/3
7	Синтетическое покрытие (ковролин), покрытый лаком паркет	Хлопчатобумажная одежда и кожаная обувь	4	2/2
8	Обычный (виниловый) линолеум	То же	2	1/1
9	Токопроводящие (бетонные) полы или антистатический линолеум	— « —	0,5	1/1

¹ X — специальная степень жесткости, устанавливаемая АО по согласованию с производителем устройств.

Таблица 9. Сравнительные данные по затратам на напольные покрытия

№ п/п	Используемые материалы и их характеристики	$U_{\text{max расч}}$, кВ	Ориентировочные затраты, руб.
1	Бетонные полы без покрытия	Менее 6	10 000
2	Напольная плитка 10 × 10 см с токопроводящим (цементным) швом	Менее 6	50 000
3	Панельный фальшпол с антистатическим покрытием $\rho_V = 10^{10} \text{ Ом} \cdot \text{м}$, $h = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$	0,2	560 000
4	Антистатический линолеум «Tarkett» $\rho_V = 10^9 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, $h = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$	0,020	160 000

приведены сравнительные данные по затратам на напольные покрытия РЩ с площадью между рядами панелей $2 \times 10 \text{ м}^2$.

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 объема 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. Прием-сдаточные испытания должны быть проведены на этапе пусконаладочных 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 электромагнитной совместимости 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 прием-сдаточных испытаний установлено, что условия ЭМС не выполняются в полном объеме, то должны быть разработаны и реализованы дополнительные технические решения по устранению выявленных дефектов.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. **Электромагнитная совместимость** в электроэнергетике и электротехнике / А. Ф. Дьяков, Б. К. Максимов, Р. К. Борисов и др.; под ред. А. Ф. Дьякова. М.: Энергоатомиздат, 2003.
2. **Хабигер Э.** Электромагнитная совместимость. Основы ее обеспечения в технике: Пер. с нем. И. П. Кужекина / Под ред. Б. К. Максимова. М.: Энергоатомиздат, 1995.
3. **Шваб А.** Электромагнитная совместимость: Пер. с нем. В. Д. Мазина и С. А. Спектора / Под ред. И. П. Кужекина. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1998.
4. **Кармашев В. С.** Электромагнитная совместимость технических средств: Справочник. М.: Норт, 2001.
5. **Уильямс 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 «Энергосервис», 1998.
8. **Рекомендации МККТ. К 27.** Красная книга.
9. **Руководящие указания по проектированию заземляющих устройств электрических станций и подстанций напряжением 3 – 750 кВ переменного тока. № 12740тм-т1.** М.: Энергосетьпроект, 1987.
10. **Заземление и зануление электроустановок промышленных предприятий: Технические решения.** Шифр 3578. М.: Тяжпромэлектропроект, 1982.
11. **Заземление и молниезащита на тепловых и атомных электростанциях:** Справочник по проектированию тепловых электростанций и тепловых сетей. Электротехническая часть. М.: Теплоэлектропроект, 1974.
12. **Техника высоких напряжений: Учебник для вузов / В. В. Базуткин, В. П. Ларионов, Ю. С. Пинталь;** под общ. ред. 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 – 750 кВ: Методическое и справочное пособие /** Под ред. М. А. Аронова. М.: Знак, 2001.

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).

Порт — граница между ТС и внешней электромагнитной средой (зажимом, разъемом, клеммой, стыком 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).

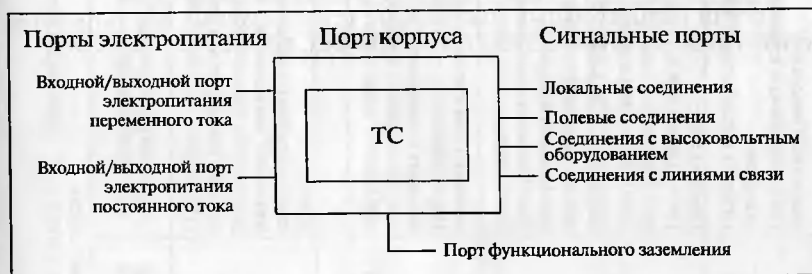


Рис. Б.1. Виды портов



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: *l* — 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, с автоматическими выключателями, трансформаторами тока и напряжения и т. д.); *t* — с линиями связи (например, применяемые при передаче сигналов по высоковольтным линиям и для связи с удаленными устройствами); *p* — «защищенные» (при наличии), например внутри экранированного помещения.

Соединения с линиями связи — кабели связи, выходящие за пределы определенной 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 представлены на рис. Б.2.

Уровни испытательных воздействий, рекомендуемых для устройств, устанавливаемых на электросетевых объектах, приведены в табл. 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)	Значение параметра	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	100 А/м (длительно) 1000 А/м (кратковременно)	Для устройств чувствительных к магнитным полям
3	Электромагнитные поля радиочастотного диапазона от внешних и внутренних устройств связи. На устойчивость к излучаемым радиочастотным электромагнитным полям	ГОСТ Р 51317.4.3-99 (МЭК 61000-4-3)	2	3 А/м (длительно)	Для мониторов с электрононо-лучевой трубкой
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 3	10 В/м	Для всех устройств
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 4	300 А/м	Для устройств чувствительных к магнитным полям
			Не ниже 3	6 кВ (контактный) 8 кВ (воздушный)	Для всех устройств

Таблица Б.1. (Продолжение)

№ п/п	Вид электромагнитных воздействий и испытаний на помехоустойчивость	Нормативный документ	Степень жестко- сти испытаний (тип соединения)	Значение параметра	Примечание
Сигнальные порты					
6	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 61000-4-12-96)	3 — для однократных (локальное, полевое) 2 — для повторяющихся (локальное, полевое) 4 — для однократных 3 — для повторяющихся (с оборудованием)	2 кВ (провод — земля) 1 кВ (провод — провод) 1 кВ (провод — земля) 0,5 кВ (провод — провод) 4 кВ (провод — земля) 2 кВ (провод — провод) 2,5 кВ (провод — земля) 1 кВ (провод — провод)	Для всех устройств
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)	2 (локальное) 1 (локальное) 3 (полевое) 2 (полевое) 4 (с оборудованием) 3 (с оборудованием)	1 кВ (провод — земля) 0,5 кВ (провод — провод) 2 кВ (провод — земля) 1 кВ (провод — провод) 4 кВ (провод — земля) 2 кВ (провод — провод)	Для всех устройств
8	Наносекундные импульсные помехи от электромагнитных устройств в системах электропитания постоянного и переменного тока. На устойчивость к наносекундным импульсным помехам	ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4)	3 (локальное) 4 (полевое) специальная (с оборудованием)	1 кВ 2 кВ 4 кВ	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	10 В	Для всех сигнальных портов

Питание постоянным током					
10	Провалы напряжения	МЭК 61000-4-29	—	30 % (1 с) 60 % (0,1 с)	Только для входных портов
	Прерывания напряжения			100 % (0,5 с)	
11	На устойчивость к пульсациям напряжения постоянного тока	ГОСТ Р 51317.4.17-2000 (МЭК 61000-4-17-99)	Не ниже 3	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	10 В (длительно) 100 В (1 с)	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)	3 2	2 кВ (провод — земля) 1 кВ (провод — провод)	Для всех портов питания постоянного тока
14	Наносекундные импульсные помехи от электромагнитных устройств в системах электропитания постоянного и переменного тока. На устойчивость к наносекундным импульсным помехам	ГОСТ Р 51317.4.4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4)	4	4 кВ	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	10 В	Для всех портов питания постоянного тока

Таблица Б.1. (Окончание)

№ п/п	Вид электромагнитных воздействий и испытаний на помехоустойчивость	Нормативный документ	Степень жесткости испытаний (тип соединения)	Значение параметра	Примечание
16	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 — для однократных 3 — для повторяющихся	4 кВ (провод — земля) 2 кВ (провод — провод) 2,5 кВ (провод — земля) 1 кВ (провод — провод)	Для всех портов питания постоянного тока
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 На устойчивость к колебаниям напряжения	ГОСТ 29280-92 (МЭК 61000-4-13) ГОСТ Р 51317.4.14-2000 (МЭК 61000-4-14-2000)	В соответствии с рекомендациями настоящих МУ		Для всех портов питания переменного тока
	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 61000-4-28-2000)			
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	10 В	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 — для однократных 3 — для повторяющихся	4 кВ (провод — земля) 2 кВ (провод — провод) 2,5 кВ (провод — земля) 1 кВ (провод — провод)	Для всех портов питания переменного тока

22	На устойчивость к наносекундным импульсным помехам	ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4)	4	4 кВ	Для всех портов питания переменного тока
23	Импульсные помехи от токов молний. На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии	ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-96)	4 3	4 кВ (провод — земля) 2 кВ (провод — провод)	Для всех портов питания переменного тока
Порт функционального заземления					
24	На устойчивость к наносекундным импульсным помехам (ввод помехи при изменении емкостных связей)	ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4)	4	4 кВ	Требования применяются 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	10 В	—
Помехозащита					
26	Радиопомехи от оборудования. Помехозащита	ГОСТ Р 51318.22-99 (СИСПР 22-97) ГОСТ Р 51318.11-99 (СИСПР 11-97)	В соответствии с ГОСТ		

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:

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

Параметры реакторов, используемые в расчете, приведены в табл. В.1.

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 протекают токи 1, 2, 3, 4 и 5 кА, имеющие соответственно сдвиг по фазе на 120° . Также были рассчитаны поля для двух значений токов трех-

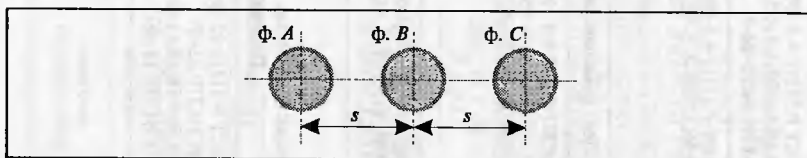


Рис. В.1. Расположение реакторов вдоль оси

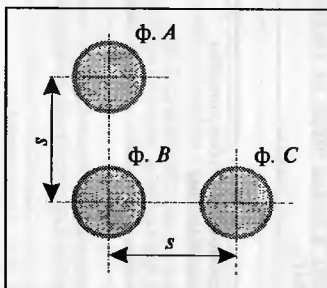


Рис. В.2. Расположение реакторов в вершинах равнобедренного прямоугольного треугольника

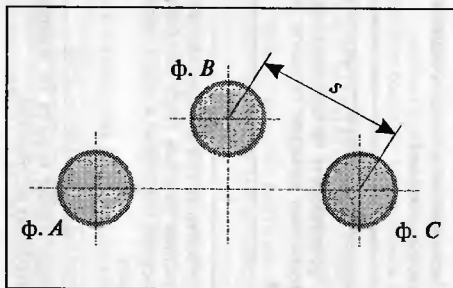


Рис. В.3. Расположение реакторов в вершинах тупоугольного равнобедренного треугольника

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

фазного КЗ: 12 и 15 кА. Рассмотрены случаи с наиболее характерными для применения на практике расстояниями между центрами реакторов: от 2,4 до 3,4 м.

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-й и 5-й 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 НМП (80 А/м), безопасный для персонала энергообъекта на протяжении рабочего дня (8 ч). 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 Ox , указанного на рис. В.4, так как вдоль этой оси 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 Oz , указанного на рис. В.5, так как вдоль оси Oz 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 НМП в горизонтальной и вертикальной плоскостях приведены на рис. В.6 – В.12 (цветная вклейка).

В.2.2. Расположение реакторов в вершинах равнобедренного прямоугольного треугольника

Расчет в горизонтальной плоскости (в плоскости геометрических центров реакторов) производился вдоль направления Ox , указанного на рис. В.13. Расчет в вертикальной плоскости (в плоскости геометрических центров реакторов) производился вдоль направления Oz , указанного на рис. В.14. Результаты расчетов НМП в горизонтальной и вертикальной плоскостях приведены на рис. В.15 – В.22 (цветная вклейка).

В.2.3. Расположение реакторов в вершинах тупоугольного равнобедренного треугольника

Расчет в горизонтальной плоскости (в плоскости геометрических центров реакторов) осуществлен вдоль направления Ox (рис. В.23). Расчет в вертикальной плоскости (в плоскости геометрических центров реакторов) осуществлен вдоль направления Oz (рис. В.24). Результаты расчетов НМП в горизонтальной и вертикальной плоскостях приведены на рис. В.25 — В.32 (цветная вклейка).

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 (110, 220, 330 и 500 кВ) находятся над зданием, в котором размещен релейный щит (рис. В.33).

Расчетные точки расположены в пространстве между крайними фазами на высоте $h = 3$ м, в плоскости перпендикулярной оси проводов. При расчете не учитывали провис проводов, а проводники в расчетной модели задавали прямыми линиями, высоту которых над уровнем земли считали равной габариту (минимальному расстоянию до поверхности земли) релейной 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 табл. В.2.

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

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

Таблица В.2. Геометрические размеры расчетной модели ошиновки

$U_{\text{ном}}$, 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

В.4. Электромагнитные поля радиочастотного диапазона от различных источников

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

$$E = k(\text{ЭИМ})^{0,5}r^{-1},$$

где r — минимальное расстояние, м, от источника излучения; ЭИМ — эффективная излучаемая мощность, Вт; k — постоянная величина ($k = 7$ для

Таблица В.3. Напряженности электрического поля, создаваемого некоторыми радиопередатчиками

Источник	Частотный диапазон, МГц	Типичное максимальное эффективное значение излучаемой мощности, Вт	Типичное минимальное расстояние, м	Напряженность электрического поля в соответствующей точке, В/м
Радиотрансляция в диапазоне ДВ и в приморской зоне	0,014 — 0,5	$2,5 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^3$	5,5
Радиотрансляция в диапазоне СВ	0,2 — 1,6	$800 \cdot 10^3$	500	12,5
Любительские КВ-радиостанции	1,8 — 30	$1 \cdot 10^3$	10	22
КВ-связь, включая радиотрансляцию	1,6 — 30	$10 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^3$	0,1
«Гражданский» диапазон	27 — 28	12	10	2,5
Любительские радиостанции диапазона ОВЧ и УВЧ	50 — 52 144 — 146 432 — 438 1290 — 1300	$8 \cdot 10^3$	10	65
Стационарные и мобильные средства связи	29 — 40 68 — 87 146 — 174 422 — 432 438 — 470 860—990	130	2	40
Портативные телефоны, включая сотовые и радиотелефоны	900 — 1900	5	0,5	30
Телевидение диапазона МВ (ОВЧ)	48 — 68 174 — 230	$320 \cdot 10^3$	500	8
Радиотрансляция в диапазоне FM	88 — 108	$100 \cdot 10^3$	250	9
Телевидение диапазона ДМВ (УВЧ)	470 — 853	$500 \cdot 10^3$	500	10
Радарные установки	1000 — 30 000	$10 \cdot 10^6$	200	110
Приемопередатчики Уоки-токи (walky-talky)	27 — 1000	5	0,5	30

всех источников, 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

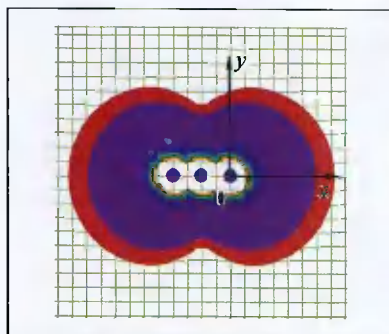


Рис. В.4. Характер распределения НМП в горизонтальной плоскости

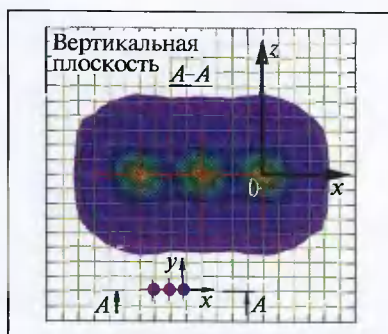


Рис. В.5. Характер распределения НМП в вертикальной плоскости

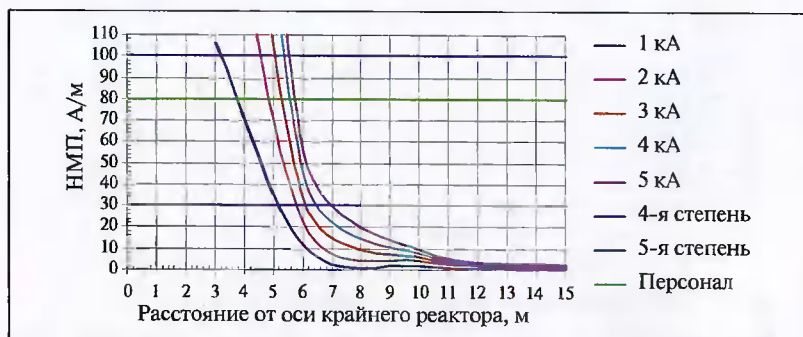


Рис. В.6. Распределение НМП при нормальных режимах в горизонтальной плоскости при $Z = 0,25$ м; $n = 34$; $R = 0,6$ м; $s = 2,4$ м

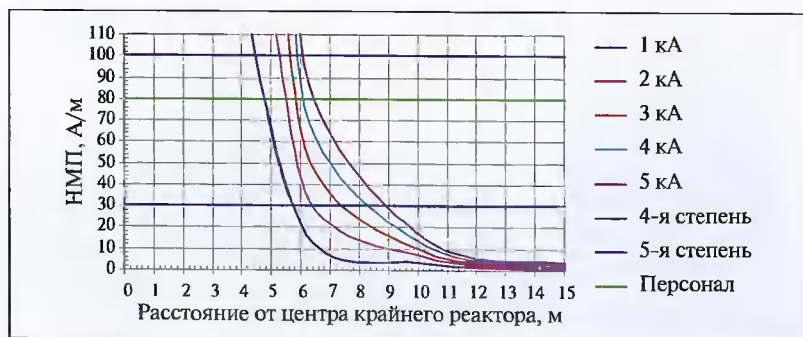


Рис. В.7. Распределение НМП при нормальных режимах в вертикальной плоскости при $Z = 0,25$ м; $n = 34$; $R = 0,6$ м; $s = 2,4$ м

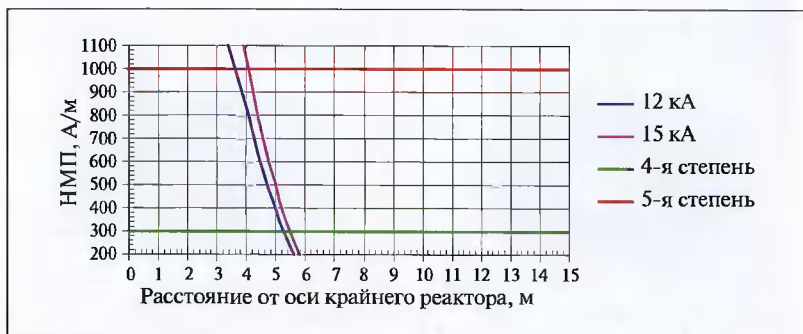


Рис. В.8. Распределение НМП при аварийных режимах (трехфазное КЗ) в горизонтальной плоскости при $Z = 0,25 \text{ Ом}$; $n = 34$; $R = 0,6 \text{ м}$; $s = 2,4 \text{ м}$

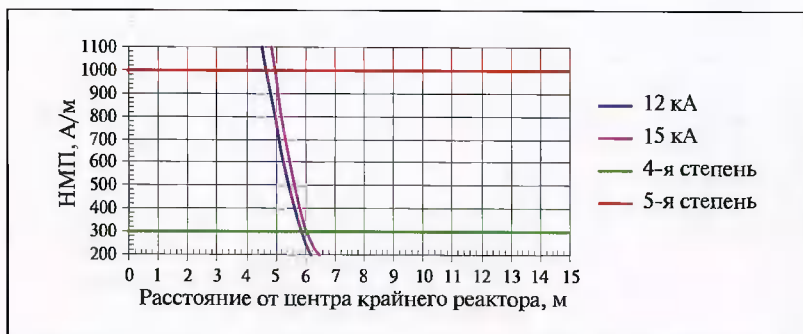


Рис. В.9. Распределение НМП при аварийных режимах (трехфазное КЗ) в вертикальной плоскости при $Z = 0,25 \text{ Ом}$; $n = 34$; $R = 0,6 \text{ м}$; $s = 2,4 \text{ м}$

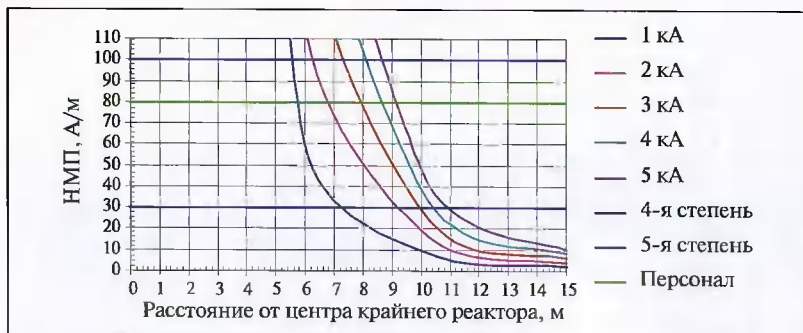


Рис. В.10. Распределение НМП при иормальных режимах в вертикальной плоскости при $Z = 0,96 \text{ Ом}$; $n = 45$; $R = 0,9 \text{ м}$; $s = 2,4 \text{ м}$

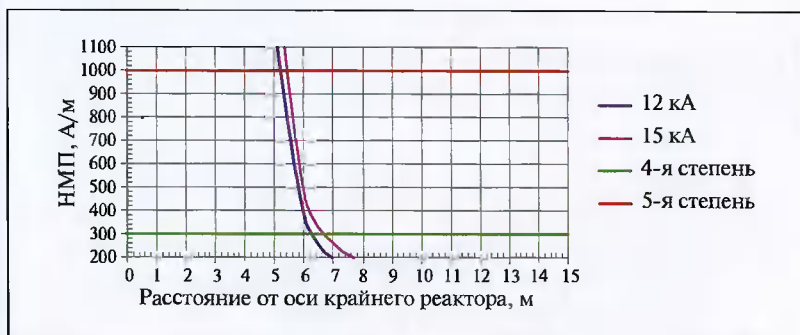


Рис. В.11. Распределение НМП при аварийных режимах (трехфазное КЗ) в горизонтальной плоскости при $Z = 0,96 \text{ Ом}$; $n = 45$; $R = 0,9 \text{ м}$; $s = 2,4 \text{ м}$



Рис. В.12. Распределение НМП при аварийных режимах (трехфазное КЗ) в вертикальной плоскости при $Z = 0,96 \text{ Ом}$; $n = 45$; $R = 0,9 \text{ м}$; $s = 2,4 \text{ м}$



Рис. В.13. Характер распределения НМП в горизонтальной плоскости

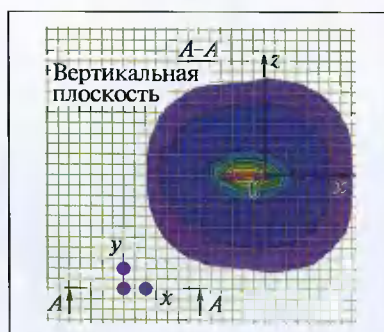


Рис. В.14. Характер распределения НМП в вертикальной плоскости

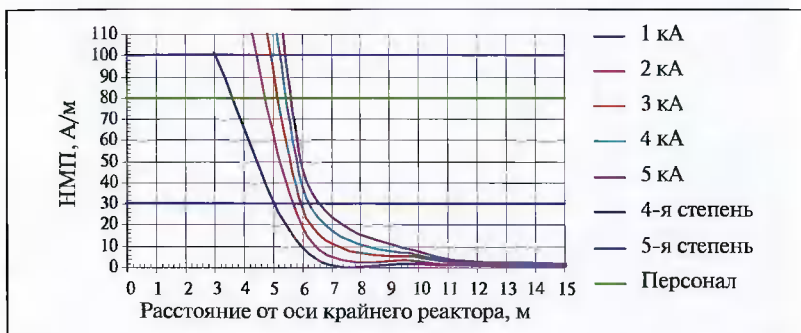


Рис. В.15. Распределение НМП при нормальных режимах в горизонтальной плоскости при $Z = 0,25$ Ом; $n = 34$; $R = 0,6$ м; $s = 2,4$ м

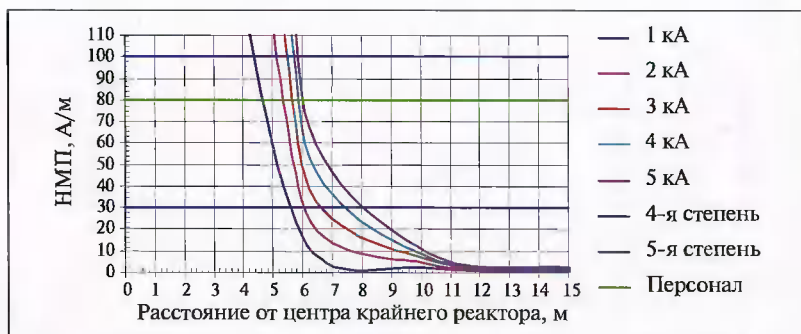


Рис. В.16. Распределение НМП при нормальных режимах в вертикальной плоскости при $Z = 0,25$ Ом; $n = 34$; $R = 0,6$ м; $s = 2,4$ м

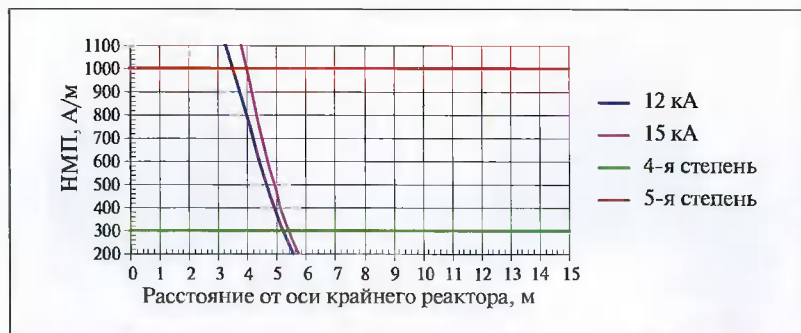


Рис. В.17. Распределение НМП при аварийных режимах (трехфазное КЗ) в горизонтальной плоскости при $Z = 0,25$ Ом; $n = 34$; $R = 0,6$ м; $s = 2,4$ м



Рис. В.18. Распределение НМП при аварийных режимах (трехфазное КЗ) в вертикальной плоскости при $Z = 0,25 \text{ Ом}$; $n = 34$; $R = 0,6 \text{ м}$; $s = 2,4 \text{ м}$

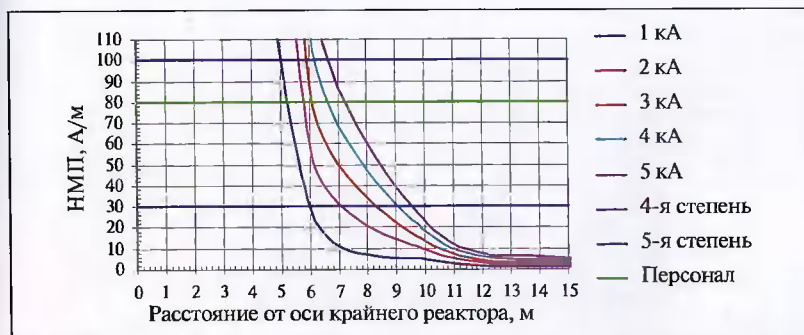


Рис. В.19. Распределение НМП при нормальных режимах в горизонтальной плоскости при $Z = 0,96 \text{ Ом}$; $n = 45$; $R = 0,9 \text{ м}$; $s = 2,4 \text{ м}$

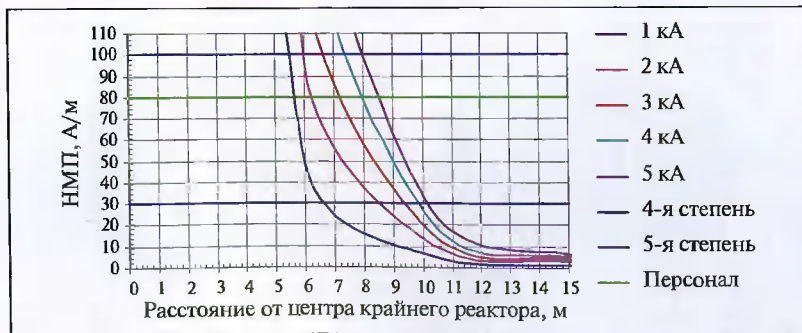


Рис. В.20. Распределение НМП при нормальных режимах в вертикальной плоскости при $Z = 0,96 \text{ Ом}$; $n = 45$; $R = 0,9 \text{ м}$; $s = 2,4 \text{ м}$

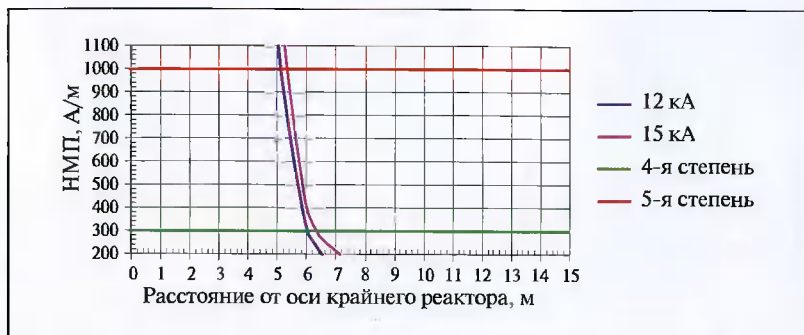


Рис. В.21. Распределение НМП при аварийных режимах (трехфазное КЗ) в горизонтальной плоскости при $Z = 0,96 \text{ Ом}$; $n = 45$; $R = 0,9 \text{ м}$; $s = 2,4 \text{ м}$

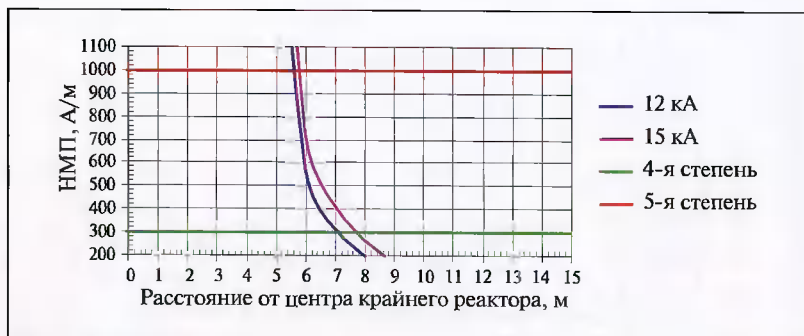


Рис. В.22. Распределение НМП при аварийных режимах (трехфазное КЗ) в вертикальной плоскости при $Z = 0,96 \text{ Ом}$; $n = 45$; $R = 0,9 \text{ м}$; $s = 2,4 \text{ м}$

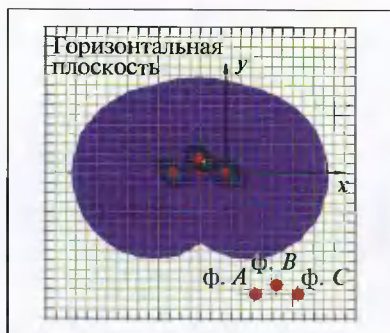


Рис. В.23. Характер распределения НМП в горизонтальной плоскости

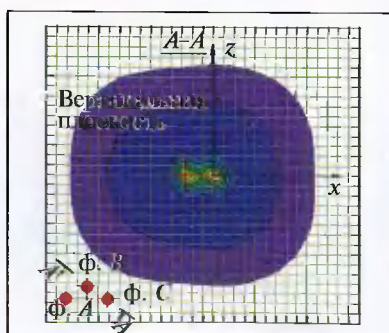


Рис. В.24. Характер распределения НМП в вертикальной плоскости

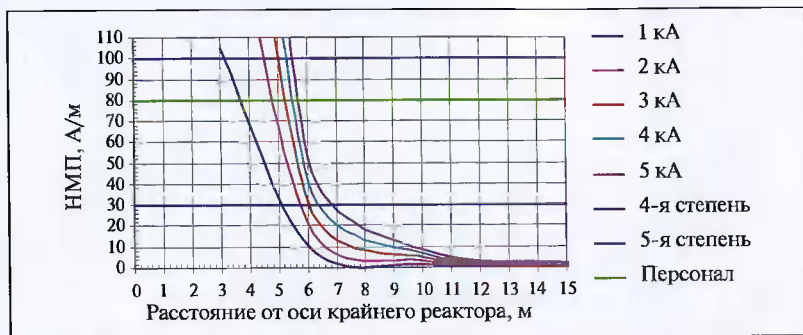


Рис. В.25. Распределение НМП при нормальных режимах в горизонтальной плоскости при $Z = 0,25$ Ом; $n = 34$; $R = 0,6$ м; $s = 2,4$ м



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

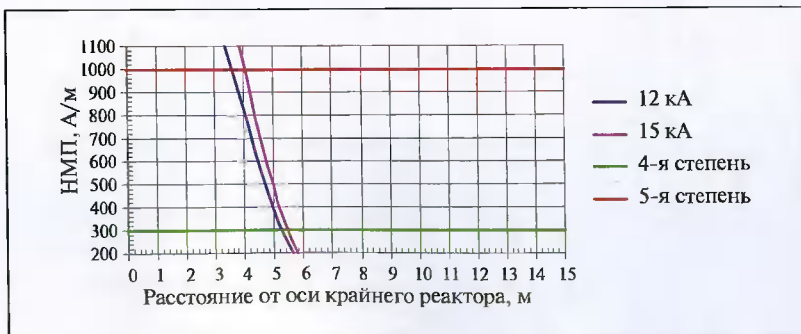


Рис. В.27. Распределение НМП при аварийных режимах (трехфазное КЗ) в горизонтальной плоскости при $Z = 0,25$ Ом; $n = 34$; $R = 0,6$ м; $s = 2,4$ м

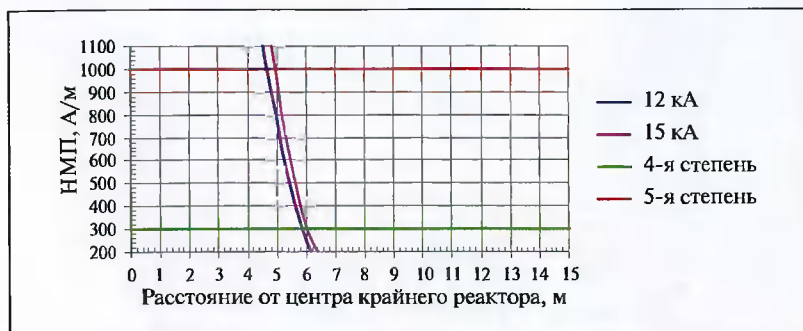


Рис. В.28. Распределение НМП при аварийных режимах (трехфазное КЗ) в вертикальной плоскости при $Z = 0,25$ Ом; $n = 34$; $R = 0,6$ м; $s = 2,4$ м

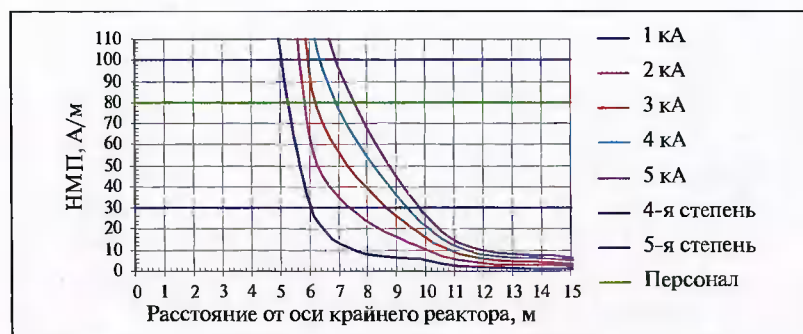


Рис. В.29. Распределение НМП при нормальных режимах в горизонтальной плоскости при $Z = 0,96$ Ом; $n = 45$; $R = 0,9$ м; $s = 2,4$ м

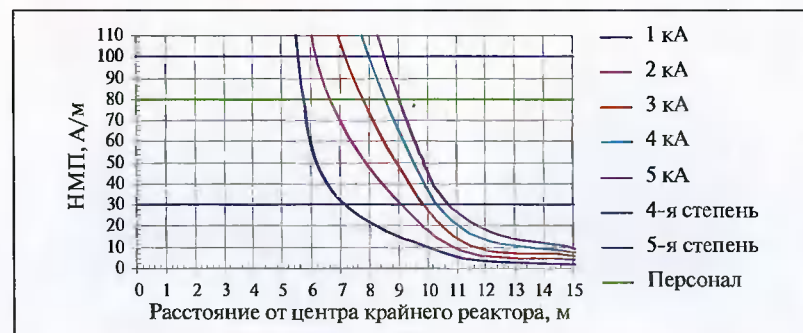


Рис. В.30. Распределение НМП при нормальных режимах в вертикальной плоскости при $Z = 0,96$ Ом; $n = 45$; $R = 0,9$ м; $s = 2,4$ м

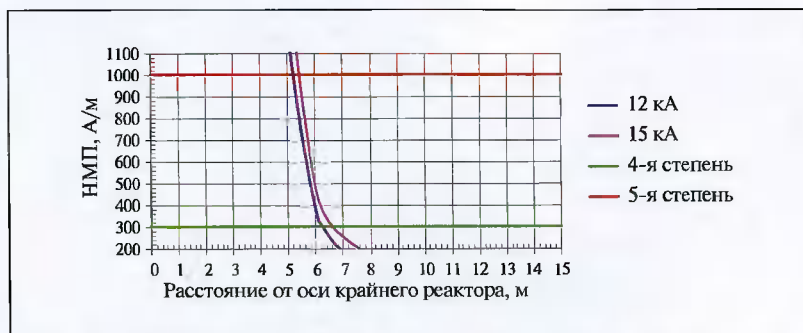


Рис. В.31. Распределение НМП при аварийных режимах (трехфазное КЗ) в горизонтальной плоскости при $Z = 0,96 \text{ Ом}$; $n = 45$; $R = 0,9 \text{ м}$; $s = 2,4 \text{ м}$



Рис. В.32. Распределение НМП при аварийных режимах (трехфазное КЗ) в вертикальной плоскости при $Z = 0,96 \text{ Ом}$; $n = 45$; $R = 0,9 \text{ м}$; $s = 2,4 \text{ м}$

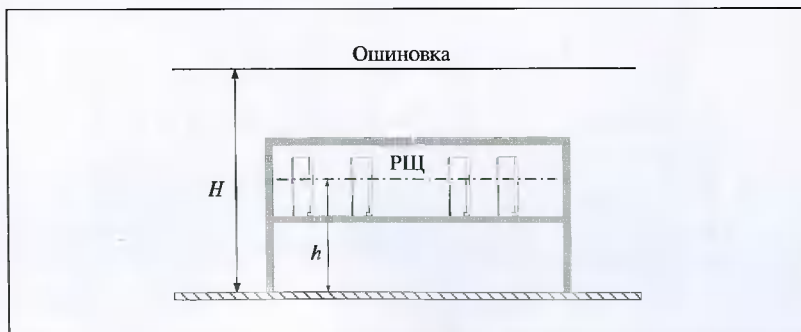


Рис. В.33. Расположение ошиновки над зданием РЦ

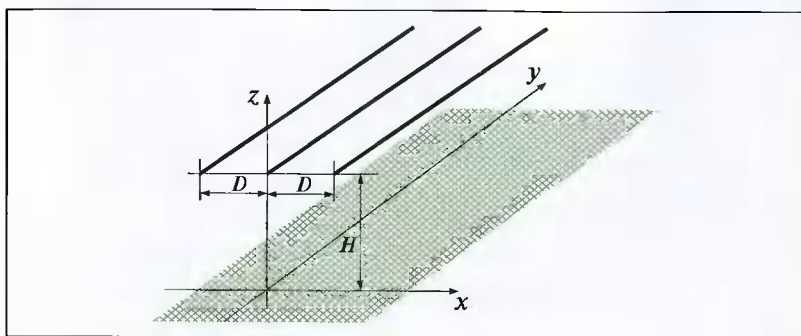


Рис. В.34. Расчетная модель

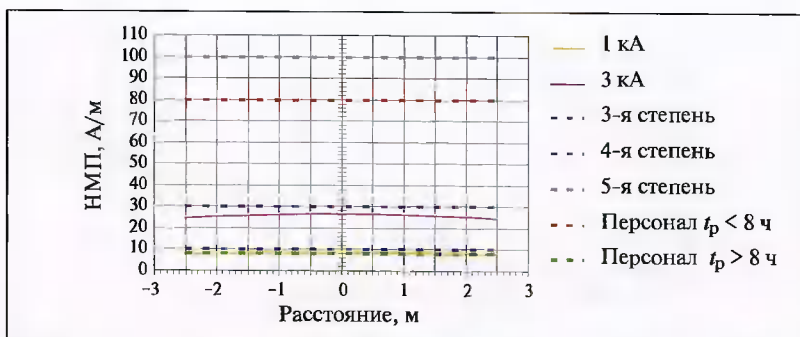


Рис. В.35. Результаты расчета НМП для ошиновки 110 кВ (нормальный режим)

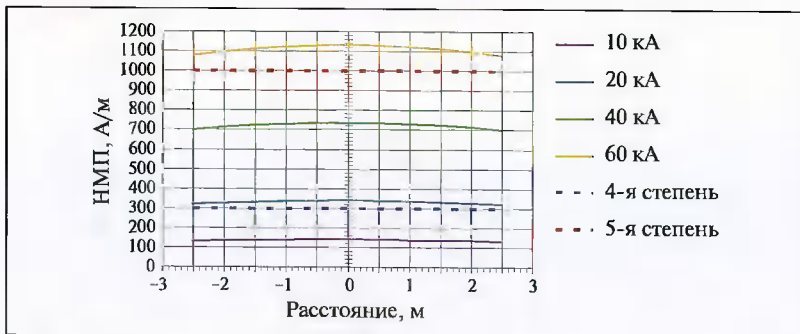


Рис. В.36. Результаты расчета НМП для ошиновки 110 кВ (аварийный режим — однофазное КЗ на средней фазе)

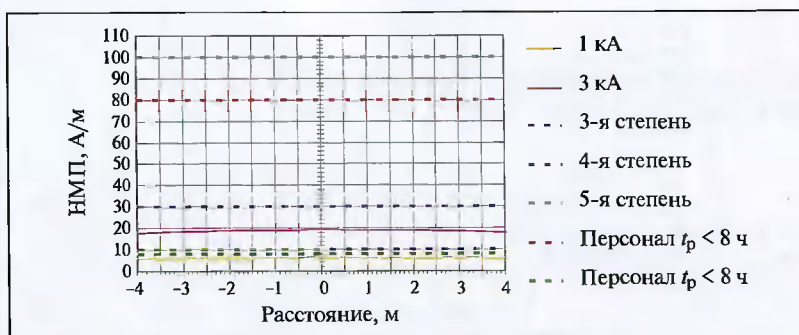


Рис. В.37. Результаты расчета НМП для ошиновки 220 кВ (нормальный режим)

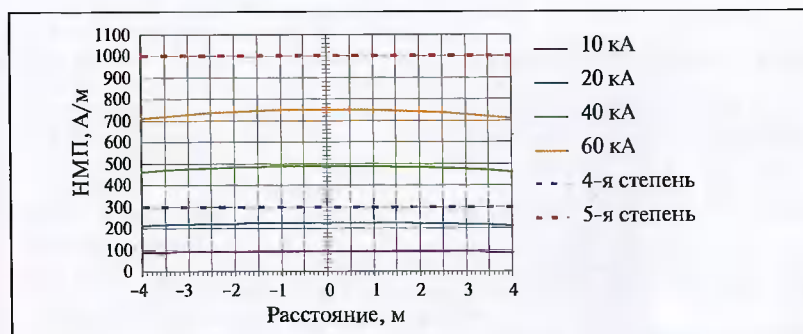


Рис. В.38. Результаты расчета НМП для ошиновки 220 кВ (аварийный режим — однофазное КЗ на средней фазе)

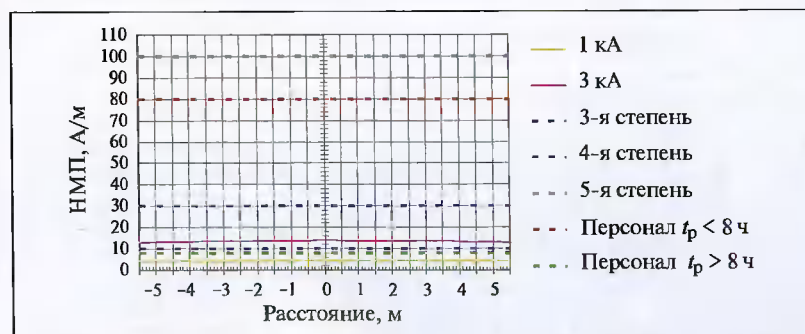


Рис. В.39. Результаты расчета НМП для ошиновки 330 кВ (нормальный режим)

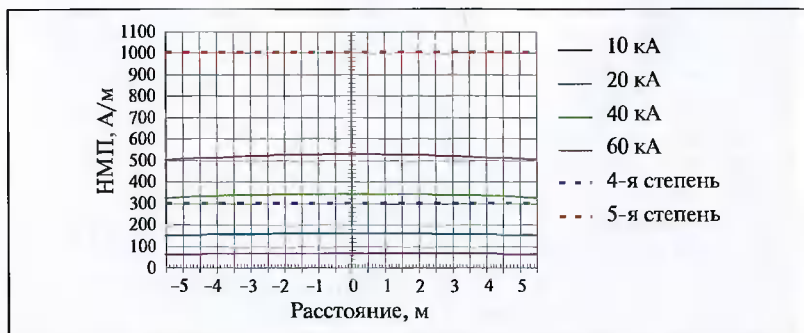


Рис. В.40. Результаты расчета НМП для ошиновки 330 кВ (аварийный режим — однофазное КЗ на средней фазе)

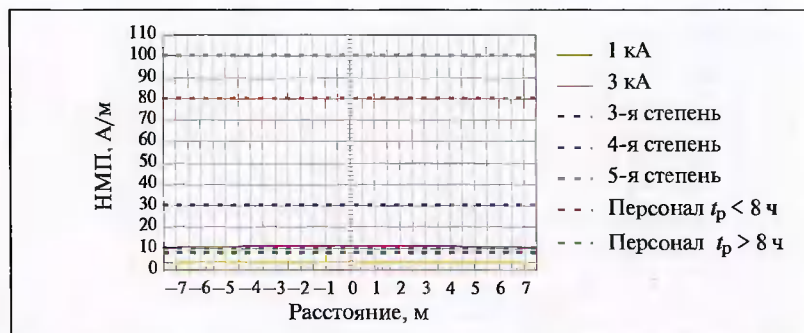


Рис. В.41. Результаты расчета НМП для ошиновки 500 кВ (нормальный режим)

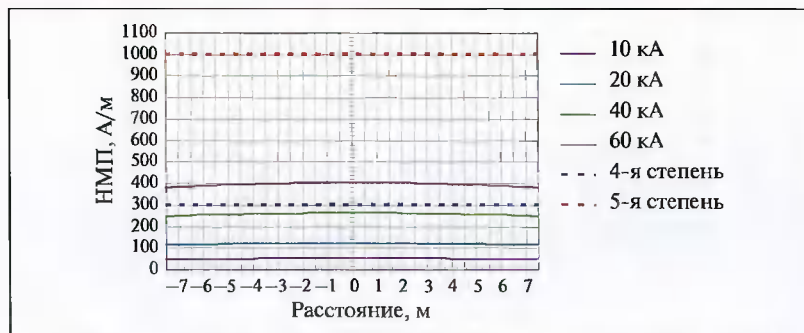


Рис. В.42. Результаты расчета НМП для ошиновки 500 кВ (аварийный режим — однофазное КЗ на средней фазе)

ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА УРОВНЕЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Г.1. Расчет напряжений и токов промышленной частоты, действующих на вторичное оборудование

С помощью программ выполняют расчет переходных процессов в разветвленной трехмерной 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 3У);
- напряжение, действующее на вторичные кабели и оборудование;
- токи в экранах, броне и оболочках кабелей.

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

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

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

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

Г.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 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.

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, Р. К. Борисов, С. Р. Петров	Расчет: • напряжений и токов промышленной частоты, воздействующих на вторичное оборудование; • импульсных потенциалов на тоководах 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 15.10.02	В свободной продаже
2	Interferences	ООО НПФ ЭЛНАП, Р. К. Борисов, С. Р. Петров	Расчет: • импульсных помех при КЗ 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 11.02.04	В свободной продаже
3	MagPole	ООО НПФ ЭЛНАП, Р. К. Борисов, А. В. Ерошенков	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 17.10.07	В свободной продаже

4	Protection Zones	ООО НПФ ЭЛНАП, Р. К. Борисов, С. Р. Петров	Расчет зон защиты от прямых ударов молнии по методикам РД 34.21.122-87, СО 153-34.21.122-2003, IEC Standard 62305	Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике / Под ред. А. Ф. Дьякова, М.: Энергоатомиздат, 2003	В свободной продаже
5	Parsiz	НГТУ, С. В. Нестеров	Расчет параметров ЗУ: напряжение прикосновения, распределение потенциала по сетке ЗУ, Грунт многослойный	Вторая Российская конференция по заземляющим устройствам: сб. докл., Новосибирск, 2005	В свободной продаже нет
6	Реактор МП	ОАО «ФСК ЕЭС» НИИ медицины труда, М. Ш. Мисриханов, Н. Б. Рубцова, А. Ю. Токарский, Ю. А. Иостон	Расчет распределения напряженности магнитного поля, создаваемого трехфазными многослойными и многорядными реакторами	Российское агентство по патентам и товарным знакам. Свидетельство о регистрации № 2006613743 от 29.10.06	ОАО «ФСК ЕЭС» МЭС Центра
7	ЭНИН	Э. М. Базелян	Расчет параметров ЗУ: напряжение прикосновения, распределение потенциала по сетке ЗУ	Вторая Российская конференция по заземляющим устройствам: Сб. докл., Новосибирск, 2005	Информация отсутствует
8	Контур	ООО ЭЗОП	Расчет: • импульсных потенциалов на ЗУ молниеотводов; • распределение токов и потенциалов в ЗУ	Вторая Российская конференция по заземляющим устройствам: сб. докл., Новосибирск, 2005 ezor@ezor.ru	В свободной продаже нет
9	ELMAGLER	МЭИ (ТУ), Е. С. Колечицкий, В. Н. Шульгин, А. И. Плис, В. А. Расторгуев	Расчет ЭП и МП, созданных ВЛ	Учебная программа	Распространяется свободно
10	ТРИТОН	МЭИ (ТУ), А. Г. Ратковский	Расчет напряженности электрических полей на подстанциях высокого напряжения	Колечицкий Е. С. Расчет электрических полей устройств высокого напряжения. — М.: Энергоатомиздат, 1983	По согласованию с авторами

Таблица Г.1.1. (Окончание)

№ п/п	Наименование программы	Правообладатель, авторы	Область применения	Источник информации	Условия распространения
11	ЭМП ВЛ	ОАО «ФСК ЕЭС» НИИ медицины труда, М. Ш. Мисриханов, Н. Б. Рубцова, А. Ю. Токарский, Ю. А. Иостсон	Расчет напряженности электрического и магнитного полей промышленной частоты, создаваемых ВЛ	Российское агентство по патентам и товарным знакам. Свидетельство о регистрации № 20066613744 от 29.08.06	ОАО «ФСК ЕЭС» МЭС Центра
12	KWIKGRID	Фирма Consulting Electrical Engineers («Консультанты-электротехники»), Канада	Расчет 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://www.ground-it.com/software.htm	Распространяется свободно
13	Программа для расчета ЗУ	Фирма Safe Engineering Services & Technologies Ltd., Монреаль, Канада (ООО «Технологии и услуги в сфере техники безопасности»)	Расчет: • заземляющих устройств (произвольные грунты и воздействия); • параметров линий для воздушных линий и проводников в грунте или кабелей в трубе; • распределения токов нагрузки, КЗ и импульсных токов по проводникам (нейтралю, экрану и т. п.); • индуктивного, кондуктивного и емкостного взаимодействия между кабелями, проложенными по одной трассе. Анализ: • катодных защит сложных подземных сооружений; • электромагнитных полей, создаваемых различными источниками.	http://www.sestech.com/Products/SoftPackages/CDEGS.htm	Распространяется свободно

14	EMTP-RV	Разрабатывается DCG — группой 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
15	PisPice	Принадлежит Cadence Design System	Расчет переходных процессов в электрических цепях, включая линии с распределенными параметрами с учетом взаимного влияния	http://www.cadence.com/products/orcad/pspice_a_d/index.aspx	В свободной продаже
16	EMF Workstation 2.5	Фирма Enertech	Комплект утилит для расчета магнитных и электрических полей от различного электрооборудования: линий, реакторов, батарей конденсаторов, силовых трансформаторов, трубопроводов, заземляющих проводников	http://www.enertech.net/emfw/download/documentation/emfw25.pdf http://www.enertech.net/emfmod/emfmod.htm	Нет сведений о продаже
17	MicroCAP	Spectrum Software	Программа расчета электрических цепей при любых воздействиях	http://www.spectrum-soft.com/price.shtml	В свободной продаже

Примечание. Из зарубежных программ указаны лишь наиболее распространенные и представленные на российском рынке.

Г.3. Расчет магнитных полей

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

- шин первичных цепей;
- реакторов, трансформаторов;
- проводников различного назначения;
- молниеотводов.

Для расчета магнитных полей могут применяться программы:

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

Г.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.

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 железобетонных кабельных лотках (дополнительное экранирование не обеспечивается)	Без экрана и брони	Параллельно ошиновке на расстоянии менее 3 м (длина параллельной трассы более 10 м)	—	Выше 4 не рекомендуется				
		Параллельно ошиновке на расстоянии менее 5 м (длина параллельной трассы более 10 м)	100	4	Выше 4 не рекомендуется			
			400	Выше 4				
			1000	Выше 4				
		Параллельно ошиновке на расстоянии менее 7 м (длина параллельной трассы более 10 м)	100	3	4	Выше 4	Выше 4	Выше 4
			400	4	Выше 4	Выше 4	Выше 4	Выше 4
	С экраном или броней	Перпендикулярно ошиновке	—	Выше 4	Выше 4	Выше 4	Выше 4	Выше 4
		Параллельно ошиновке на расстоянии 1 м (длина параллельной трассы более 10 м)	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 3 м (длина параллельной трассы более 10 м)	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 5 м (длина параллельной трассы более 10 м)	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 7 м (длина параллельной трассы более 10 м)	100	2	3	3	4	4
			400	3	4	4	Выше 4	Выше 4
			1000	4	Выше 4	Выше 4	Выше 4	Выше 4
		Перпендикулярно ошиновке	—	4	Выше 4	Выше 4	Выше 4	Выше 4

Таблица Д.1. (Окончание)

Тип кабельной канализации	Тип кабелей	Трасса прокладки кабелей	Удельное сопротивле- ние грунта, Ом · м	Степень жесткости				
				Класс напряжения ОРУ, кВ				
				110	220	330	500	750
В металличе- ском кабельном лотке ($K_{\text{экp}} = 4$)	Без экрана и брони	Параллельно ошиновке на расстоянии 1 м (длина параллельной трассы более 10 м)	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 3 м	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 5 м (длина параллельной трассы более 10 м)	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 7 м (длина параллельной трассы более 10 м)	100	2	3	3	4	4
			400	3	4	4	Выше 4	Выше 4
			1000	3	4	Выше 4	Выше 4	Выше 4
С экраном или броней	Перпендикулярно ошиновке	Параллельно ошиновке на расстоянии 1 м (длина параллельной трассы более 10 м)	—	1				
			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 3 м (длина параллельной трассы более 10 м)	100	1	2	3	3	4
			400	2	3	4	4	Выше 4
	С экраном или броней	Параллельно ошиновке на расстоянии 5 м (длина параллельной трассы более 10 м)	1000	3	3	4	4	Выше 4
			100	1	2	2	3	3
			400	2	3	3	4	4
		Параллельно ошиновке на расстоянии 7 м (длина параллельной трассы более 10 м)	1000	2	3	4	4	Выше 4
			100	1	1	2	2	3
			400	1	2	3	3	4
			1000	2	3	3	4	4
	Перпендикулярно ошиновке		—	1				

В электрически непрерывной металлической трубе ($K_{зкр} = 10$)	Без экрана и брони	Параллельно ошивке на расстоянии 1 м	100	3	3	4	Выше 4
			400	3	4	4	Выше 4
			1000	3	4	4	Выше 4
			100	2	3	3	4
		Параллельно ошивке на расстоянии 3 м	400	3	3	4	Выше 4
			1000	3	4	4	Выше 4
			100	1	2	3	3
			400	2	3	3	4
	С экраном или броней	Параллельно ошивке на расстоянии 5 м	100	3	3	4	Выше 4
			400	3	4	4	Выше 4
			1000	3	4	4	Выше 4
			100	1	1	2	3
		Параллельно ошивке на расстоянии 7 м	400	2	3	3	4
			1000	2	3	4	Выше 4
			—	—	—	1	—
			—	1	2	3	4
В подземном кабельном канале или тоннеле ($K_{зкр} = 100$)	Без экрана и брони	Параллельно ошивке на расстоянии 1 м	100	1	1	2	2
			400	1	2	3	3
			1000	1	2	3	4
			100	1	1	1	2
		Параллельно ошивке на расстоянии 3 м	400	1	1	2	3
			1000	1	2	3	3
			100	1	1	1	2
			400	1	1	2	3
	С экраном или броней	Параллельно ошивке на расстоянии 5 м	1000	1	2	3	3
			100	1	1	1	1
			400	1	1	2	3
			1000	1	2	3	3
		Параллельно ошивке на расстоянии 7 м	100	1	1	1	1
			400	1	1	1	2
			1000	1	2	2	3
			—	—	—	1	—
В подземном кабельном канале или тоннеле ($K_{зкр} = 100$)	Без экрана и брони	Параллельно ошивке на расстоянии 1 м	—	—	—	Не более 2	—
			—	—	—	1	—

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

ЗАЗЕМЛЕНИЕ ЭКРАНОВ КАБЕЛЕЙ

1. Практически на всех энергообъектах России используются кабели типа КВВГЭ. Отсутствие правильной технологии заземления экранов таких кабелей и существующие 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 — является удивительно неэффективной для обеспечения хорошего заземления, даже если ее длина не превышает 25 мм. «Косички» увеличивают последовательную индуктивность в заземляющем соединении, которая доминирует в передаточном сопротивлении при сборке. Взаимная индуктивность отрезка кабеля, на котором выполнена «косичка», пропорциональна длине отрезка; для «косички» длиной 25 мм взаимная индуктивность составляет несколько наногенри, что существенно больше, чем допускается для индуктивности утечки типичного экранированного кабеля.

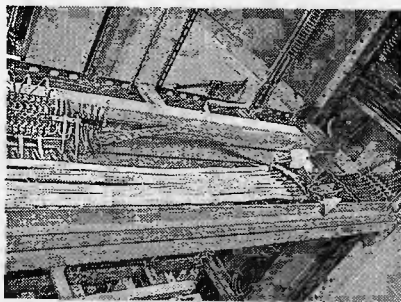


Рис. Е.1. Заземление экранов в виде «косички» из длинных проводников

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

2. Для заземления экранов рекомендуется использовать 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 возможна установка дополнительного ряда в середине (если это возможно по условиям удобства монтажа).

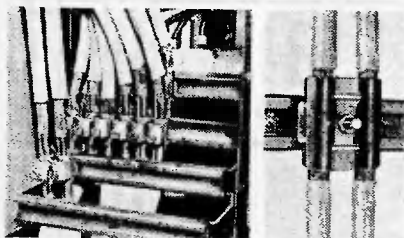


Рис. Е.2. Заземление экранов с помощью специальных зажимов

Одним из вариантов для заземления экранов является применение специальных разъемов (рис. Е.3, Е.4).

3. Основное правило — экраны контрольных и силовых кабелей следует заземлять с обоих кон-

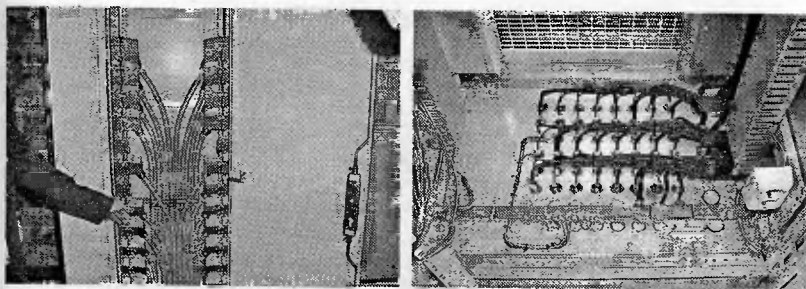


Рис. Е.3. Применение специальных разъемов



Рис. Е.4. Заземление экрана кабеля типа КВВГэ с помощью специального зажима

цов. Этот способ является наилучшим для снижения синфазных помех, особенно на средних и высоких частотах. Коэффициент снижения остается значительным (т. е. много меньше 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 преимуществами посредством использования:

- кабелей с двойным экранированием, при этом с двух сторон заземлять только внешний экран;
- кабелей с одинарным экраном, у которых 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.

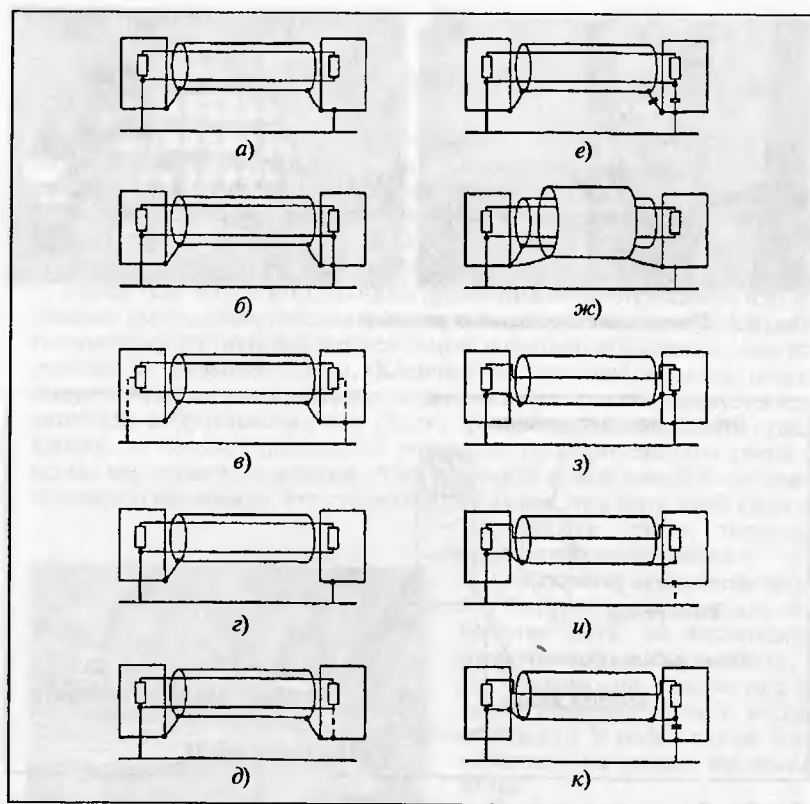


Рис. Е.5. Практические способы заземления жил и экранов кабелей

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 — видом сигналов (цифровые или аналоговые), амплитудой (в вольтах или амперах) и частотным диапазоном.

В табл. Е1 приведена классификация сигналов, состоящая из четырех классов, в порядке убывания чувствительности к электромагнитным возмущениям. Следует отметить, однако, что, хотя в данной классификации

Таблица Е.1. Классификация типовых сигналов в порядке уменьшения чувствительности к внешним возмущениям

№ п/п	Вид сигнала	Обычный уровень	Типичный частотный диапазон
1а	Цифровой высокоскоростной сигнал низкого уровня, например RS-422/V11, G703, Ethernet	0,1 – 5 В	> 20 кГц
1б	Широкополосный аналоговый сигнал, например, от измерителей потока нейтронов	10 мкВ – 1 В	< 10 МГц
2а	Цифровой низкоскоростной сигнал низкого уровня, например, от импульсных генераторов для измерений скорости или положения, RS-232/V28	< 20 В	< 20 кГц
2б	Аналоговый низкочастотный сигнал низкого уровня, например, от датчиков измерения температуры или вибрации	< 1 В	< 1 кГц
3а	Дискретные сигналы среднего уровня, например сигналы управления или указания	> 10 В	< 100 Гц
3б	Аналоговые сигналы среднего уровня, например, от датчиков технологического контроля	1 – 10 В 4 – 20 мА	< 100 Гц
4а	Дискретные сигналы высокого уровня, например сигналы управления выключателями и разъединителями	> 50 В	< 100 Гц
4б	Аналоговые сигналы высокого уровня от трансформаторов тока и напряжения	> 10 В > 20 мА	< 1 кГц

цифровые и аналоговые сигналы отнесены к одному типу (различаются индексами а и б соответственно), подобное сравнение имеет некоторые ограничения вследствие того, что цифровые и аналоговые системы на практике ведут себя совершенно по-разному.

Область применения различных способов заземления жил и экранов кабелей приведена ниже.

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 (п. 4 в табл. Е.1) и для подключения кабелей с сигналами управления или цифровыми сигналами среднего уровня (п. 3 в табл. Е.1). Схема не подходит для подключения кабелей с чувствительными сигналами низкой частоты (п. 2б в табл. Е.1) в асимметричных (несимметричных) цепях; схема также мало подходит для высокоскоростных цифровых цепей, не имеющих опорного потенциала земли (п. 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 (п. 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 сниженным за счет экранирования, все равно появится в виде синфазной помехи на обоих концах (зависит от соотношения сопротивлений нагрузке).

Однако в данной конфигурации синфазное и противофазное напряжения 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 (рис. Е.5, в) или схемам с разделением сигналов низкой и высокой частоты (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 — это обычные схемы соединения для передачи сигналов низкой частоты (п. 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 д видно, что схема на рис. 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 с помощью 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 объединяет в себе достоинства схем на рис. Е.1, а и з, обеспечивая хорошую защиту от помех во всем диапазоне частот. По этой причине схема может использоваться для передачи низкочастотных сигналов низкого уровня (п. 2 в табл. Е.1) в сложной ЭМО.

Схема на рис. Е.5, з 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 (п. 1а в табл. Е.1) на небольшие расстояния (несколько десятков метров) при наличии хорошего заземлителя (см. 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 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 по п. 1 в табл. Е.1.

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

5. При выборе типа кабеля могут помочь следующие общие рекомендации:

- применение 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 тем 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.

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, мм²; $S_{\text{доп}}$ — допустимое сечение для тока 1 кА продолжительностью воздействия 1 с, мм²/кА; 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.

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

При расчете напряжений на ЗУ и токов, протекающих по проводникам и экранам кабелей, необходимо иметь данные о погонных активных

Таблица Ж.1. Допустимое сечение $S_{\text{доп}}$ для тока 1 кА длительною 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

и индуктивных сопротивлениях заземляющих проводников и экранов кабелей.

Зависимости погонных сопротивлений для проводников из стали и меди от их эквивалентного диаметра приведены на рис. Ж.8 – Ж.11.

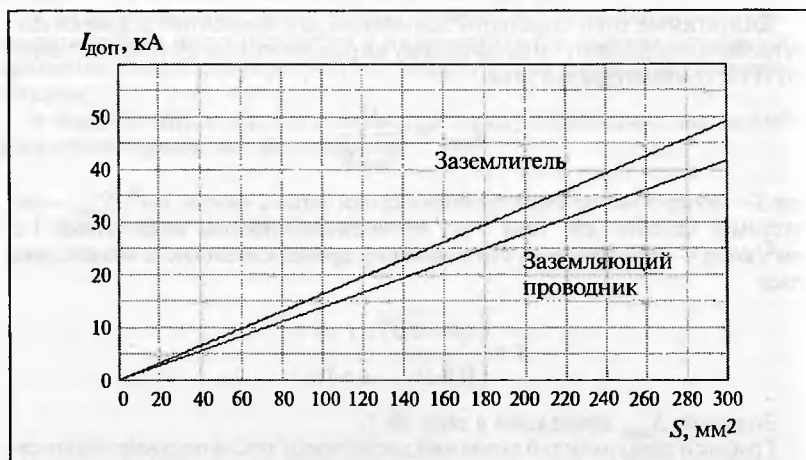


Рис. Ж.1. Допустимый ток КЗ для стальных проводников горизонтального заземлителя и заземляющего проводника, подсоединенного к аппарату, при времени воздействия не более 0,1 с

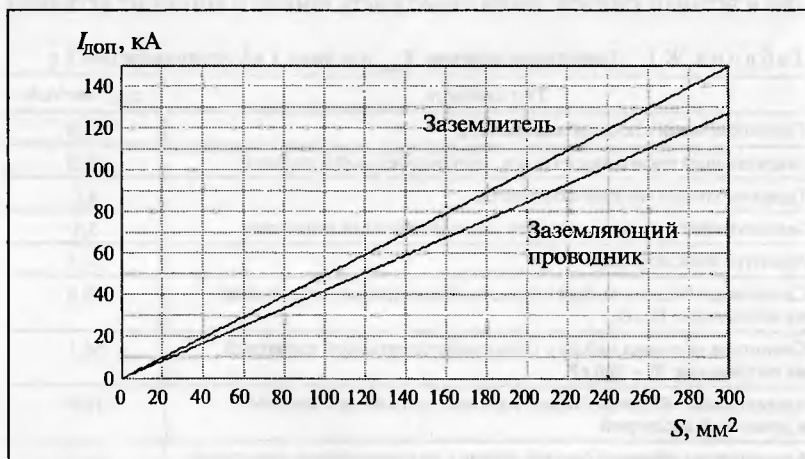


Рис. Ж.2. Допустимый ток КЗ для медных проводников горизонтального заземлителя и заземляющего проводника, подсоединенного к аппарату, при времени воздействия не более 0,1 с

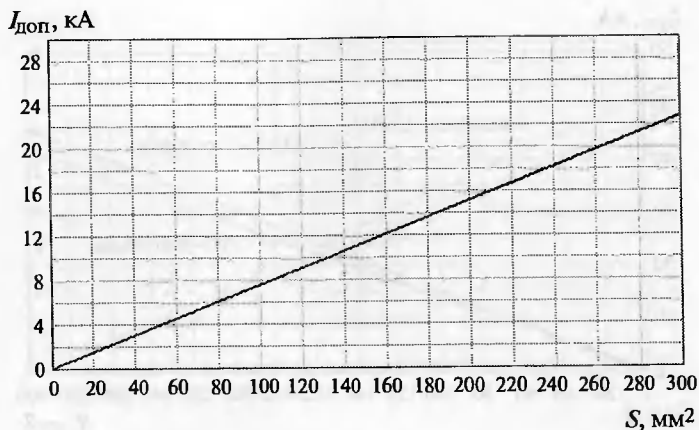


Рис. Ж.3. Допустимый ток КЗ для арматуры железобетона при времени воздействия не более 0,1 с

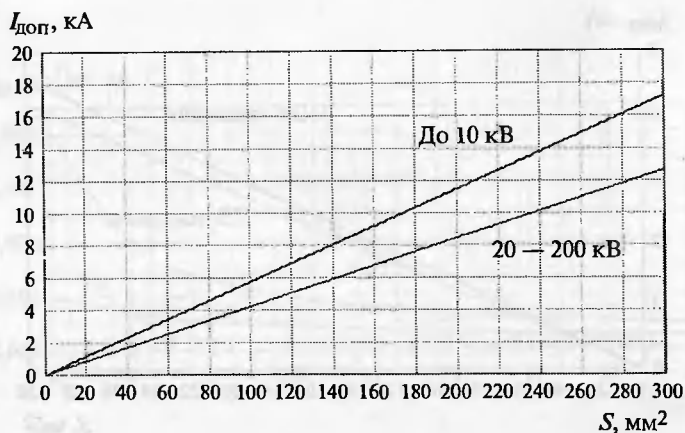


Рис. Ж.4. Допустимый ток КЗ для свинцовой оболочки кабелей с бумажной пропитанной изоляцией на напряжение до 10 и 20 – 200 кВ при времени воздействия не более 0,1 с

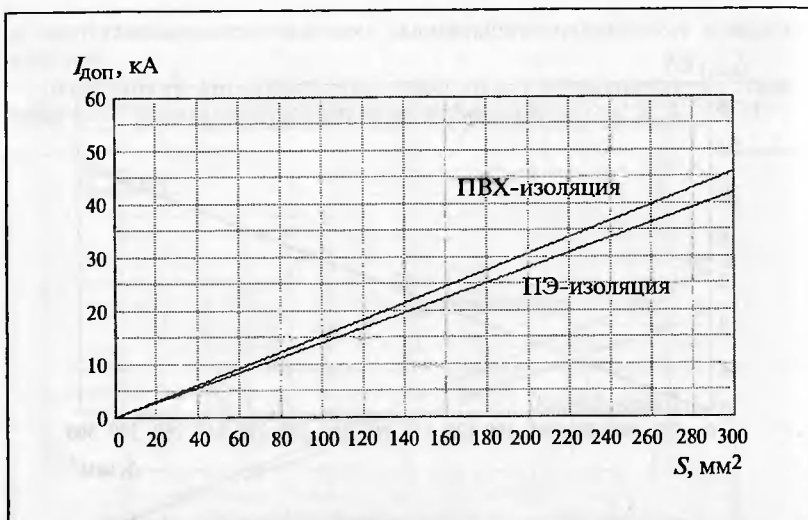


Рис. Ж.5. Допустимый ток КЗ для алюминиевой оболочки кабеля с поливинилхлоридной или резиновой и полиэтиленовой изоляцией при времени воздействия не более 0,1 с

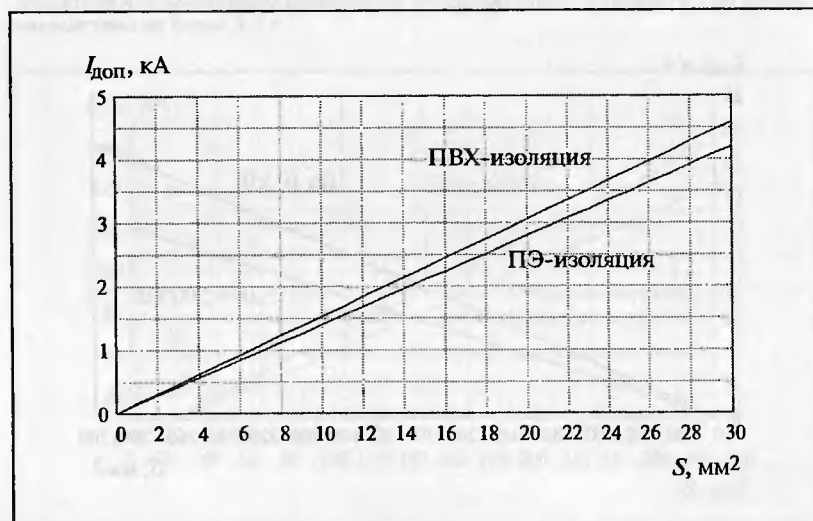


Рис. Ж.6. Допустимый ток КЗ для алюминиевого экрана кабеля с поливинилхлоридной или резиновой и полиэтиленовой изоляцией при времени воздействия не более 0,1 с

$I_{\text{доп}}, \text{кА}$

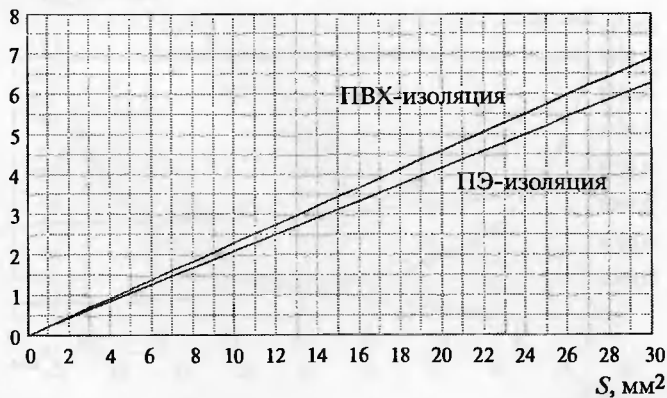


Рис. Ж.7. Допустимый ток КЗ для медного экрана кабеля с поливинилхлоридной или резиновой и полиэтиленовой изоляцией при времени воздействия не более 0,1 с

$r_0, x_0, \text{Ом} \cdot \text{м}$

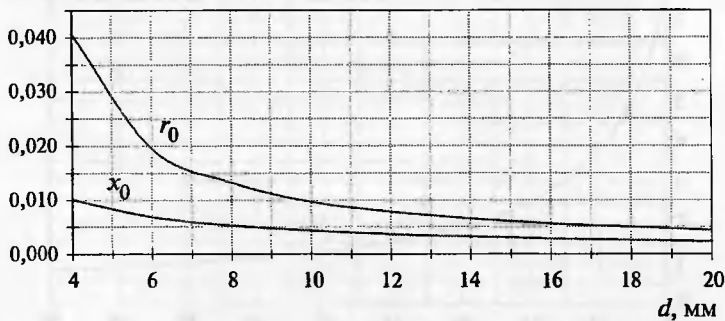


Рис. Ж.8. Зависимость погонных активного r_0 и индуктивного x_0 сопротивлений стального проводника от его диаметра d

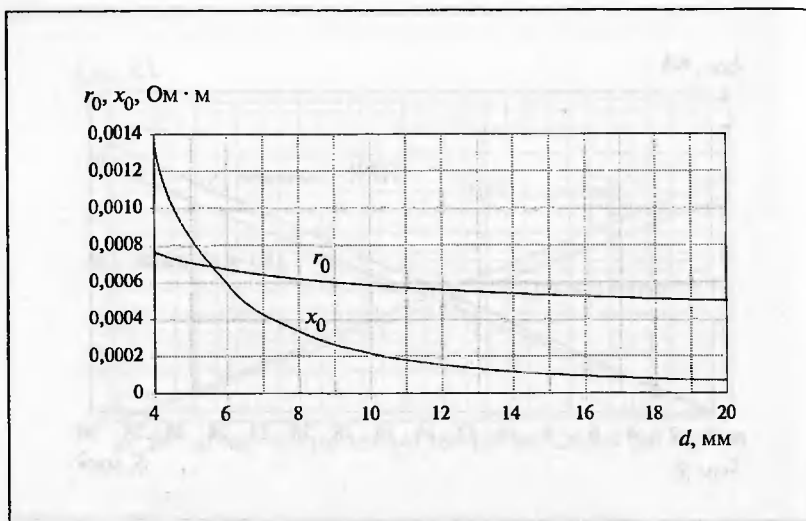


Рис. Ж.9. Зависимость погонных активного r_0 и индуктивного x_0 сопротивлений медного проводника от его диаметра d

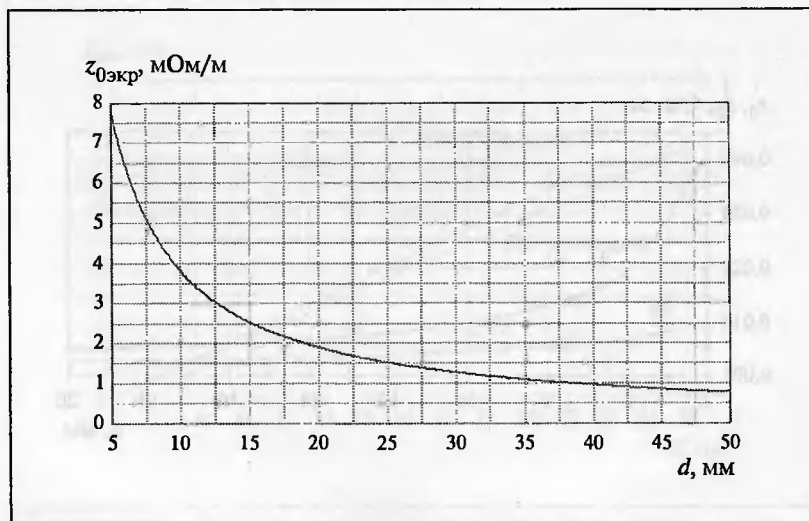


Рис. Ж.10. Зависимость погонного сопротивления медного экрана $z_{0\text{экp}}$ от его наружного диаметра d

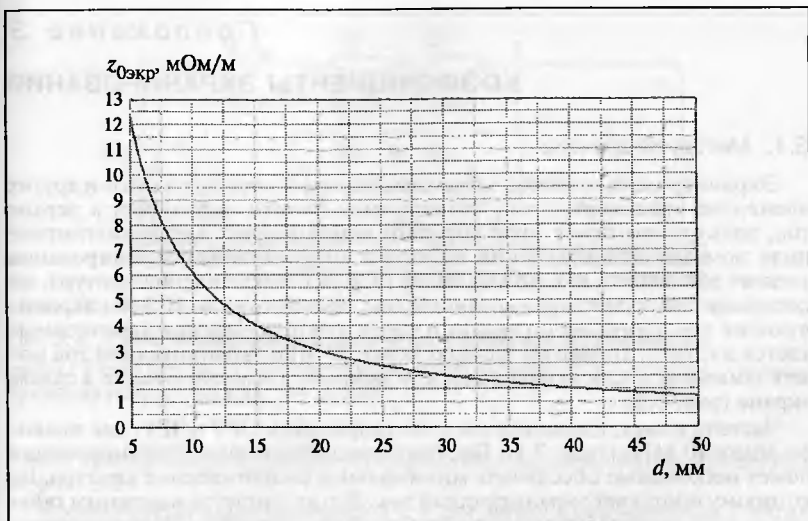


Рис. Ж.11. Зависимость погонного сопротивления алюминиевого экрана $z_{0\text{экp}}$ от его наружного диаметра d

КОЭФФИЦИЕНТЫ ЭКРАНИРОВАНИЯ

3.1. 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 также в самом экране (рис. 3.1).

Частота помех, имеющих место на территории ОРУ и ЗРУ, как правило, ниже 10 МГц (табл. 3.1). Поэтому для эффективного экранирования помех необходимо обеспечить минимальное сопротивление контура, по которому протекает экранирующий ток. Это достигается 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 [3.1].

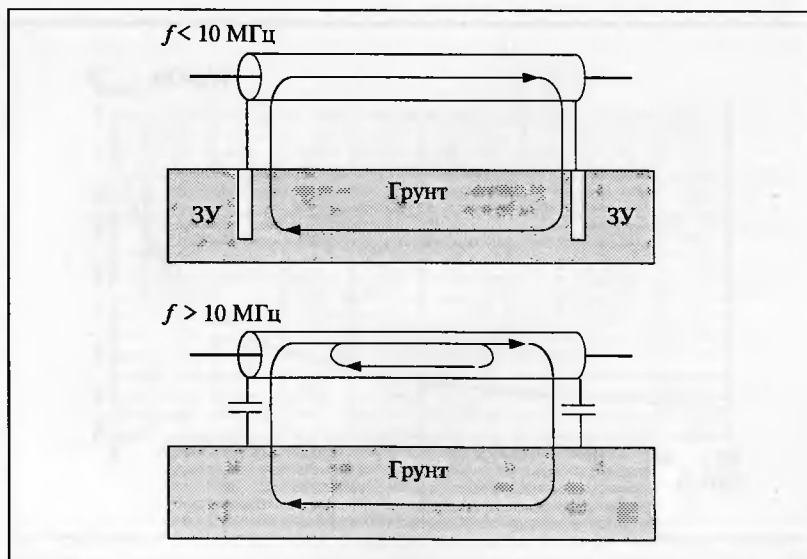


Рис. 3.1. Пути протекания экранирующих токов в зависимости от частоты помехи

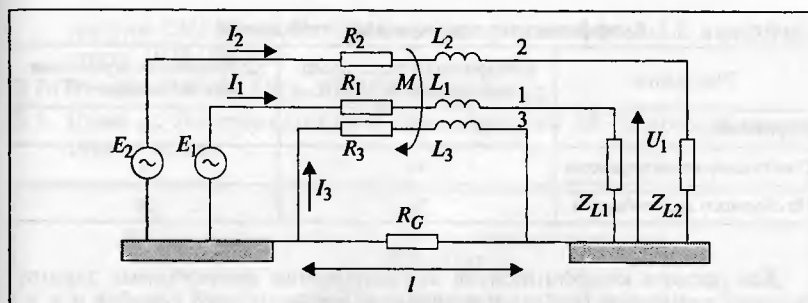


Рис. 3.2. Схема замещения для расчета коэффициента экранирования: индекс 1 соответствует экранируемому проводу; индекс 2 — контуру, генерирующему помеху; индекс 3 — экрану

Схема замещения для расчета коэффициента экранирования приведена на рис. 3.2.

Коэффициент экранирования $K \geq 1$ для линии с заземленным с обеих сторон экраном определяется по общему выражению

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

где l — протяженность системы; $Z_l = (R_3 + j\omega L_l)/l$ — передаточное сопротивление; R_3 — активное сопротивление экрана; $L_l = M_{13} - L_3$ — 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 ($L_g \approx 1$ мкГн/м).

Таблица 3.1. Частота помех, создаваемых различными источниками

Источник помехи	Основная частота
Коммутации, пробой электрической изоляции, срабатывание разрядников в первичных цепях высокого напряжения ОРУ	50 – 1000 кГц
Коммутации, пробой электрической изоляции, срабатывание разрядников в первичных цепях высокого напряжения ЗРУ	1 – 5 МГц
Коммутации, пробой 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

Таблица 3.2. Коэффициенты экранирования стен зданий

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

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 грунте. 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 [3.2] коэффициенты экранирования стен зданий предлагается вычислять, представляя их в виде металлических сеток. Коэффициент экранирования алюминиевой и медной сетки на всех частотах

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

для стальной сетки:
на частоте примерно 25 кГц

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

на частоте примерно 1 МГц:

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

где w — размер ячейки; r — радиус прутка.

Расчет коэффициента экранирования металлических шкафов проведен по соотношению из [3.3] для сферического экрана:

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

где $k = \sqrt{j\omega\sigma}$; $F = kr_0/\mu_r$; σ , μ_r — электропроводность и относительная магнитная проницаемость материала; ω — угловая частота; r_0 — радиус сферического экрана; t — толщина стенки экрана.

3.2. Результаты расчета коэффициентов экранирования

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

Список литературы для Приложения 3

3.1. Руководство по обеспечению электромагнитной совместимости на электрических станциях и подстанциях. Подготовлено Рабочей

группой СИГРЭ-36.04: «ЭМС на электрических станциях и подстанциях». 1977, 196 с.

3.2. Стандарт МЭК 62305–2003. Молниезащита.

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

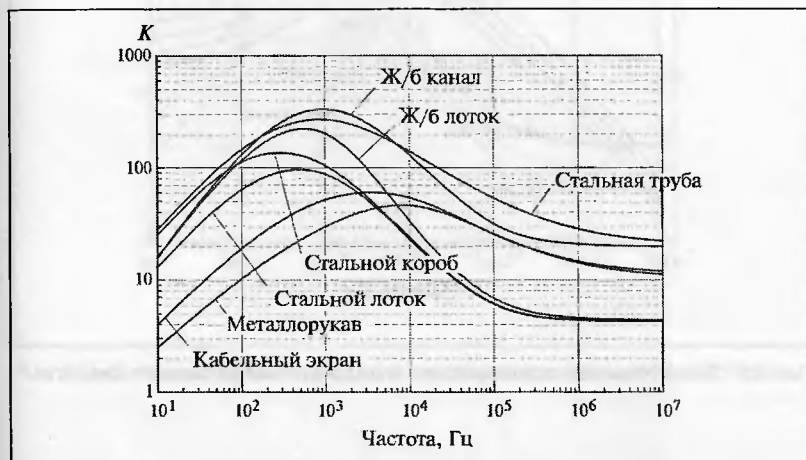


Рис. 3.3. Сравнительные коэффициенты экранирования различных экранирующих элементов

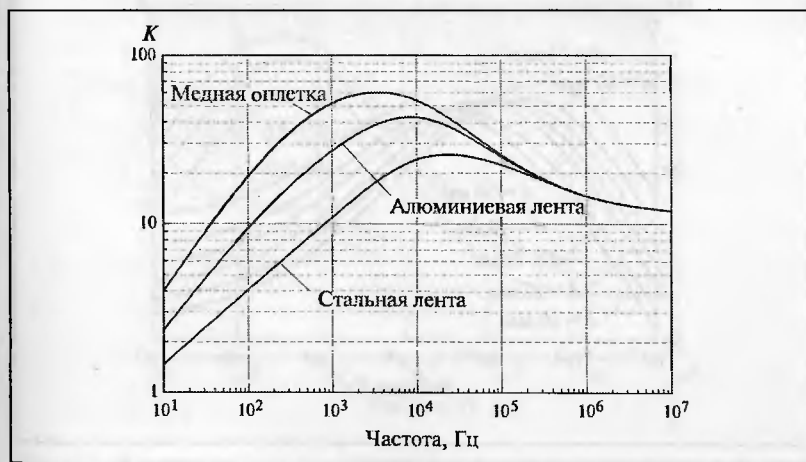


Рис. 3.4. Коэффициенты экранирования кабельных экранов

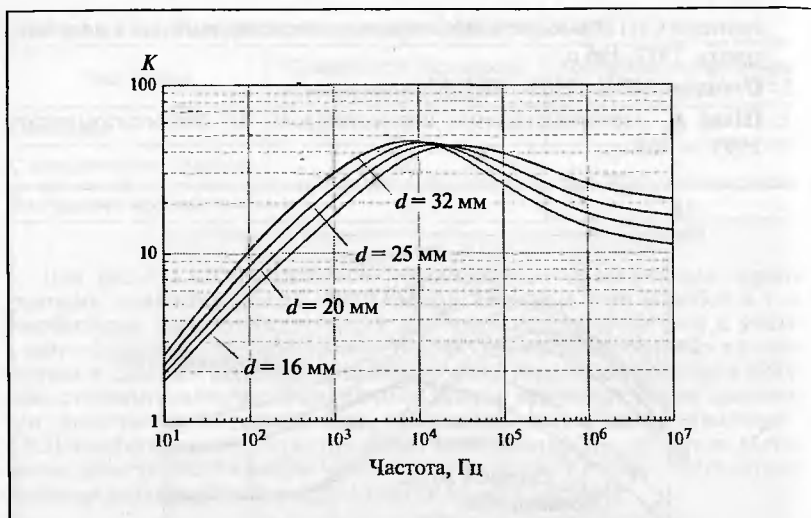


Рис. 3.5. Коэффициенты экранирования металлокабов различного диаметра

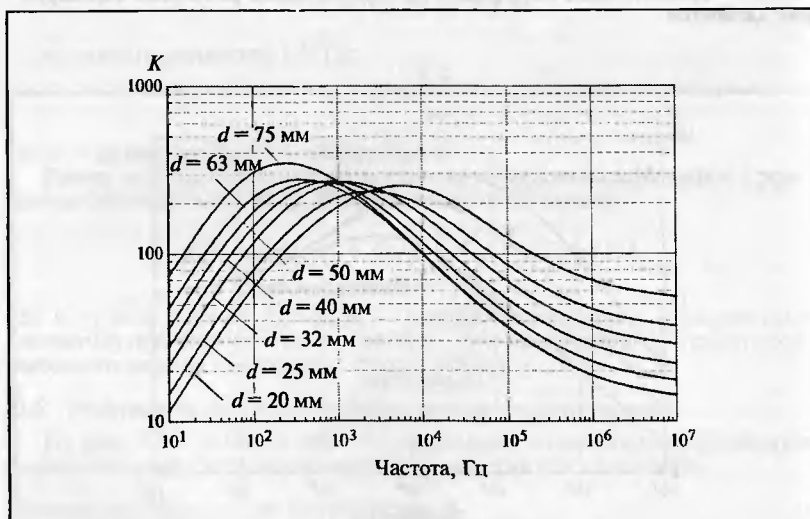


Рис. 3.6. Коэффициенты экранирования стальных толстостенных труб различного диаметра

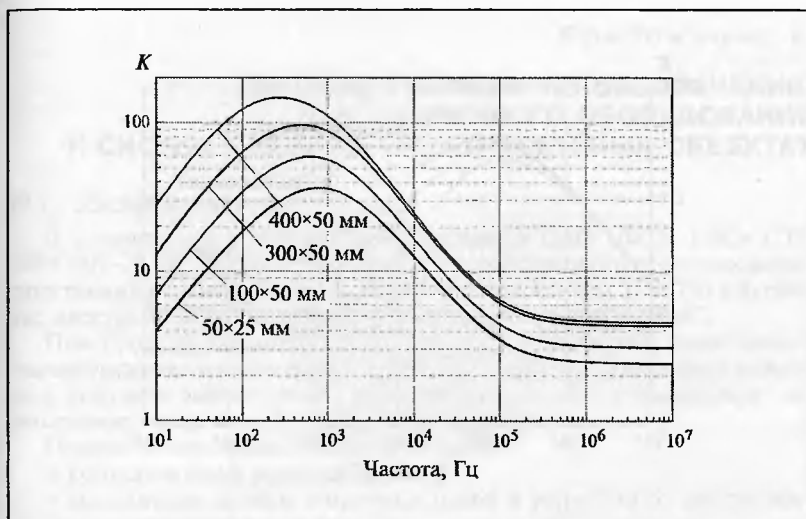


Рис. 3.7. Коэффициенты экранирования стальных лотков различного сечения

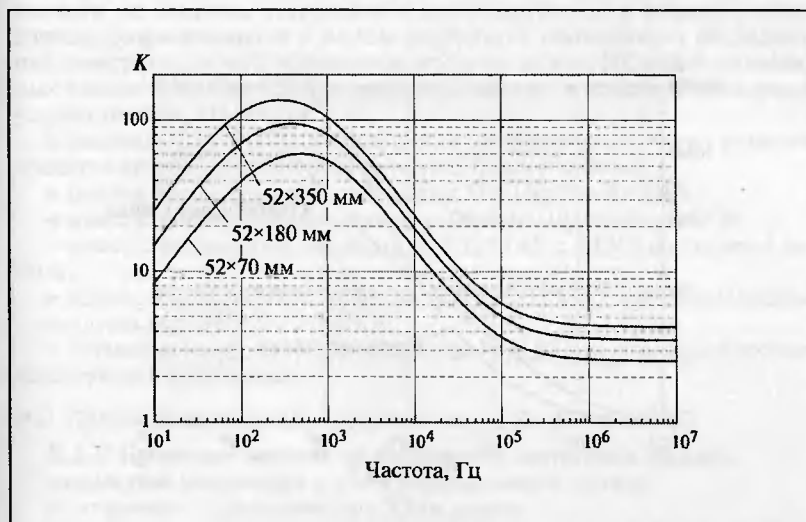


Рис. 3.8. Коэффициенты экранирования стальных коробов различного сечения

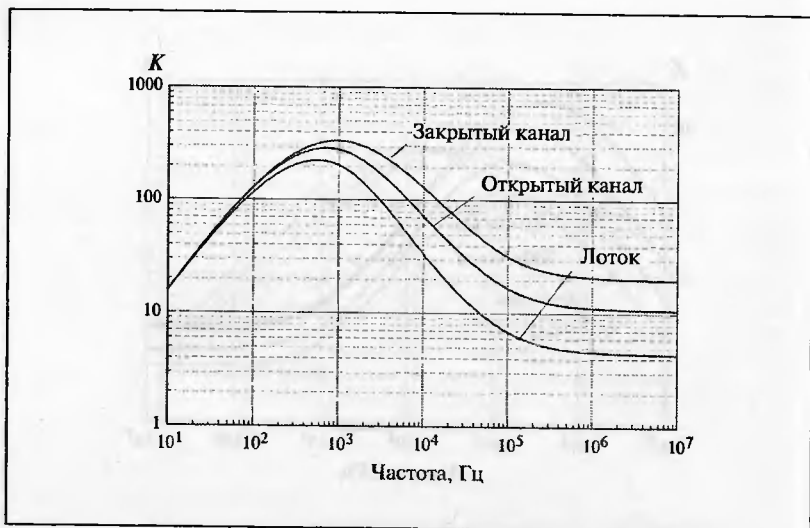


Рис. 3.9. Коэффициенты экранирования железобетонных каналов и лотков (при обеспечении непрерывности электрического соединения)

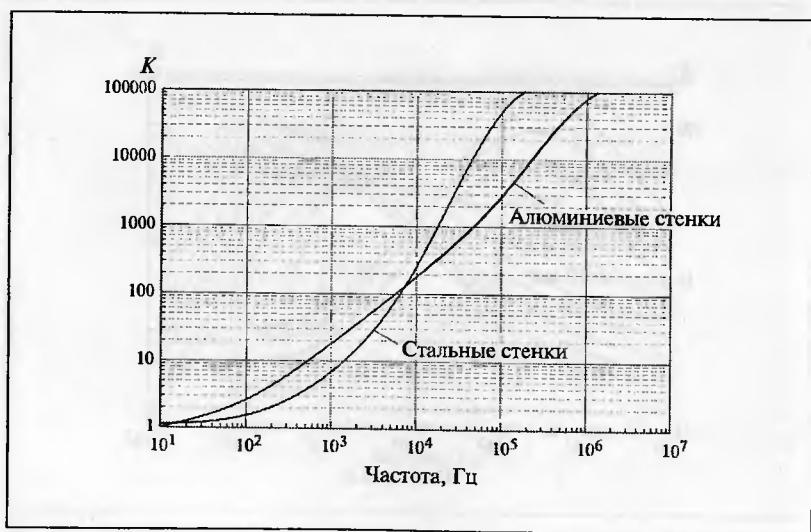


Рис. 3.10. Коэффициенты экранирования металлических шкафов

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 том числе и на ПС противоположных концов ВЛ 110 — 750 кВ, где устанавливаются микропроцессорные устройства РЗА, ПА, связи.

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

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

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

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

На подстанции после реконструкции расположены ОРУ 330 и 110 кВ (с автотрансформаторами АТ-1 — АТ-4). Применена компоновка с рас-

пределенными РЩ: РЩ 330 кВ — в здании ОПУ, РЩ1 и РЩ2 110 кВ — в отдельных зданиях.

Для снижения уровней напряжений и токов промышленной частоты при КЗ на землю применяют систему выравнивания потенциала на ОРУ 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 медный пруткок диаметром 16 мм.

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

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

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

Результаты расчетов.

1. Сопротивление растеканию не превышает 0,14 Ом, а потенциал на ЗУ — 2,0 кВ.

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

Вывод.

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 330 кВ до РЩ 330 кВ и от ОРУ 110 кВ до РЩ 110 кВ выполнена в полузаглубленных железобетонных монолитных кабельных каналах.

Разводка из кабельных каналов к шкафам осуществлена 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 330 кВ удалены от шин высокого напряжения.

Контрольные кабели — экранированные типа КВВГЭ. Заземление экранов производится с двух сторон.

Результаты расчетов.

1. Наибольшие расчетные значения тока высокочастотной составляющей при КЗ на землю составляют:

ОРУ 330 кВ — 3,2 кА;

ОРУ 110 кВ — 1 кА.

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

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

Вывод.

Уровень импульсных помех не превышает допустимых для МП-устройств РЗА значений.

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

Молниезащиту ОРУ 330 и 110 кВ осуществляют с помощью 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 4 кВ.

Вывод.

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 330 кВ.

Результаты расчетов.

1. В помещениях ОПУ напряженность магнитных полей промышленной частоты не превышает 8 А/м.

2. В помещениях РЩ1 и РЩ2 напряженность магнитных полей не превышает 25 А/м, что соответствует 4-й степени жесткости.

Вывод.

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

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 — 3 м).

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 80 А/м. Импульсные магнитные поля от первичных цепей существенно ниже, чем от молний.

Вывод.

На подстанции могут быть установлены устройства, соответствующие 4-й 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 применяют фальшполы с антистатическим покрытием фирмы DOBO.

Результаты измерений и расчетов.

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

Вывод.

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-й степени жесткости.

И.2.8. Проектные решения по защите от наносекундных импульсных помех

Для защиты от наносекундных импульсных помех применяются следующие 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, наведенных внешними электромагнитными полями, применяют экранированные кабели.

Для защиты от взаимного влияния цепей различного назначения силовые кабели и контрольные кабели вторичного оборудования прокладывают на расстоянии не менее 0,25 м.

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 табл. И.1.

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

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

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

В связи с тем что токи КЗ на землю имеют высокие значения, при выполнении заземляющего устройства в качестве заземлителей и заземляющих проводников применяют медную полосу сечением 60×5 мм.

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

Вокруг каждого здания КРУЭ 220, 500 и 20 кВ и переходных пунктов прокладывают горизонтальный заземлитель на расстоянии 1 м от здания. От этого заземлителя выполняются вводы в здание на расстоянии не более 10 м 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 10×10 м.

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

Вокруг здания проходной, маслосборников, насосной станции противопожарного водопровода, резервуара противопожарного запаса воды прокладывают заземлители на расстоянии 1 м 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 60×5 мм². Шину соединяют с закладными металлоконструкциями, оборудованием КРУЭ и высоко-

Таблица И.1. Расчетные значения уровней электромагнитных воздействий и степеней 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)	250 В (2000 В)	Выполнены
2	Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне	На устойчивость к колебательным затухающим помехам: • одиночным; • повторяющимся. ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12-96)	1 кВ (3)	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)	4 кВ (4)	Выполнены
4	Магнитные поля промышленной частоты	На устойчивость к магнитному полю промышленной частоты. ГОСТ Р 50648-94 (МЭК 61000-4-8-93)	— (4)	Выполнены
5	Электромагнитные поля радиочастотного диапазона	На устойчивость к излучаемым радиочастотным электромагнитным полям. ГОСТ Р 51317.4.3-99 (МЭК 61000-4-3-95)	0,1 В/м (3)	Выполнены
6	Импульсные магнитные поля	На устойчивость к импульсному магнитному полю. ГОСТ Р 50649-94 (МЭК 61000-4-10-93)	80 А/м (3)	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)	1 кВ (3)	Выполнены
8	Наносекундные импульсные помехи от электромеханических устройств	На устойчивость к наносекундным импульсным помехам. ГОСТ Р 51317.4.4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4-92)	— (4)	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)	Выполнены

Таблица И.1. (Окончание)

№ п/п	Электромагнитное воздействие	Вид испытаний на помехоустойчивость	Расчетное значение (степень жесткости испытаний)	Условия ЭМС
10	Качество электропитания переменным током	На устойчивость к гармоникам и интергармоникам, к сигналам систем телеуправления и сигнализации в напряжении сети переменного тока. ГОСТ Р 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 61000-4-11 — 94)	Обеспечивается источниками бесперебойного питания	Выполнены
		На устойчивость к несимметрии напряжений электропитания. МЭК 61000-4-27—2000	Обеспечивается источниками бесперебойного питания	Выполнены
		На устойчивость к изменениям частоты питания в сети переменного тока. ГОСТ Р 51317.4.28—2000 (МЭК 61000-4-28—2000)	Обеспечивается источниками бесперебойного питания	Выполнены
11	Кондуктивные помехи	На устойчивость к кондуктивным помехам в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц, действующим на порты электропитания и ввода-вывода сигналов. ГОСТ Р 51317.4.6—99 (МЭК 61000-4-6—96).	— (3) 2 В (длительно)	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)	30 В (3)	

частотной (ВЧ) сеткой. В качестве ВЧ-сетки применяют 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 60 × 5 мм. Число выводов должно быть не менее двух для каждого присоединения КРУЭ. Все оборудование КРУЭ соединяют между собой медной шиной 60 × 5 мм.

Дополнительно в помещении КРУЭ на уровне пола прокладывают сетку из медной шины 5×60 мм с шагом ячейки 1×1 м, связанную с шиной системы уравнивания потенциалов, проложенной по периметру помещения.

И.3.1.4. В помещениях КРУ 20 кВ (10 кВ) корпуса ячеек КРУ соединяются с закладными металлоконструкциями и между собой медной шиной 60×5 мм².

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

И.3.1.5. Для заземления трансформаторов и автотрансформаторов в трансформаторных камерах по периметру прокладывают заземляющую медную шину 60×5 мм, соединенную с закладными металлоконструкциями здания в четырех точках в каждой камере и заземляющими шинами соседних помещений здания. К заземляющей шине присоединяют корпус трансформатора заземляющими проводниками, не менее чем двумя 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 металлоконструкциям. 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 0,6 кВ.

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

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

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

3. Наибольшие расчетные значения напряжения на ЗУ при эквивалентных значениях удельного сопротивления грунта, приведенных к двухслойной модели с учетом промерзания грунта в зимний период, $\rho_1 = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, $\rho_2 = 60 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, $h = 2 \text{ м}$ составляют:

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 110 кВ и выше и двойном замыкании на землю на РУ 20 кВ напряжение промышленной частоты, воздействующее на изоляцию контрольных кабелей, и токи, протекающие по экранам контрольных кабелей, не превышают значений 0,6 кВ и 200 А 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 500, 220 и 110 кВ выполняют 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 0,25 м.

Результаты расчетов.

1. Наибольшие расчетные значения тока высокочастотной составляющей при КЗ на землю составляют:

КРУЭ 110 кВ — 5 кА;

КРУЭ 220 кВ — 10 кА;

КРУЭ 500 кВ — 23 кА.

Частотный спектр составляющих импульсных токов — от 20 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 КЗ на землю на шинах составляют:

КРУЭ 110 кВ — 4,5 кВ;

КРУЭ 220 кВ — 9 кВ;

КРУЭ 500 кВ — 20 кВ.

3. Наибольшие расчетные значения высокочастотных потенциалов на ЗУ агрегатных шкафов в КРУЭ составляют:

КРУЭ 110 кВ — 2,5 кВ;

КРУЭ 220 кВ — 4 кВ;

КРУЭ 500 кВ — 9 кВ.

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

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

Вывод.

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

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. 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.

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

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

И.3.3.4. Должны быть обеспечены 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 5 м.

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 — в подземных кабельных каналах или тоннелях.

Результаты расчетов.

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

Разность потенциалов между зданиями не превышает 4 кВ.

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

Излучаемые импульсные помехи не превышают 1 кВ.

Вывод.

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

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

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

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

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

И.3.4.2. Применена компоновка КРУ, при которой токи по шинам уменьшены примерно в 2 раза.

В КРУ 10 и 20 кВ 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 2 раза.

Результаты расчетов.

1. В здании КРУЭ 220 кВ напряженность магнитного поля от реакторов на всей территории помещений 112 — 114, 121 и 204 (в точках, где устанавливаются шкафы) не превышает значений, соответствующих 4-й 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 превышает 720 А/м, что соответствует 5-й степени жесткости по ГОСТ Р 50648.

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

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

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

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

3. В здании КРУЭ 500 кВ напряженность магнитного поля в помещениях РЩ и ГЩУ от шин КРУЭ 500 кВ в нормальном режиме не превышает 70 А/м, в аварийном режиме — 1000 А/м, что соответствует требованиям 5-й степени жесткости испытаний по ГОСТ Р 50648.

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

Выводы.

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

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

не менее чем по 5-й степени жесткости испытаний по ГОСТ Р 50648 для ячеек КРУ 10 и 20 кВ, помещения ГЩУ и РЩ, помещения ЩПТ здания КРУЭ 500 кВ;

не менее чем по 4-й степени жесткости испытаний по ГОСТ Р 50648 для помещений АСКУЭЭ и АСУ ТП здания КРУЭ 220 кВ.

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

3. В помещении РЩ и ГЩУ здания КРУЭ 500 кВ напряженность магнитного поля не превышает 10 А/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 микропроцессорные устройства размещают 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 — 3 м).

Результаты измерений и расчетов.

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

Наибольшие значения напряженности импульсного магнитного поля — вблизи колонн и стен зданий. В месте размещения МП-устройств наибольшее значение напряженности импульсного магнитного поля от молнии не превышает 300 А/м.

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

Вывод.

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

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

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

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

Результаты измерений и расчетов.

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

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-й 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.3.9.3. Кабели сети постоянного тока, проходящие в распределительном устройстве, прокладывают с экраном или броней.

И.3.9.4. Предусмотрено резервирование питания с применением дидного моста.

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

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

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 0,25 м;
- 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 табл. 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 (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)	600 В/2000 В
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)
3	Импульсные помехи от токов молнии	На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. ГОСТ Р 51317.4.5 (МЭК 61000-4-5)	4 кВ (4)
4	Магнитные поля промышленной частоты	На устойчивость к магнитному полю промышленной частоты. ГОСТ Р 50648 (МЭК 61000-4-8)	70 А/м (5)
5	Электромагнитные поля радиочастотного диапазона	На устойчивость к излучаемым радиочастотным электромагнитным полям. ГОСТ Р 51317.4.3 (МЭК 61000-4-3)	0,1 В/м (3)
6	Импульсные магнитные поля	На устойчивость к импульсному магнитному полю. ГОСТ Р 50649 (МЭК 61000-4-10)	300 А/м (4)
7	Разряды статического электричества	На устойчивость к разрядам статического электричества. ГОСТ Р 51317.4.2 (МЭК 61000-4-2, МЭК 60255-22-2)	1 кВ (2)
8	Наносекундные импульсные помехи от электромеханических устройств	На устойчивость к наносекундным импульсным помехам. ГОСТ Р 51317.4.4 (МЭК 61000-4-4, МЭК 60255-22-4)	(4)
9	Качество электропитания постоянным током	На устойчивость к пульсациям напряжения постоянного тока. ГОСТ Р 51317.4.17 (МЭК 61000-4-17)	2,5 % (3)
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

Таблица И.2. (Окончание)

№ п/п	Электромагнитное воздействие	Вид испытаний на помехоустойчивость	Расчетное значение (рекомендуемая степень жесткости испытаний)
		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 61000-4-27	Обеспечивается источниками бесперебойного питания
		На устойчивость к изменениям частоты питания в сети переменного тока. ГОСТ Р 51317.4.28 (МЭК 61000-4-28)	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 61000-4-6)	— (3)
		На устойчивость к кондуктивным помехам в полосе частот от 0 до 150 кГц. ГОСТ Р 51317.4.16 (МЭК 61000-4-16)	— (4)

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 КЗ на землю

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

Для снижения уровней напряжений и токов промышленной частоты при КЗ 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 $6 \times 50 \text{ мм}^2$.

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 стальной оцинкованной полосы $60 \times 5 \text{ мм}^2$. Размеры ячейки сетки — от 3 до 12 м.

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

И.4.1.3. В помещениях КРУЭ 220 и 110 кВ 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 1 м.

По периметру помещения КРУЭ прокладывают полосу стальную оцинкованную $60 \times 5 \text{ мм}^2$ на высоте 0,5 м.

Заземление КРУЭ выполняют в соответствии с заводскими чертежами, полученными 08.02.07.

Внутренний контур заземления КРУЭ присоединяют к общему контуру не менее чем в двух 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 20 кВ (10 кВ) корпуса ячеек КРУ соединяют с закладными металлоконструкциями и между собой шиной $6 \times 50 \text{ мм}^2$.

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

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

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

На полу трансформаторной камеры выполняется сетка из шин $6 \times 50 \text{ мм}^2$ с шагом не более $10 \times 10 \text{ м}$. Корпус трансформатора присоединяют к точке пересечения шин для обеспечения растекания тока в четырех 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 с помощью сварки или болтовых соединений (не менее двух точек для каждого шкафа). Закладные металлоконструкции связывают с шиной системы уравнивания потенциалов и между собой с шагом не более 10 м.

Результаты расчетов.

1. При замыкании на землю уровни напряжений промышленной частоты, воздействующих на изоляцию контрольных кабелей, и токов, протекающих по экранам контрольных кабелей, не превышают допустимых значений.

2. Сопротивление растеканию тока заземляющего устройства ПС не превышает 0,2 Ом. Напряжение на ЗУ не превышает 10 кВ, что соответствует требованиям ПУЭ п. 1.7.89.

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

4. Необходимо выполнять не менее двух заземляющих проводников от оборудования к ЗУ для обеспечения допустимой температуры заземляющих проводников при КЗ на землю.

5. Напряжение на ЗУ превышает 5 кВ.

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 0,25 м.

Результаты расчетов.

1. Наибольшие расчетные значения тока высокочастотной составляющей при коротком замыкании на землю составляют:

КРУЭ 220 кВ — 10 кА;

переходной пункт — 5 кА.

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 составляют:

КРУЭ 220 кВ — 9 кВ;

переходной пункт — 7 кВ.

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

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

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 сетку 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 0 м — 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 2 кВ.

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

Излучаемые импульсные помехи не превышают 1 кВ.

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 2 раза.

В КРУ 20 кВ 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 2 раза.

Результаты расчетов.

1. Электромагнитная обстановка 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-й степени жесткости испытаний по ГОСТ Р 50648 для ячеек КРУ 20 кВ (при расположении вводной и секционной ячеек в середине каждой секции КРУ), помещений ЩСН и ЩПТ здания КРУЭ 500 кВ;

- не менее чем по 4-й степени жесткости испытаний по ГОСТ Р 50648 для помещений панелей РЩ, ЩТП, АСУ ТП, АИИС КУЭ, ЛАЗ и серверной;

- по 3-й степени жесткости испытаний по ГОСТ Р 50648 в помещении АРМ.

3. В помещениях персонала СДТУ и релейного персонала напряженность поля не превышает 50 А/м, что соответствует требованиям правил техники безопасности и охраны труда для 8-часовой рабочей смены персонала.

4. Для снижения уровней полей, создаваемых шинами КРУ 20 кВ 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 – 3 м).

Результаты измерений и расчетов.

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

И.4.6. Проектные решения по обеспечению допустимых уровней воздействий импульсных магнитных полей

И.4.6.1. Использование металлических конструкций зданий в качестве тоководов (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 практически в коаксиальной системе.

Результаты расчетов.

1. Электромагнитная обстановка в отношении воздействия импульсных магнитных полей в помещениях КРУЭ 220 кВ, ЗРУ 10(20) кВ характеризуется как жесткая (на расстояниях более 1 и 4 м от внешних стен).

2. Импульсное магнитное поле имеет наибольшую напряженность вблизи колонн и стен зданий. В местах размещения МП-устройств наи-

большая напряженность импульсного магнитного поля от молнии не превышает 300 А/м.

3. На подстанции могут быть установлены устройства, испытанные по 4-й 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 20 кВ применяют покрытие пола на бетонной основе;
- в помещении РЩ, серверной, ЛАЗ применяют фальшполы с антистатическим покрытием фирмы DOVO.

Результаты измерений и расчетов.

1. Электромагнитная обстановка в отношении воздействия разрядов статического электричества в помещениях здания характеризуется как обстановка средней тяжести.

2. Наибольшее значение электростатического потенциала тела человека во всех помещениях с микропроцессорной аппаратурой ПС не превышает 1,0 кВ. Микропроцессорная аппаратура РЗ, ПА, АСУ ТП, АСКУЭЭ, связи, устанавливаемая в этих помещениях, должна быть испытана не менее, чем по 2-й 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 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 (50 мс).

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.

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)	1000 В/2000 В	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 и 1 кВ (3)	Выполнены
3	Импульсные помехи от токов молнии	На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. ГОСТ Р 51317.4.5 (МЭК 61000-4-5)	4 кВ (4)	Выполнены
4	Магнитные поля промышленной частоты	На устойчивость к магнитному полю промышленной частоты. ГОСТ Р 50648 (МЭК 61000-4-8)	— (4) — (5)	Выполнена, кроме КРУ, ШСН. Сделать запрос производителю
5	Электромагнитные поля радиочастотного диапазона	На устойчивость к излучаемым радиочастотным электромагнитным полям. ГОСТ Р 51317.4.3 (МЭК 61000-4-3)	0,1 В/м (3)	Выполнены
6	Импульсные магнитные поля	На устойчивость к импульсному магнитному полю. ГОСТ Р 50649 (МЭК 61000-4-10)	300 А/м (4)	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)	1 кВ (3)	Выполнены
8	Наносекундные импульсные помехи от электромеханических устройств	На устойчивость к наносекундным импульсным помехам. ГОСТ Р 51317.4.4 (МЭК 61000-4-4, МЭК 60255-22-4)	— (4)	Выполнены
9	Качество электропитания постоянным током	На устойчивость к пульсациям напряжения постоянного тока. ГОСТ Р 51317.4.17 (МЭК 61000-4-17)	2,5 % (4)	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 источником бесперебойного питания	Выполнены

Таблица И.3. (Окончание)

№ п/п	Электромагнитное воздействие	Вид испытаний на помехоустойчивость	Расчетное значение (степень жесткости испытаний)	Условия ЭМС
		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 61000-4-27	Обеспечивается источниками бесперебойного питания	Выполнены
		На устойчивость к изменениям частоты питания в сети переменного тока. ГОСТ Р 51317.4.28 (МЭК 61000-4-28)	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 61000-4-6). На устойчивость к кондуктивным помехам в полосе частот от 0 до 150 кГц. ГОСТ Р 51317.4.16 (МЭК 61000-4-16)	— (3)	Выполнены

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 0,25 м;
- в одном контрольном кабеле не прокладывают 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 электромагнитной обстановки 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 табл. И.3.

И.5. Новое строительство подстанции 500/220 кВ 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 500 кВ с двумя АТ 500/220/10 кВ, ОПУ, совмещенное с ЗРУ 10 кВ, вспомогательные здания и сооружения.

Подстанция вводится в эксплуатацию с поочередным пуском ОРУ: 220 и 500 кВ.

Первый пусковой комплекс — 220 кВ.

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

В качестве заземлителей и заземляющих проводников применяют полосу стальную оцинкованную 40×6 мм² и сталь круглую оцинкованную диаметром 16 мм.

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 1 м от здания, от которого выполнены вводы в здание — четыре заземляющих проводника. На ОРУ 220 кВ выполнена сетка из горизонтальных заземлителей с неравномерным шагом.

Заземляющее устройство ОРУ 220 кВ соединено с заземляющим устройством здания ОПУ четырьмя заземлителями.

В здании ОПУ выполняют внутренний контур заземления на высоте 0,4 м 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 — 5 м; между рядами шкафов не менее чем в четырех точках.

Внутри всех помещений по периметру по стене прокладывают замкнутую шину системы уравнивания потенциалов на высоте 0,4 м от пола. Шины в помещениях на разных отметках по высоте соединяют между собой вертикальными шинами (не менее четырех). Шины на отметке 0 м соединяют с вводами от наружного заземлителя.

Результаты расчетов.

Наибольшее напряжение на кабелях или устройствах при всех режимах не превышает 1,8 кВ.

Наибольшее значение тока в экранах вторичных кабелей, проложенных от РУ до РЩ, не превышает 315 А. Для кабелей типа КВВГЭ допустимый по термической стойкости ток в экране (при времени протекания менее 0,1 с) — 385 А.

Расчетное значение напряжения на ЗУ не превышает 9,2 кВ.

Выводы.

При замыкании на землю уровни напряжений промышленной частоты, воздействующих на изоляцию контрольных кабелей (типа КВВГЭ), и токов, протекающих по экранам контрольных кабелей, не превышают допустимых значений (при времени протекания тока менее 0,1 с).

Напряжение на ЗУ превышает 5 кВ, 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 220 кВ 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 40×6 мм², прокладываемой по верху кабельных каналов с двух сторон. Полосу, проложенную в кабельном канале, присоединяют к устройству заземления ПС в местах пересечения кабельных каналов с продольными и поперечными заземлителями.

Силовые кабели и контрольные кабели прокладывают отдельно с контрольными или на расстоянии не менее 0,25 см.

Результаты расчетов.

И.5.2.3. Наибольшее значение наведенных напряжений для неэкранированных кабелей не превышает 2,5 кВ.

При применении экранированных кабелей с коэффициентом экранирования более 6 (типа КВВГЭ) наведенные импульсные помехи при коммутациях и КЗ не превышают 0,5 кВ.

И.5.2.4. Наибольшие расчетные значения тока высокочастотной составляющей при коротком замыкании на землю на ОРУ 220 кВ составляют 2,6 кА. Частотный спектр составляющих импульсных токов — от 0,1 до 2 МГц.

И.5.2.5. Расчетные значения импульсного напряжения на ЗУ оборудования при КЗ не превышают 20 кВ, а на МП-устройствах (с учетом коэффициента затухания примерно 6) для цепей, заземленных на ОРУ, могут составить более 3 кВ. При коммутациях наибольшие значения ампли-

И.5.5. Проектные решения по защите от электромагнитных полей радиочастотного диапазона

На подстанции и вблизи нее нет мощных радиопередающих устройств. Наибольшее значение напряженности поля, создаваемого внешними и внутренними источниками в местах установки микропроцессорной аппаратуры не превышает 0,1 В/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 — 3 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 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 50 А/м.

Импульсные магнитные поля от первичных цепей существенно ниже, чем от молнии, так как ошиновка расположена на значительном расстоянии (более 60 м) 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-й 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 10 кВ применяют покрытие пола — керамическую плитку;
- в помещении ТСН применяют покрытие пола — бетон;
- в помещениях панелей РЗА, дежурного, серверной, ЩСН и ЩПТ применяют фальшполы с антистатическим покрытием.

В помещениях оперативного персонала, АРМ, РЗА, АСУ, мониторинга АТ и кабинете начальника ПС применяют ламинированный паркет.

Результаты расчетов.

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

туды импульсных токов и соответственно напряжений на ЗУ оборудования будут примерно в 5 раз меньше.

Вывод.

Уровень излучаемых импульсных помех при коммутациях и коротких замыканиях не превышает 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 четыре молниеприемника, расположенных на порталах ОРУ, и семь 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 для отдельно стоящих молниеотводов составляет 3 — 5 Ом. Для антенной мачты расчетное значение сопротивления ЗУ — 7,5 Ом, а для порталных молниеотводов — 1 — 3 Ом. Потенциалы на поверхности земли и заземлителях вблизи кабельных каналов на ОРУ 220 кВ не превышают 150 кВ, за исключением порталного молниеотвода М4 вблизи ТН 2СШ.

И.5.3.3. Излучаемые импульсные помехи при применении кабелей с экраном (броней, оболочкой), заземленных с двух сторон, не превышают 4 кВ.

Выводы.

При ударе молнии в молниеотводы излучаемые импульсные помехи при применении кабелей с экраном (броней, оболочкой), заземленных с двух сторон, не превышают 4 кВ.

И.5.4. Проектные решения по обеспечению допустимых уровней воздействий магнитных полей промышленной частоты

Напряженность поля, создаваемого в точке установки терминалов в ячейках КРУ 10 кВ в нормальном режиме (на расстоянии 0,84 м от центра шин) не превышает 20 А/м, что соответствует требованиям 4-й степени жесткости по ГОСТ Р 50648.

В аварийном режиме напряженность поля не превышает 300 А/м, что соответствует 4-й степени жесткости по ГОСТ Р 50648.

В помещении РЩ и ЩПТ напряженность магнитного поля не превышает 10 А/м.

Выводы.

Микропроцессорная аппаратура РЗА, АСУ ТП, АСКУЭЭ, связи, должна быть испытана:

- не менее чем по 4-й степени жесткости по ГОСТ Р 50648 для ячеек КРУ-10 кВ;
- не менее чем по 3-й степени жесткости по ГОСТ Р 50648 для помещений щита постоянного тока и РЩ.

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-й 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 (50 мс).

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. Систему электропитания TN-S.

И.5.10.2. 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 0,25 м;
- в одном контрольном кабеле не прокладывают цепи, по которым передают сигналы различных типов;
- для передачи одного сигнала не используются жилы разных контрольных кабелей.

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)	1800 В/2000 В	Выполнены
2	Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне	На устойчивость к колебательным затухающим помехам: • одиночным; • повторяющимся. ГОСТ Р 51317.4.12 (МЭК 61000-4-12)	2,5 кВ и 1 кВ (3)	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)	4 кВ (4) (4 кВ)	Выполнены
4	Магнитные поля промышленной частоты	На устойчивость к магнитному полю промышленной частоты. ГОСТ Р 50648 (МЭК 61000-4-8)	10 А/м (4) 20 А/м в КРУ	Выполнены
5	Электромагнитные поля радиочастотного диапазона	На устойчивость к излучаемым радиочастотным электромагнитным полям. ГОСТ Р 51317.4.3 (МЭК 61000-4-3)	0,1 В/м (3)	Выполнены
6	Импульсные магнитные поля	На устойчивость к импульсному магнитному полю. ГОСТ Р 50649 (МЭК 61000-4-10)	50 А/м (3)	Выполнены
7	Разряды статического электричества	На устойчивость к разрядам статического электричества. ГОСТ Р 51317.4.2 (МЭК 61000-4-2, МЭК 60255-22-2)	1 кВ (3)	Выполнены
8	Наносекундные импульсные помехи от электромеханических устройств	На устойчивость к наносекундным импульсным помехам. ГОСТ Р 51317.4.4 (МЭК 61000-4-4, МЭК 60255-22-4)	— (4)	Выполнены
9	Качество электропитания постоянным током	На устойчивость к пульсациям напряжения постоянного тока. ГОСТ Р 51317.4.17 (МЭК 61000-4-17)	2,5 % (соответствует РД 34.35.310-97)	Выполнены

И.5.12. Авторский надзор за выполнением проекта и приемо-сдаточные испытания

И.5.12.1. Предусмотрено проведение измерений для контроля электромагнитной обстановки 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 табл. И.4.

И.6. Установка микропроцессорных устройств релейной защиты на действующей подстанции 500 кВ

И.6.1. Краткая характеристика объекта

Подстанция открытого типа 500/220/110/6 кВ, на территории которой расположены ОРУ 110, 220 и 500 кВ, здание ГЩУ, здание машзала и РЩ 500 кВ.

На ПС устанавливают следующие терминалы:

- фирмы ABB: FOX 515 — мультиплексор;
- фирмы Siemens: Siprotec 7SA52, 6MD66 — резервные защиты, Siprotec 7SD5 — основные защиты.

Схема распрестоустройства 500 кВ — две рабочие системы шин с двумя выключателями на присоединение. От ОРУ 500 кВ отходят три 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 500 кВ до РЩ 500 кВ выполнена в существующих кабельных каналах на глубине 1 м. Для цепей напряжения и управления применяют существующие контрольные кабели. Для цепей тока 500 кВ проложены новые экранированные контрольные кабели.

Устройства РЗА питаются постоянным оперативным током от аккумуляторных батарей АБ-1, АБ-2, установленных в здании РЩ 500 кВ.

Расчетные значения токов однофазного КЗ на шинах 500 кВ для ПС составляют:

- в месте КЗ — 7 кА;
- в нейтрали T_1 — 0,4 кА;
- в нейтрали T_2 — 0,27 кА.

Удельное сопротивление грунта ρ , приведенное к двухслойной модели, составляет (с учетом промерзания в зимний период):

- верхнего слоя — 200 Ом · м (толщина верхнего слоя — 1,5 м);
- 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 500 кВ.

Выявлен следующий недостаток: сопротивления связи КС и агрегатных шкафов ВВ, ТН ВЛ 500 кВ М превышают 0,05 Ом.

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 ОРУ 500 кВ уровни напряжений, действующих на изоляцию кабелей, и токов по заземленным с обеих сторон экранам контрольных кабелей превышают допустимые значения.

При КЗ на остальном оборудовании ОРУ 500 кВ уровни напряжений, действующих на изоляцию кабелей, и токов по заземленным с обеих сторон экранам контрольных кабелей не превышают допустимых значений.

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 500 кВ. 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 Interferences. Расчетное значение ВЧ-составляющей тока КЗ на ОРУ 500 кВ составило 3,5 кА.

Импульсные помехи, вызванные подъемом потенциала заземлителя, превышают допустимые значения в цепях напряжения при КЗ на ТН на ОРУ 500 кВ.

И.6.2.2.2. Результаты измерений и расчетов импульсных излучаемых помех 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 Interferences.

Импульсные излучаемые помехи на терминалах при КЗ и коммутациях на ОРУ 500 кВ 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 протоколах 4 и 5.

ПРОТОКОЛ № 1. Токи и напряжения промышленной частоты при коротком замыкании на землю

№ кабели, 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 броня, А		Наибольшее напряжение на кабеле или аппаратуре, кВ	Наибольший ток в экране, оболочке или броня, А		
ОРУ 500 кВ (ток КЗ 7 кА, нейтраль трансформаторов 0,67 кА)									
—	БШУ — оборудование ОРУ 500 кВ	КС ВЛ 500 кВМ	3,5	700	0,1	2,0	380	Превышает норму	Реконструкция ЗУ
—	БШУ — оборудование ВЛ 500 кВ	Остальное оборудование ВЛ 500 кВМ	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	14.02.07	
3	Расчеты проведены по программе	ОРУ-М 2.1.20		№ регистрации		2002611768	От 15.10.02		

Заключение.

При КЗ на КС ВЛ Мытищинская ОРУ 500 кВ уровни напряжений, воздействующих на изоляцию кабелей, и токов по заземленным с обеих сторон экранам контрольных кабелей превышают допустимые значения.

При КЗ на остальном оборудовании ВЛ Мытищинская ОРУ 500 кВ уровни напряжений, воздействующих на изоляцию кабелей, и токов по заземленным с обеих сторон экранам контрольных кабелей не превышают допустимых значений.

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		$f, \text{МГц}$	Z оборудования, Ом	$K_{\text{перед}}$, отн. ед.	$I_{\text{вч}}$, 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 отключения	ВВ 2 СШ л. М	2,5	1	4	50	3,5	0,3	1	В норме	—	—
Цепи отключения	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		14.02.07
3	Расчеты проведены по программе	Interferences			№ регистрации		2004610419		От 11.02.04		

Заключение.

Импульсные помехи, вызванные подъемом потенциала заземлителя, превышают допустимые значения в цепях напряжения при КЗ на ТН л. Владимирская на ОРУ 500 кВ

При ударе молнии в молниеотводы М1 и М2 на ОРУ 500 кВ перенапряжения в цепях, проложенных по существующим кабельным трассам, могут превысить допустимые значения.

При ударах молнии в молниеотводы М1 и М2 на ОРУ 500 кВ возможно обратное перекрытие с заземляющего устройства на контрольные кабели.

При ударе молнии в остальные молниеотводы перенапряжения не превышают допустимых значений.

И.6.2.4. Электромагнитные поля и кондуктивные помехи радиочастотного диапазона.

Результаты измерений и расчетов приведены в протоколах 7 и 10.

Уровни фоновых электромагнитных полей радиочастотного диапазона в РЩ 500 кВ не превышают допустимых значений.

Вблизи переносных радиопередающих устройств (ближе 2 – 3 м) мощностью более 4 Вт напряженность электромагнитного поля может превысить допустимые уровни.

Уровни кондуктивных помех, наведенных полями радиочастотного диапазона, в цепях РЗА в РЩ 500 кВ не превышают допустимых значений.

И.6.2.5. Магнитные поля промышленной частоты.

Результаты измерений и расчетов приведены в протоколе 8.

Уровни напряженности магнитного поля 50 Гц в помещениях РЩ 500 кВ в нормальном и аварийном режимах не превышают 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 помещениях РЩ 500 кВ не превышают допустимых значений для аппаратуры Siemens.

Уровни электростатического потенциала тела человека в помещениях РЩ 500 кВ 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 постоянном оперативном токе в помещениях РЩ 500 кВ не превышают допустимых значений.

Импульсные помехи при КЗ и коммутациях в постоянном оперативном токе в помещениях РЩ 500 кВ 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 500 кВ не превышает допустимых значений, соответствующих 4-й степени жесткости по ГОСТ Р 50649.

И.6.2.9. Взаимное влияние кабелей.

Результаты измерений приведены в протоколе 12.

Уровни наводок промышленной частоты в контрольных кабелях в помещениях РЩ 500 кВ не превышают значений, соответствующих 3-й степени жесткости по ГОСТ Р 51317.4.16.

ПРОТОКОЛ № 3. Импульсные излучаемые помехи

Кабель (вид цепей)	Трасса прокладки кабеля (№ трас- сы)	Коэффи- циент экраниро- вания, отн. ед.	Расчетно-экспериментальные воздействия					Степень жестко- сти испытаний (или допустимый уровень воздейст- вия, кВ)	Выводы	Рекомен- дации
			При коммутациях		При КЗ					
			Вид ком- мутации	Наибольшее напряжение на устройст- ве, кВ	Место КЗ	Наибольшее напряжение на устройст- ве, кВ				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
РЩ 500 кВ										
ТН, ТТ, цепи управления	ВЛ М РЩ 500 кВ	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	14.02.07
3	Расчеты проведены по программе	Interferences 2.2.61	№ регистрации	2004610419	От 11.02.04	

Заключение.

Уровни импульсных излучаемых помех на терминалах при КЗ и коммутациях на ОРУ 500 кВ не превышают допустимых значений.

ПРОТОКОЛ № 4. Импульсные излучаемые помехи, вызванные ударами молнии

Молниеотвод	Трасса прокладки кабеля (№ трассы)	Коэффициент экранирования, отн. ед.	Наибольшее напряжение на кабеле, кВ	Наибольшее напряжение на устройстве, кВ	Степень жесткости испытаний (или допустимый уровень воздействия, кВ)	Выводы	Рекомендации
-------------	------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	---	--	--------	--------------

РПЦ 500 кВ

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	14.02.08
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 500 кВ 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
Молниевотвод М1, М2	Ближайшая к молниевотводу	100	10	50	20	Превышает норму	Реконструкция ЗУ. Изменить трассу кабелей
Остальные	Ближайшая к молниевотводу	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	C511	Заводской номер	24/63	Дата поверки	14.02.07
3	Расчеты проведены по программе	ОРУ-М	№ регистрации	2002611768	От 15.10.02	

Заключение.

При ударах молнии в молниевотводы М1 и М2 на ОРУ 500 кВ 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, °C	Потенциал тела человека, кВ	Влажность, %	Температура, °C	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 °C	Влажность воздуха	80 %	Атмосферное давление	737 мм рт. ст.
2	Измерения проведены приборами типа	C502	Заводской номер	6940	Дата поверки	2007 г.
3	Расчеты проведены по программе	—	№ регистрации	—		

Заключение.

Уровни электростатического потенциала тела человека на РЩ 500 кВ могут превышать 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 допустимых уровней.

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				
РПД 500 кВ — место установки терминалов ABB, Siemens	2,0	30	В норме	—
Аварийный режим (ток трехфазного КЗ на шинах 10 кВ)				
РПД 500 кВ — место установки терминалов ABB, 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	14.02.07
3	Расчеты проведены по программе	—	№ регистрации	—	—	—

Заключение.

Уровни напряженности магнитного поля 50 Гц в помещениях РЩ 500 кВ (место установки терминалов ABB, Siemens) в нормальном и аварийном режимах не превышают 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	
Молниезащиты на территории ПС	РЩ 500 кВ — место установки терминалов ABB, Siemens	150	4	Соответствует 4-й степени 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 500 кВ (место установки терминалов ABB, Siemens) соответствуют 4-й 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 199C	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 500 кВ 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 = 220 В АБ-1	0,4	6 (ABB) 1,5 (Siemens)	0,5	2 (FOX ABB) 4 (Siemens)	В норме	—
Оперативный ток = 220 В АБ-2	1	6 (ABB) 1,5 (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 допустимых значений.

ПРОТОКОЛ № 12. Взаимное влияние кабелей на низкой частоте

Кабель (вид цепи), устройство тока, управления ВВ	Частота, кГц	Наибольшее напряжение, В	Степень жесткости испыта- ний (или допустимый уро- вень воздействия, В)	Выводы	Рекомендации	
РЩ 500 кВ						
Цепи оперативного постоянного тока, управления ВВ	50	6	3	Соответствует 3-й степени 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-й 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 с помощью специальных зажимов, хомутов или пайки.

И.6.3.3. Изменить трассы контрольных кабелей на ОРУ 500 кВ возле молниеприемников М1 и М2 или во все цепи, заходящие на терминалы с ОРУ 500 кВ, установить ОПН.

И.6.3.4. Запретить использование вблизи МП-устройств (ближе 2 — 3 м) переносных радиопередающих устройств мощностью 4 Вт 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-й степени жесткости по ГОСТ Р 51317.4.2.

И.6.3.6. Запросить у производителя данные по испытаниям микропроцессорной аппаратуры АББ, Siemens на следующие виды воздействий:

- по ГОСТ Р 50649 — не менее чем по 4-й степени жесткости;
- по ГОСТ Р 51317.4.16 — не менее чем по 3-й степени жесткости.

Содержание

Предисловие разработчиков	3
-------------------------------------	---

СТО 56947007-29.240.043-2010.

Руководство по обеспечению электромагнитной совместимости вторичного оборудования и систем связи электросетевых объектов

Предисловие	6
Сведения о Руководстве.	7
Введение	8
1. Область применения	8
2. Нормативные ссылки	9
3. Термины и определения	10
4. Общие положения	12
5. Требования к проектным решениям по обеспечению ЭМС	13
5.1. Общие требования	13
5.2. Разработка проектных технических решений по обеспечению ЭМС.	14
6. Требования к авторскому надзору, приемо-сдаточным испытаниям и контролю электромагнитной обстановки при эксплуатации.	20
6.1. Проведение авторского надзора.	20
6.2. Приемо-сдаточные испытания	20
6.3. Требования к обеспечению ЭМС при эксплуатации	21
7. Требования к персоналу, проводящему работы по обеспечению ЭМС вторичного оборудования и систем связи электросетевых объектов	22
<i>Приложение А. Библиография</i>	<i>23</i>
<i>Приложение Б. Исходные данные для расчета уровней электромагнитных воздействий</i>	<i>24</i>
<i>Приложение В. Общие требования к компьютерным программам для расчета уровней электромагнитных воздействий</i>	<i>28</i>

СТО 56947007-29.240.044—2010.

Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства

Предисловие	30
Сведения о стандарте организации (Методических указаниях) . .	31
Введение	32
1. Область применения	32
2. Нормативные ссылки.	33
3. Общие положения	34
4. Термины и определения	35
5. Сокращения	37
6. Общие указания	38
7. Компонировка оборудования, зданий и помещений	41
8. Заземляющее устройство.	44
8.1. Общие положения.	44
8.2. Заземляющее устройство подстанций с открытыми распределительными устройствами.	45
8.3. Заземление зданий и сооружений	50
8.4. Заземление КРУЭ	52
8.5. Заземление шкафов и панелей.	52
8.6. Заземление экранов кабелей.	53
9. Кабельная канализация	53
9.1. Общие положения.	53
9.2. Методика расчета импульсных помех, наводимых во вторичных цепях при коротких замыканиях и коммутациях в первичных цепях	54
10. Молниезащита	57
11. Система оперативного постоянного тока	62
12. Система электропитания переменным током	63
13. Защита от электромагнитных полей радиочастотного диапазона	63
14. Защита от магнитных полей промышленной частоты	65
15. Защита от разрядов статического электричества	66

16. Авторский надзор за выполнением проекта и прямо-сдаточные испытания	68
<i>Приложение А. Библиография.</i>	70
<i>Приложение Б. Помехоустойчивость вторичного оборудования и систем связи.</i>	71
<i>Приложение В. Напряженность магнитного поля от токоограничивающих реакторов и шин первичных цепей</i> . . .	78
<i>Приложение Г. Программы для расчета уровней электромагнитных воздействий</i>	95
<i>Приложение Д. Импульсные помехи</i>	101
<i>Приложение Е. Заземление экранов кабелей</i>	104
<i>Приложение Ж. Выбор сечения элементов заземляющих устройств</i>	111
<i>Приложение З. Коэффициенты экранирования.</i>	118
<i>Приложение И. Типовые решения по обеспечению ЭМС вторичного оборудования и систем связи на электросетевых объектах</i>	125

Библиотечка электротехника

Приложение к производственно-массовому журналу «Энергетик»

СТО 56947007-29.240.043-2010. Руководство по обеспечению электромагнитной совместимости вторичного оборудования и систем связи электросетевых объектов

СТО 56947007-29.240.044-2010. Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства

АДРЕС РЕДАКЦИИ

115280, Москва, ул. Автозаводская, 14/23

Тел. (495) 675-19-06, тел./факс 234-74-21

Научный редактор А. М. Александров

Редакторы: Л. Л. Жданова, Н. В. Олышанская

Худож.-техн. редактор Т. Ю. Андреева

Корректор Е. П. Севостьянова

Сдано в набор 10.08.10. Подписано в печать 30.09.10.

Формат 60×84 1/16. Печать офсетная.

Печ. л. 10,65. Заказ БЭТ/09(141)-2010

Макет выполнен издательством «Фолиум»: 127238, Москва, Дмитровское ш., 58.

Отпечатано типографией издательства «Фолиум»: 127238, Москва, Дмитровское ш., 58.

Журнал «Энергетика за рубежом»

Приложение к журналу «Энергетик»

Подписывайтесь на специальное приложение к журналу «Энергетик» — **«Энергетика за рубежом»**. Это приложение выходит **один раз в два месяца**.

Журнал «Энергетика за рубежом» знакомит читателей с важнейшими проблемами современной зарубежной электроэнергетики:

- развитие и надежность энергосистем и энергообъединений;
- особенности и новшества экономических и рыночных отношений в электроэнергетике;
- опыт внедрения прогрессивных технологий в энергетическое производство;
- модернизация и реконструкция (перемаркировка) оборудования электростанций, электрических и тепловых сетей;
- распространение нетрадиционных и возобновляемых источников энергии;
- энергосбережение, рациональное расходование топлива и экологические аспекты энергетики.

Подписку можно оформить в любом почтовом отделении связи по объединенному каталогу **«ПРЕССА РОССИИ»**. Том 1. Российские и зарубежные газеты и журналы.

Подписной индекс журнала «Энергетика за рубежом» —
приложения к журналу «Энергетик»

87261

С введением новых СТО завершено формирование системы НТД по ЭМС, обеспечивающей выполнение условий надежной работы вторичного оборудования в сложной электромагнитной обстановке подстанций напряжением 35 – 750 кВ.