

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Методический материал А.А. Косякова
к курсу лекций 13-15.12.2018

Екатеринбург
2018

Программа курса лекций А.А. Косякова "Электромагнитная совместимость в электроэнергетике"

№	Наименование темы	Расчёт времени, часы	Наименование файла или папки
1	Термины и определения. Нормативная база выполнения работ по электромагнитной совместимости. Источники электромагнитных помех. Общий подход к проектированию электромагнитной совместимости. Перспективы развития проектных работ по ЭМС.	1	ЭМС вводная.ppt Перспективы работ по ЭМС.ppt Основные нормативные документы
2	Методика проектирования электромагнитной совместимости.	1	Методика проектирования.ppt Уровни помехоустойчивости
3	Обзор раздела проектной документации "Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость".	1	
4	Обзор рабочей документации по электромагнитной совместимости.	1	
5	Обследование электромагнитной обстановки. Обзор отчётов по обследованию электромагнитной обстановки, заземляющих устройств и молниезащиты.	3	Обследование ЭМО.ppt
6	Обследование и проектирование системы молниезащиты.	0,5	Косяков_электроснабжение.ppt
7	Защита от статического электричества	0,5	
8	Программы для расчёта электромагнитной обстановки и совместимости: Interferences, ОРУ-М, ЭМП ВЛ, Реактор МП. Примеры расчётов наведённых и кондуктивных помех.	2	Расчётные программы
9	Расчёт электромагнитного поля на электросетевых объектах: область применения, нормативная база, примеры расчётов.	2	Расчёт ЭМП
10	Решения по кабельной канализации, обеспечивающие электромагнитную совместимость	0,5	Кабельные конструкции
11	Расчёт, выбор и особенности применения устройств защиты от импульсных перенапряжений. Применение ЭМС-комплектующих – вводов, шкафов, шин, клемм, прокладок, зажимов.	1	УЗИП ЭМС вводы и шкафы
12	Оценка влияния способов заземления линий электропередачи на электромагнитную обстановку и совместимость на подстанции. Оценка влияния способов заземления линий электропередачи на электромагнитную обстановку и совместимость на подстанции. Расчёт термической стойкости грозотросов со встроенным оптико-волоконным кабелем. Расчёт тока двухфазного короткого замыкания с учётом характеристик заземляющего устройства.	0,5	Расчёт системы трос-опора.ppt Расчёт ЗУ ЛЭП.ppt Расчёт ГЗТ.ppt Расчёт тока 2ф КЗ с учётом характеристик ЗУ.ppt
13	Оценка вредного воздействия электромагнитных полей на персонал и население. Примеры выполнения работ по составлению карт напряжённости электромагнитного поля на объектах электроэнергетики и замерам напряжённости ЭМП на территории жилой застройки.	2	Электромагнитная безопасность.ppt

Курс лекций проводит:

Косяков Алексей Александрович, ведущий инженер ООО "Альфа ЭМС", доцент кафедры "Электрические машины" ФГБОУ ВПО "Уральский государственный университет путей сообщения", канд. техн. наук
тел. 8 (912) 677-82-33, e-mail kosakov@yandex.ru

Обоснование выполнения раздела проектной документации "Электромагнитная обстановка и совместимость"

Строки из технических заданий на проектирование подстанций ОАО "ФСК ЕЭС":

1. Основание для проектирования

- Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС). Стандарт организации. СТО 56947007-29.240.10.028-2009;

4.2. На II этапе разработки проектной документации: «Разработка, согласование и экспертиза проектной документации в соответствии с нормативными требованиями» выполнить:

Разработку проектной документации в соответствии с нормативными требованиями, в том числе в соответствии с требованиями постановления Правительства Российской Федерации от 16.02.2008 № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию».

4.2.1. В том числе для ПС:

- технические решения по электромагнитной совместимости устройств ИТС и их защите от импульсных помех;

В части электромагнитной совместимости, включая обосновывающие расчёты - перечень необходимых мероприятий по обеспечению ЭМС с учетом помехозащищенности устройств РЗА, АСУ ТП, АИИС КУЭ, связи.

5.3.2.3. Решения по электромагнитной совместимости устройств РЗ, АПВ, АВР, ПА и РА, обеспечивающих их нормальную работу, с отражением в отдельном разделе.

• решения по обеспечению ЭМС устройств РЗ, АПВ, АВР, ПА и РА, АСУ ТП, АИИС КУЭ и СС (выполнить технико-экономическое сопоставление вариантов исполнения контура заземления, в т.ч. с применением материалов с повышенной коррозионной стойкостью и сниженным удельным сопротивлением);

Обоснование выполнения раздела проектной документации "Электромагнитная обстановка и совместимость"

Строки из технических заданий на проектирование подстанций ОАО "ФСК ЕЭС":

5.3.8. Решения по электромагнитной совместимости устройств РЗ, СА, ПА и РА, АСУ ТП, АИИС КУЭ, связи, обеспечивающих их нормальную работу, с отражением в отдельном разделе.

В разделе должны быть приведены обосновывающие расчеты, подтверждающие достаточность мероприятий, обеспечивающих нормальную работу устройств РЗ, СА, ПА и РА, АСУ ТП, АИИС КУЭ, связи, с отражением в том числе решений по:

- заземляющему устройству объекта проектирования;
- способов раскладки кабелей вторичных цепей и силовых, в т.ч. кабелей собственных нужд ПС 500 кВ Преображенская;
- решения по молниезащите и обеспечению отсутствия ее влияния на устройства;
- решения по реализации, при необходимости, дополнительных мероприятий по обеспечению ЭМС при наличии внешних по отношению к объекту строительства мощных источников высокочастотных излучений, применению экранированных и/или неэкранированных кабелей во вторичных цепях для подключения устройств и другие.

В разделе должны быть приведены обосновывающие расчеты, подтверждающие достаточность мероприятий, предусмотренных проектом, по обеспечению требований ЭМС.

Обоснование выполнения раздела проектной документации "Электромагнитная обстановка и совместимость"

Строки из технических заданий на проектирование подстанций ОАО "Холдинг МРСК":

I. Основание для проектирования.

1.2 Основные нормативно-технические документы, определяющие требования к проекту:

- Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750кВ. СО 153-34.20.122-2006;

5.4.1 Решения по электромагнитной совместимости устройств РЗА, ПА, АСУ ТП, АИИС КУЭ, связи, обеспечивающих их нормальную работу с учётом смежных ПС, с отражением в отдельном разделе.

5.2.20 Предусмотреть реконструкцию заземляющего устройства в связи с установкой нового оборудования, с учетом требований «Методических указаний по защите вторичных цепей электрических станций и подстанций от импульсных помех» РД 34.20.116-93.

5.2.21 Выполнить реконструкцию заземляющего устройства ТП.

6.6 Решения по электромагнитной совместимости устройств РЗА, АСУ ТП, ТМ, обеспечивающих их нормальную работу, с отражением в отдельном разделе:

6.6.1 Разработать мероприятия по обеспечению электромагнитной совместимости вновь устанавливаемых микропроцессорных устройств РЗА;

6.6.2 В сметах определить затраты подрядчиком на проведение работ по определению электромагнитной обстановки.

Обоснование выполнения раздела проектной документации "Электромагнитная обстановка и совместимость"

Строки из технических заданий на проектирование подстанций ОАО "Холдинг МРСК":

5.3.7. Решения по электромагнитной совместимости устройств РЗА, ПА, АСУ ТП, ТМ, АИИС КУЭ, связи, охранной сигнализации и видеонаблюдения обеспечивающих их нормальную работу, с отражением в отдельном разделе.

5.3.7.1. Предусмотреть решения по электромагнитной совместимости устройств РЗА, обеспечивающих их нормальную работу, с отражением в отдельном разделе «Электромагнитная совместимость», который должен содержать:

5.3.7.2. Конструкцию заземляющих устройств, разработанную с учетом мероприятий по снижению уровня импульсных помех для обеспечения работы устройств релейной защиты, выполненных на микропроцессорной базе. Проектные решения по заземляющему устройству обосновывать расчетами, подтверждающими выполнение условий электромагнитной совместимости (ЭМС) для устройств РЗА, при наиболее неблагоприятных режимах (к.з. на землю в сети 110 кВ и двойных замыкания на землю в сети 10 кВ).

5.3.7.3. Предусмотреть присоединение аппаратуры релейного щита и другой аппаратуры ОПУ к сети заземления в соответствии с требованиями НТД по ЭМС.

5.3.7.4. Разработать комплекс мероприятий по реализации требований «Методических указаний по защите вторичных цепей электростанций и подстанций от импульсных помех» РД 34.20.116-93, «Методических указаний по определению электромагнитной обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях» СО 34.35.300-2004, «Общих технических требований к микропроцессорным устройствам защиты и автоматики энергосистем» РД 34.35.310-97.

5.3.7.5. Предусмотреть размещение силового оборудования, электрической схемы ПС, релейного щита, здания ОПУ с учетом обеспечения благоприятной ЭМО при воздействии электромагнитных полей на устройства РЗА при коммутациях силового оборудования и к.з. на шинах ПС.

Обоснование выполнения раздела проектной документации "Электромагнитная обстановка и совместимость"

Строки из технических заданий на проектирование подстанций прочих заказчиков:

ООО "Мечел-Инжиниринг":

4. В составе проекта обосновать и выполнить.

4.2. Для ПС 110/6 кВ

4.2.2. Электротехнические и технологические решения по ПС 110/6 кВ

- технические решения по электромагнитной совместимости устройств ИТС и их защите от импульсных помех;

4.2.9. Решения по электромагнитной совместимости устройств РЗА, ПА, АСУ ТП, АИИС КУЭ, связи, обеспечивающие их нормальную работу.

ОАО "Сургутнефтегаз":

6.11. Проектную документацию выполнить в соответствии со следующими нормативными документами:

- Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ. СО 153-34.20.121-2006;

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

ОАО "ЕЭСК":

5.21 Система РЗА:

«СО-ЦДУ ЕЭС» - ОДТ

5.21.3 Выбор уставок релейной защиты произвести в полном объеме, выполнить комплекс мероприятий, обеспечивающий электромагнитную совместимость аппаратуры РЗА, ПА, АСУ, ТМ и устройств связи, в соответствии с методическими указаниями по защите вторичных подстанций от импульсных помех.

5.26.8 Выполнить раздел «Разработка комплекса мероприятий по выполнению требований электромагнитной совместимости микропроцессорных устройств»

Обоснование выполнения раздела проектной документации "Электромагнитная обстановка и совместимость"

Строки из технических заданий на проектирование электростанций:

Усть-Илимская ГЭС:

2.2. Отраслевые НТД:

– «Методические указания по защите вторичных цепей электрических станций и подстанций от импульсных помех» СО 34.20.116-93;

2.3. Организационно распорядительные документы (ОРД) и НТД ОАО «ФСК ЕЭС», ОАО «СО ЕЭС»:

– Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС» «Нормы технологического проектирования ПС переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ» СТО 56947007-29.240.10.028-2009;

– Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС» «Руководство по обеспечению электромагнитной совместимости вторичного оборудования и систем связи электросетевых объектов», СТО 56947007-29.240.043-2010;

– Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС» «Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства», СТО 56947007-29.240.044-2010;

5.1.5. При предпроектном обследовании должна быть проведена оценка состояния электромагнитной обстановки на объекте проектирования и на других действующих объектах, технологически связанных с объектом проектирования.

5.2.2.2. В части реконструкции (расширения) Усть-Илимской ГЭС определить и выполнить:

– решения по обеспечению ЭМС устройств РЗ, АПВ, АВР, ПА и РА, АСУ ТП, АИИС КУЭ и СС (в необходимом объёме с учётом уже существующих на электростанции решений);

Обоснование выполнения раздела проектной документации "Электромагнитная обстановка и совместимость"

Строки из технических заданий на проектирование электростанций:

Усть-Илимская ГЭС:

5.3. II этап проектирования «Разработка, согласование и экспертиза проектной документации в соответствии с требованиями нормативно-технических документов»:

5.3.9. Решения по электромагнитной совместимости устройств РЗ, АПВ, АВР, ПА и РА, АСУ ТП, АИИС КУЭ, связи, и других систем обеспечивающих их нормальную работу, с отражением в отдельном разделе.

В разделе должны быть приведены обосновывающие расчеты, подтверждающие достаточность мероприятий, обеспечивающих нормальную работу устройств РЗ, АПВ, АВР, ПА и РА, АСУ ТП, АИИС КУЭ, связи, с отражением в том числе решений по:

- заземляющему устройству объекта проектирования;
- способов раскладки кабелей вторичных цепей и силовых, в т.ч. кабелей собственных нужд объекта проектирования;
- решения по молниезащите и обеспечению отсутствия ее влияния на устройства;
- решения по реализации, при необходимости, дополнительных мероприятий по обеспечению ЭМС при наличии внешних по отношению к объекту строительства мощных источников высокочастотных излучений, применению экранированных и/или неэкранированных кабелей во вторичных цепях для подключения устройств и другие.

В разделе должны быть приведены обосновывающие расчеты, подтверждающие достаточность мероприятий, предусмотренных проектом, по обеспечению требований ЭМС.

Обоснование выполнения раздела проектной документации "Электромагнитная обстановка и совместимость"

Строки из технических заданий на проектирование электростанций:

Томь-Усинская ГРЭС:

Разработать комплекс мероприятий по выполнению требований электромагнитной совместимости микропроцессорных устройств.

Нижевартовская ГРЭС:

2.5.2. Отраслевые НТД:

- Методические указания по определению электромагнитной обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях. СО 34.35.311-2004;

2.5.3. НТД и ОРД ОАО «ФСК ЕЭС», ОАО «СО ЕЭС»:

- Нормы технологического проектирования ПС переменного тока с высшим напряжением 35÷750 кВ (СТО 56947007-29.240.10.028-2009);

2.9.2.5. Требования к электромагнитной совместимости:

2.9.2.5.1. Разработать технические решения по электромагнитной совместимости устройств РЗА, ПА, СОТИАССО/АСУ Э, СОПТ, АИИС КУЭ, средств связи (ВОЛС, ВЧ и т.д.) и их защите от импульсных помех.

Обоснование выполнения раздела проектной документации "Электромагнитная обстановка и совместимость"

Строки из технических заданий на проектирование электростанций:

Рефтинская ГРЭС:

Проектирование выполнить в соответствии со следующими документами:

- Правилами устройства электроустановок. ПУЭ (7 издание, с исправлениями);
- Нормами технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (Утверждены Приказом ОАО «ФСК ЕЭС» №136 от 13.04.2009 года);

Нижекамская ТЭЦ:

В составе проекта обосновать и выполнить:

13.2.2.3. Решения по электромагнитной совместимости устанавливаемых устройств РЗА, ПА, связи, обеспечивающих их нормальную работу, с отражением в отдельном разделе проекта.

Тюменская ТЭЦ-1:

Электромагнитная совместимость

40. В разделе по электромагнитной совместимости отразить исчерпывающий перечень мероприятий и расчетов, обеспечивающих эксплуатацию вновь устанавливаемых микропроцессорных устройств в соответствии с требованиями действующих нормативных документов и инструкций заводов-изготовителей микропроцессорных устройств.

Прокладку силовых и контрольных кабелей предусмотреть в существующих кабельных лотках на свободных местах в соответствии с требованиями действующих норм и правил, в т.ч. «Методических указаний по защите вторичных цепей электрических станций и подстанций от импульсных помех» РД 34.20.116-93, СТО 56947007-29.240.044-2010.

**Состав раздела проектной документации
"Электромагнитная обстановка и совместимость" нормирует**

СТО 56947007-29.240.10.028-2009

**"Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока
с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС)"**

5.5 Электромагнитная совместимость

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 в соответствии с действующими нормативными документами.

5.5.1 Основные мероприятия должны быть разработаны с учетом выбранной электрической схемы ПС и включать:

- компоновочные решения объекта (компоновка и размещение силового, первичного и реакторного оборудования, как источников импульсных высокочастотных помех, магнитных полей и т.п. на открытой (закрытой) части подстанции, в зданиях и помещениях ГЩУ, ОПУ, релейных щитах);

- выполнение устройств молниезащиты объекта в части защиты вторичных цепей и устройств от электромагнитных воздействий молнии (например, размещение по отношению к кабельным трассам и зданиям с обеспечением допустимого воздействия молнии на вторичные цепи и устройства);

- выбор заземляющего устройства подстанции (ЗУ ПС) с указанием «шага» сетки на каждом ОРУ и непосредственно около установленного оборудования, количества связей между ЗУ ОРУ разных напряжений, ЗУ здания и ЗУ ПС и их прокладки;

"Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС)"

- выбор трассы прокладки кабельных каналов, типа кабельной канализации с указанием расстояний между ними и высоковольтными шинами (ошиновками), наличия и длины участков их параллельной прокладки по отношению к шинам (ошиновкам) и оценка их влияния на кабели вторичной коммутации;

- выполнение защиты от статического электричества устройств РЗА, ПА, АСУ ТП, АИИС КУЭ, связи (напольные антистатические покрытия, поддержание благоприятного режима по температуре и влажности).

5.5.2 Дополнительные мероприятия должны быть разработаны с обоснованием их необходимости, с учетом основных мероприятий и анализа ожидаемых уровней электромагнитных, радиочастотных помех, магнитных полей и других воздействий на устройства РЗА, ПА, АСУ ТП, АИИС КУЭ, связи и включать:

- применение экранированных контрольных кабелей и заземление их экранов;

- экранирование помещений, в которых размещаются устройства РЗА, ПА, АСУ ТП, АИИС КУЭ, связи;

- раскладку силовых кабелей и кабелей вторичной коммутации по кабельным каналам;

- обеспечение электромагнитной совместимости высокоомных входов устройств РЗА, ПА, АСУ ТП, при подключении к ним кабелей, приходящих из РУ разных напряжений, других зданий;

- обеспечение защиты от импульсных помех в системах оперативного постоянного и переменного токов;

5.5.3 Мероприятия по обеспечению требований электромагнитной совместимости на проектируемых объектах технического перевооружения и реконструкции должны разрабатываться с учетом результатов проведенных обследований электромагнитной обстановки, где устанавливаются МП устройства РЗА, ПА, связи (для объектов других собственников - на основании представленных ими результатов проведенных обследований).

Этапы реализации мероприятий по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах ОАО "ФСК ЕЭС" прописаны в

СТО 56947007-29.240.043-2010

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

- 1. Предпроектное обследование.**
- 2. Проектирование с учётом требований ЭМС.**
- 3. Применение на объекте сертифицированных на помехоустойчивость технических средств.**
- 4. Авторский надзор за выполнением проектных решений в том числе и в части ЭМС.**
- 5. Проведение приемо-сдаточных испытаний с целью подтверждения достаточности выполненных мероприятий по обеспечению ЭМС.**
- 6. Проведение планового и внепланового контроля электромагнитной обстановки и совместимости в процессе эксплуатации объекта.**

Этапы реализации мероприятий по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах других (всех) собственников прописаны в

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

- 1. Предпроектное обследование (для реконструируемых объектов).**
- 2. Проектирование с учётом требований ЭМС, включая выполнение расчётов основных видов помех – оценки влияния высоковольтного оборудования объекта электроэнергетики и системы молниезащиты на низковольтное микропроцессорное оборудование вторичных систем.**
- 3. Проведение приемо-сдаточных испытаний с целью подтверждения достаточности выполненных мероприятий по обеспечению ЭМС.**

РД 34.20.116-93 является единственным документом по ЭМС, обязательным для применения на всех объектах электроэнергетики – электростанциях, подстанциях, переключательных пунктах всех собственников, не только электростанций и предприятий электрических сетей, но и заводских, и тяговых подстанций напряжением 110 кВ и выше.

Общим для электростанций и подстанций магистральных и распределительных сетей напряжением выше 6 кВ документом по ЭМС является

СО 34.35.311-2004 "Методические указания по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях"

Данный документ дополнительно к РД 34.20.116-93 вводит ещё два этапа комплекса мероприятий по обеспечению ЭМС:

- 1. Периодическая проверка электромагнитной обстановки с периодичностью не реже 1 раза в 12 лет.**
- 2. Внеплановая проверка электромагнитной обстановки в случаях неправильной работы или повреждении микропроцессорных устройств из-за воздействия электромагнитных помех.**

Термины и определения

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ (ЭМС)

– способность оборудования или системы удовлетворительно работать в данной электромагнитной обстановке без внесения в нее какого-либо недопустимого электромагнитного возмущения.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ОБСТАНОВКА (ЭМО)

– совокупность электромагнитных явлений, происходящих в данном месте.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ВОЗМУЩЕНИЕ (ЭМ)

– любое электромагнитное явление, которое может ухудшить работу прибора, оборудования или системы или неблагоприятно влиять на срок службы.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ПОМЕХА (ЭМП)

– ухудшение работы оборудования, передающего канала или системы, вызванное электромагнитным возмущением.

ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ

– способность прибора, оборудования или системы выполнять свою работу при наличии электромагнитного возмущения без какого-либо ухудшения.

Устройства	Степень повреждения при энергии, Дж														
	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^0	10^1	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6
Генераторы, электродвигатели, силовые трансформаторы															
Катушки индуктивности фильтров															
Реле, измерительные приборы, электродвигатели малой мощности, потребительские трансформаторы															
Мощные проволочные резисторы															
Пленочные резисторы															
Варисторы															
Конденсаторы															
Танталовые конденсаторы															
Выпрямительные и стабилизирующие диоды															
Сигнальные и переключающие диоды															
Микроволновые диоды															
Тиристоры															
Транзисторы высокой и средней мощности															
Транзисторы малой мощности															
Интегральные микросхемы и чувствительные элементы ЭВМ															

- нарушение режимов работы изделия
- разрушение изделия

Источники электромагнитных помех на энергообъектах

Наиболее типичными источниками электромагнитных возмущений, которые могут оказывать влияние на системы РЗА, АСУ и ПА электрических станций и подстанций являются:

- переходные процессы в первичных цепях высокого напряжения при коммутациях силовыми выключателями и разъединителями;
- переходные процессы при пробое электрической изоляции (КЗ), срабатывании разрядников или ограничителей перенапряжения в первичных цепях высокого напряжения;
- электрические и магнитные поля промышленной частоты от высоковольтных установок;
- повышения напряжения при протекании токов КЗ через заземляющие устройства;
- переходные процессы, являющиеся следствием ударов молнии;
- быстрые переходные процессы, являющиеся следствием коммутаций в низковольтном оборудовании;
- электростатические разряды;
- поля высокой частоты, создаваемые радиопередающими устройствами (как относящимися, так и не относящимися к электроустановке);
- возмущения высокой частоты, создаваемые другими частями рассматриваемой установки и передаваемые излучением или через гальванические связи;
- низкочастотные возмущения, создаваемые источниками питания.

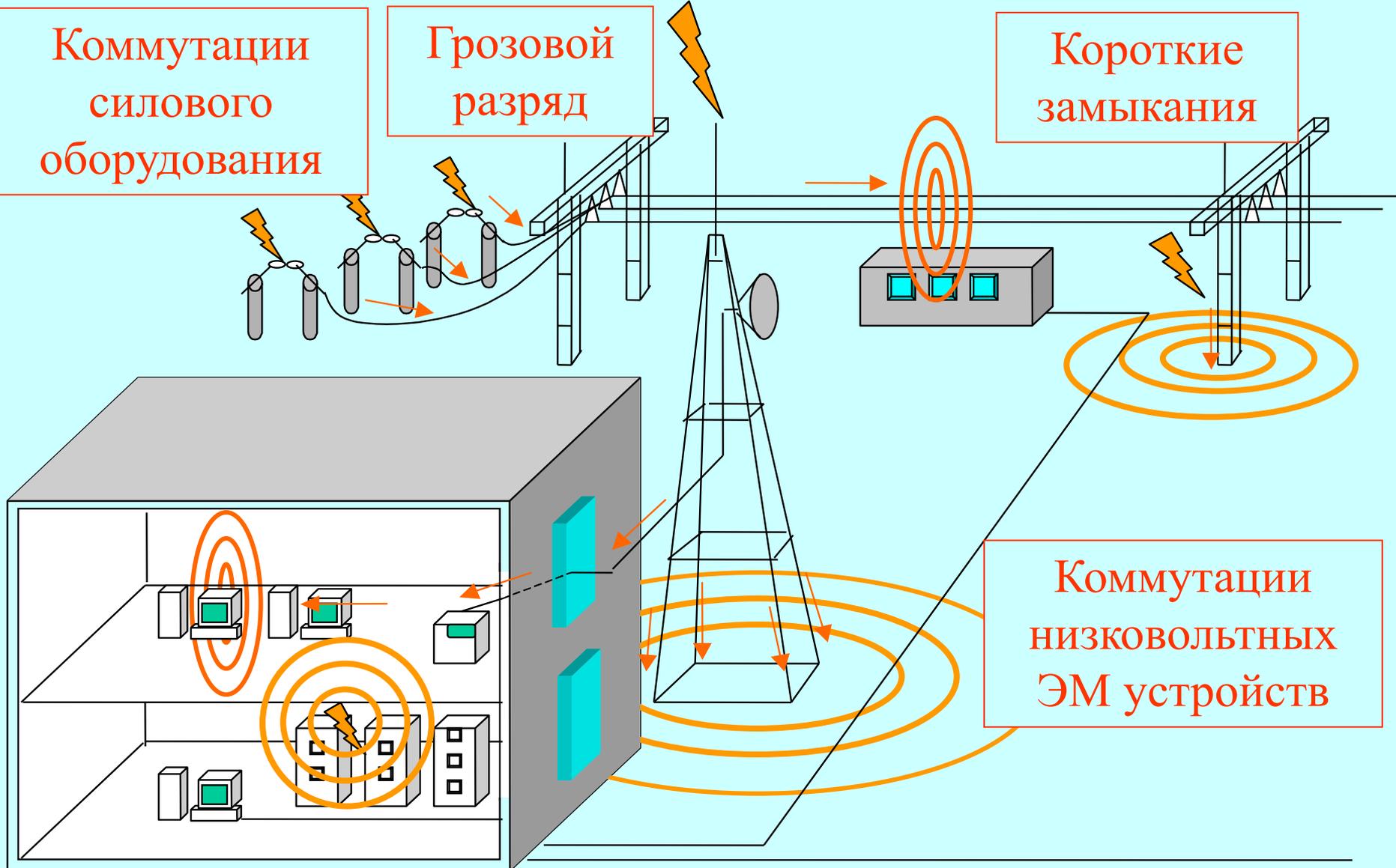
Наконец, два следующих вида возмущений должны рассматриваться в особых ситуациях:

- ядерные электромагнитные импульсы (ЯЭМИ);
- влияние магнитного поля земли.

Коммутации
силового
оборудования

Грозовой
разряд

Короткие
замыкания

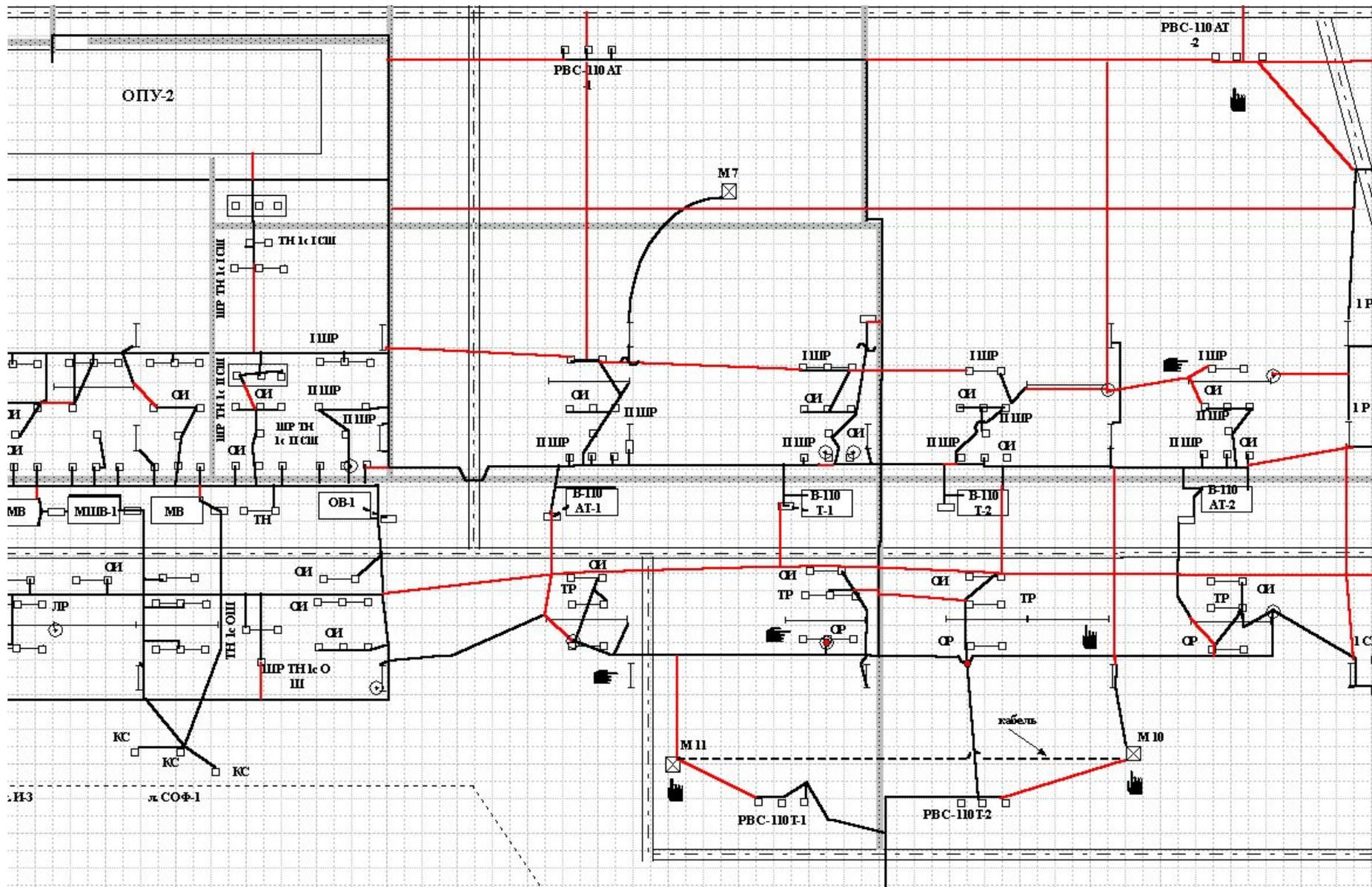


Источники возникновения перенапряжений

	КЛАССИФИКАЦИЯ НАРУШЕНИЙ ЭМС	В % от всех РУ
1	<p>Воздействие токов и напряжений промышленной частоты на АСТУ выше допустимого значения. Выполнение заземляющего устройства не соответствует условиям ЭМС.</p>	82,6
2	<p>Высокий уровень импульсных помех в цепях АСТУ при коммутациях и коротком замыкании. Заземление оборудования выполнено без учета требований ЭМС. Применяются неэкранированные кабели. Низкая помехоустойчивость устройств АСТУ.</p>	32,7
3	<p>Высокий уровень импульсных помех в цепях АСТУ при ударах молнии в территорию объекта. Возможно перекрытие с заземляющего устройства на кабели АСТУ при ударах молнии в молниеотводы. Молниезащита не соответствует условиям ЭМС.</p>	36,5
4	<p>Высокий уровень потенциала на теле человека от статического электричества. Применяются синтетические напольные покрытия.</p>	25,0
5	<p>Высокий уровень напряженности магнитного поля промышленной частоты. Размещение реакторов вблизи РЩ. Размещение шинопроводов вблизи РЩ (ОПУ).</p>	25,0
6	<p>Высокий уровень напряженности поля радиочастотного диапазона.</p>	3,8
7	<p>Высокий уровень пульсаций в цепях оперативного тока. Высокий уровень импульсных помех в цепях оперативного тока. Возможны провалы напряжения с интервалом выше допустимого значения для микропроцессорных устройств. Высокий уровень наведенных низкочастотных помех в цепях дискретных сигналов. Оперативный ток не соответствуют условиям ЭМС.</p>	34,6
8	<p>Выполнение кабельных коммуникаций не соответствуют условиям ЭМС. Не экранированные кабели; совместная прокладка в одном кабеле различных цепей (тока и управления, сигнализации и ~220В); прокладка вторичных цепей в кабельных лотках, частично приподнятых над поверхностью земли; плохое заземление экранов.</p>	17,3

№ п/п	Объект	Событие	Последствия	Причины
1.	ПС Бутырки ОРУ 220/110кВ	Короткое замыкание на землю из-за повреждения разрядника на шинах 220кВ.	Повреждение кабеля ТН, вынос высокого потенциала на РЩ.	Заземляющее устройство не соответствует требованиям ЭМС. Обратное перекрытие изоляции кабеля с земли. Большой ток по броне кабеля.
2.	ПС Пахра ОРУ 500/220/110кВ	Короткое замыкание на землю из-за повреждения трансформатора тока на шинах 110кВ.	Отключилась линия 500кВ. Неправильная работа защиты линии.	Заземляющее устройство не соответствует требованиям ЭМС. РЩ 500кВ не присоединен к заземляющему устройству. Связь по оболочкам и броне кабелей.
3.	ПС Уча ОРУ 220/110кВ	Короткое замыкание на землю на шинах 110кВ.	Повреждение (возгорание) кабелей цепей вторичной коммутации в кабельном канале вблизи РЩ.	Заземляющее устройство не соответствует требованиям ЭМС. Сетка заземлителя ОРУ 110 кВ неравномерная. Связь между заземлителями ОРУ 220кВ и 110кВ только через броню и оболочки кабелей через РЩ.
4.	ПС Ленинградская ОРУ 750/330/110кВ	Ближнее короткое замыкание на землю 330кВ.	Возгорание кабелей цепей вторичной коммутации в кабельном канале.	Заземляющее устройство не соответствует требованиям ЭМС. Заземлители ОРУ разного класса напряжения связаны только через кабели. Обратное перекрытие изоляции кабеля с земли.

5	ПС Гражданская КРУЭ 220/110кВ	Коммутация разъединителем.	Ложная работа ЭПЗ1636.	Импульсные помехи. Заземляющее устройство не соответствует требованиям ЭМС. Низкая помехоустойчивость устройства.
6	ПС Бакеево КРУЭ 110кВ	Коммутация разъединителем.	Повреждение электронного реле.	Импульсные помехи. Низкая помехоустойчивость реле.
7	ПС Выборгская 400/330/110	Включении линии 330 кВ.	Повреждение защиты ШД 2801.	Импульсные помехи высокого уровня по цепям напряжения.
8	ПС Андронниковская ЗРУ 110кВ	Коммутация выключателем 10кВ.	Неправильная работа ДЗЛ. Отключилась линия 110 кВ	Импульсная помеха по цепям постоянного тока. Больше 2,5 кВ на контактах выходного реле.
9	ТЭЦ-12	Нормальный режим	Неправильно работает микропроцессорная защита генератора. Отключился блок генератора	Помехи в цепях дискретных сигналов. Неэкранированный кабель. Низкий уровень срабатывания по дискретному входу.





Повреждение кабеля при ударе молнии и пробое с молниеотвода на кабель

ИМПУЛЬСНЫЕ ПОМЕХИ

В результате измерений установлено, что:

1. Амплитуда импульсных помех изменялась **от десятков вольт до нескольких киловольт.**
2. Частотные спектры во вторичных цепях являются многочастотными. В некоторых случаях можно различить до 5 – 7 собственных частот. С ростом номинального напряжения размеры подстанции растут и, соответственно, максимальные значения резонансных частот снижаются. Обобщая результаты измерений для ОРУ подстанций 110 – 750 кВ можно сказать, что частотный диапазон импульсных помех находится **в пределах 0,1 – 10 МГц** (на элегазовой подстанции частота достигала 20 МГц).
3. Количество импульсных помех при одной коммутации разъединителем может достигать **нескольких тысяч за одну коммутацию**
4. Уровень импульсных помех зависит от трассы прокладки кабелей, удельного сопротивления грунта и качества контура заземления.

Переходные процессы при КЗ, срабатывании ограничителей перенапряжения и разрядников.

Пробой электрической изоляции (КЗ на землю) или разрядников приводит к резкому снижению напряжения, что, в свою очередь, вызывает переходной процесс, подобно тому, как это происходит при коммутационных операциях. Ток короткого замыкания промышленной частоты, протекающий по заземляющему устройству установки, вызывает повышение его потенциала на промышленной частоте.

Зажигание дуги в вентильном разряднике вызывает, подобно искровому разряднику, появление переходных процессов высокой частоты. Максимальные значения параметров переходного процесса ниже, вследствие наличия остаточного напряжения на сопротивлении. Наличие нелинейного сопротивления предотвращает появление токов короткого замыкания промышленной частоты.

Срабатывание ограничителей перенапряжений не приводит к появлению высокочастотных переходных процессов в сети, так как переход ОПНа из непроводящего состояния в проводящее происходит плавно.

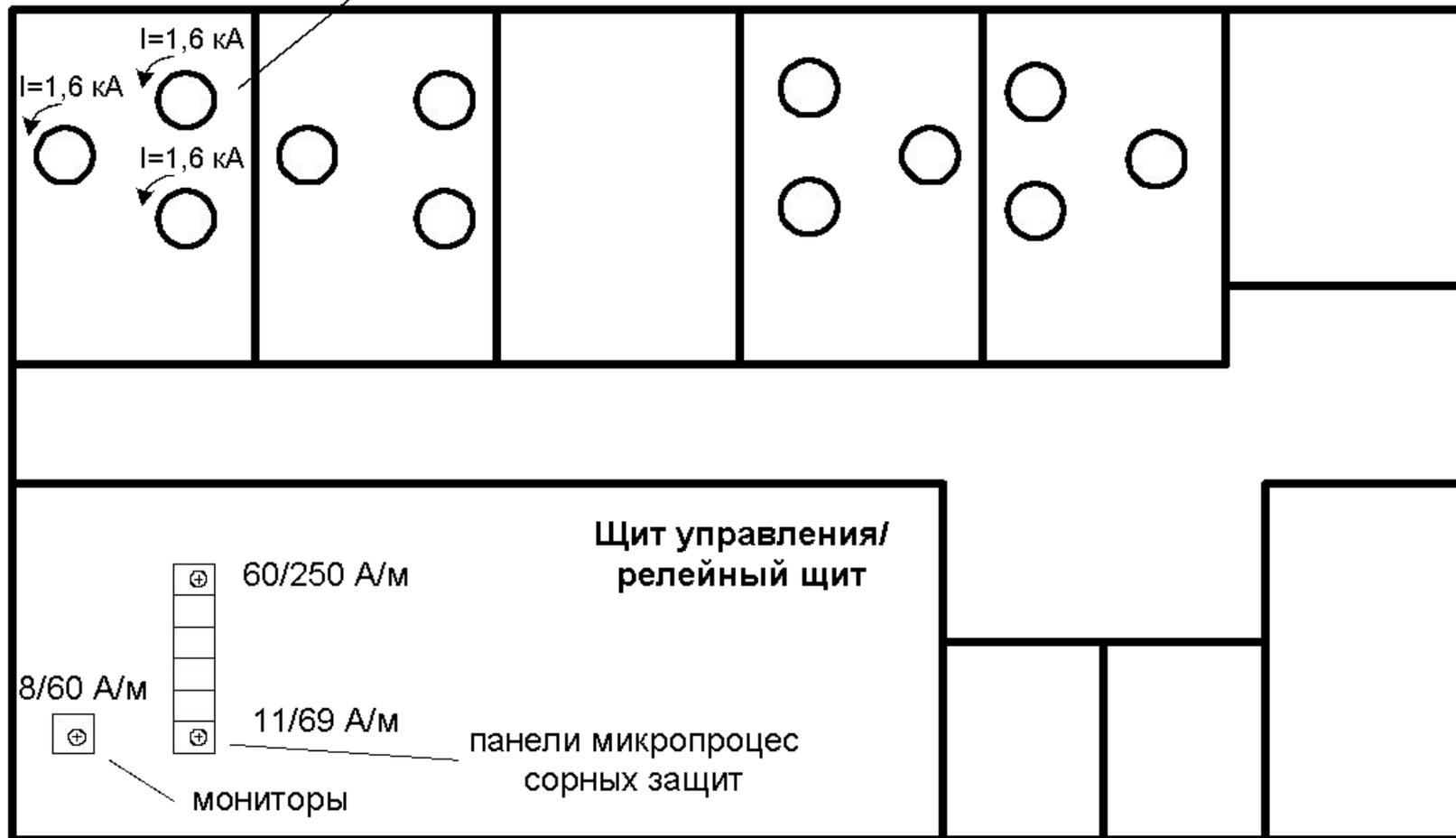
Электрические и магнитные поля промышленной частоты, создаваемые силовым оборудованием

Силовое оборудование (шины, силовые кабели, реакторы, трансформаторы и т.д.) подстанций и станций при работе создают вокруг себя электрические и магнитные поля промышленной частоты и частот гармонических составляющих.

Значения напряженности этих полей зависят, соответственно, от класса напряжения и тока в силовом оборудовании, а, кроме того, от конфигурации проводников с током (в частности от высоты проводников над поверхностью земли, междуфазного расстояния, последовательности фаз и числа цепей).

Магнитные и электрические поля промышленной частоты (а также гармонические составляющие низкой частоты) могут оказывать неблагоприятное влияние на устройства РЗА, ПА и АСУ из-за низкочастотных наводок в цепях сигнализации и управления, в измерительных цепях, воздействуя непосредственно на терминалы микропроцессорных устройств и на мониторы компьютеров.

реакторная камера



60/250 A/м

Ннорм режим/Нпри двухфазном КЗ

Магнитные поля 50 Гц, создаваемые реакторами в мес тановки микропроцессорных защит и мониторов.

Повышения напряжения при протекании токов молнии и КЗ по заземляющему устройству

Протекающие по проводникам заземляющего устройства токи молнии и токи коротких замыканий могут вызвать повышение потенциала, опасное для систем РЗ, ПА и АСУ ТП

Особенно это касается появления мгновенных разностей потенциала между некоторыми двумя точками заземляющего устройства, которые, в случае наличия на объекте распределенных территориально компонентов этих систем (например, цепи напряжения, тока, управления и сигнализации соединяющих оборудование на ОРУ с терминалами на релейном щите), могут являться источником возмущения.

Рассматриваемое явление может рассматриваться в виде двух составляющих:

- очень короткий период в начале (длительностью порядка микросекунд), характеризующийся протеканием быстрых переходных процессов,
- и последующим стационарным периодом, характеризующимся излучением промышленной частоты или даже постоянного напряжения.

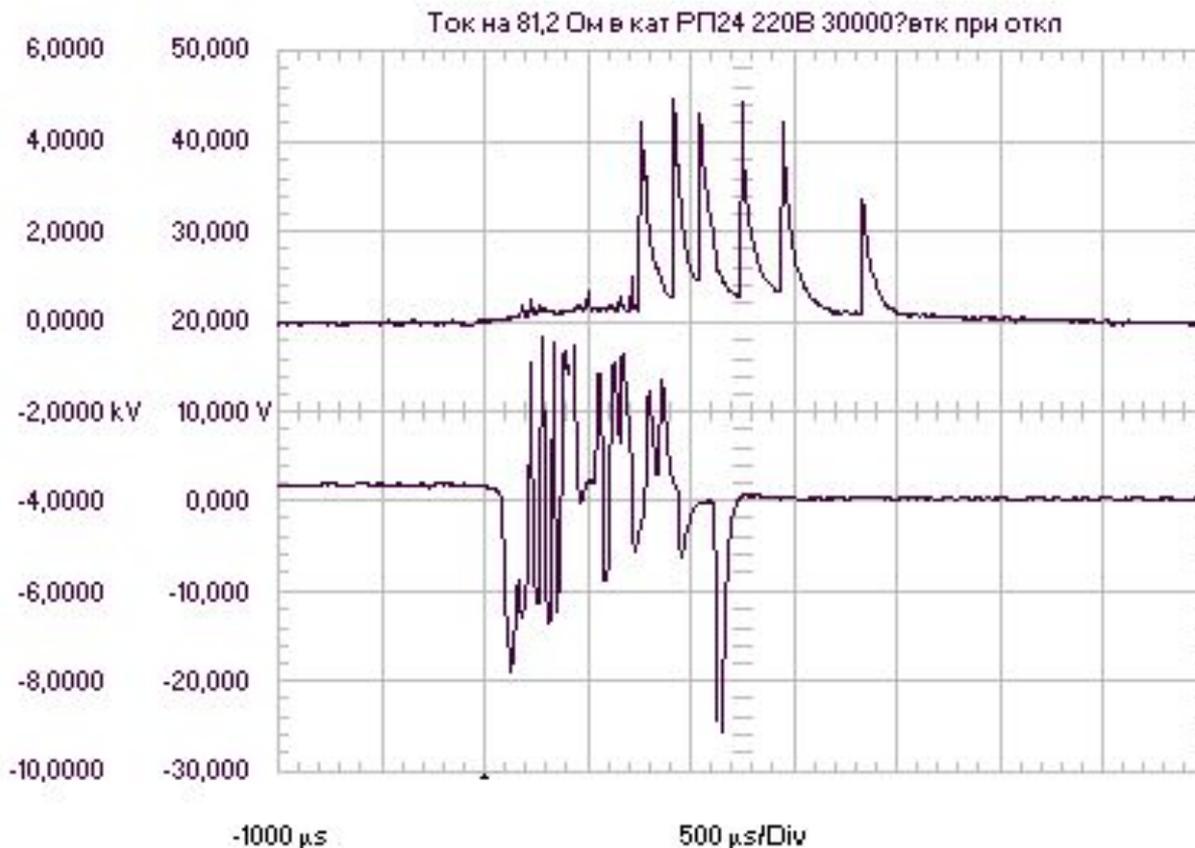
Электрические переходные процессы при ударах МОЛНИИ

Воздействие молнии в основном ограничивается тремя следующими механизмами:

1. Воздействие электромагнитного поля тока молнии на оборудование, удар которой произошел не в электроустановку, а в непосредственной близости от нее.
2. Прямое попадание молнии в составные части электроустановок (а именно: линии электропередач, заземляющее устройство, здания и сооружения, распрестройство) и последующее воздействие через индуктивные, емкостные и гальванические связи.
3. Воздействие электромагнитного поля тока молнии на ЛЭП или сооружения ПС посредством наведенного напряжения и последующая передача наведенных токов через индуктивные, емкостные и гальванические связи на оборудование.

Быстрые переходные процессы при коммутациях в низковольтном оборудовании

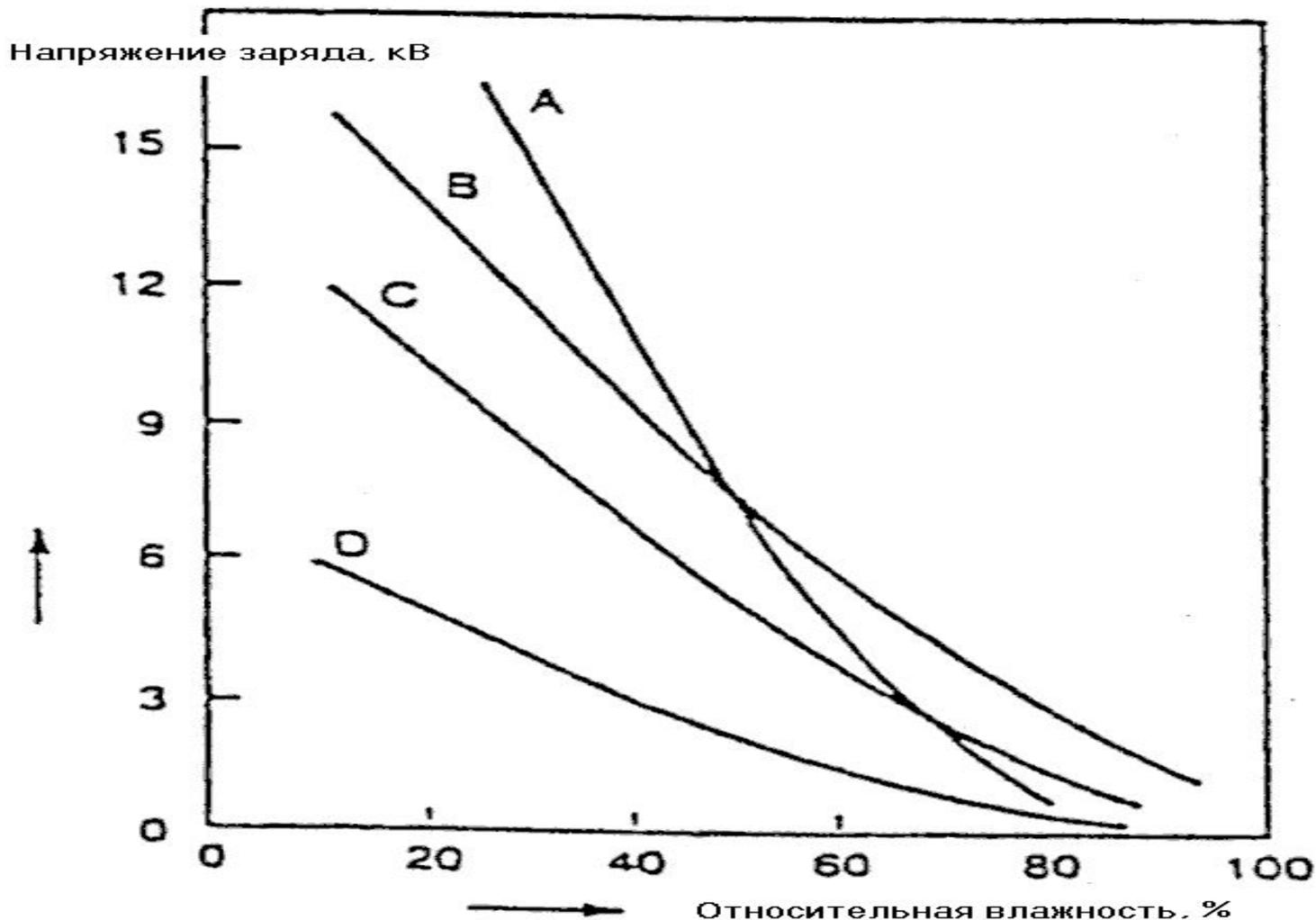
При отключении индуктивной нагрузки (например, электромеханических реле или приводов выключателей) в цепи возникают быстрые переходные процессы, характеризующиеся малой длительностью переднего фронта волны, малой длительностью собственно переходного процесса, низким уровнем энергии и высокой частотой



Datablock		
Name	= Input A	Input B
Date	= 22.11.00	22.11.00
Time	= 16:13:59	16:13:59
Y Scale	= 2 kV/Div	10 V/Div
Y At 50%	= -2,0000 kV	10,000V
X Scale	= 500 μs/Div	500 μs/Div
X At 0%	= -1000 μs	-1000 μs
X Size	= 900 (1011)	900 (1011)
Maximum	= 4,9522 kV	Overload
Minimum	= -0,0678 kV	Underload

Электростатические разряды

В зависимости от окружающей среды, при подобном заряде потенциал на человеке может достигать значительных величин (10-25 кВ), в то время как запасенная энергия составляет порядка нескольких мДж.



Радиочастотные поля

Радиопередатчики относятся к классу преднамеренных передатчиков из-за того, что они излучают электромагнитную энергию намеренно. Примерами такого преднамеренного излучения являются радиовещательные передатчики, навигационные средства и устройства дистанционного управления.

Источник	Частотный диапазон, МГц	Типичное максимальное эффективное значение излучаемой мощности Вт	Типичное минимальное расстояние м	Электрическое поле в соответствующей точке В/м
Радиотрансляция в диапазоне ДВ и в приморской зоне	0.014 – 0.5	2.5×10^6	2×10^3	5.5
Радиотрансляция в диапазоне СВ	0.2 – 1.6	800×10^3	500	12.5
Любительские КВ-радиостанции	1.8 – 30	1×10^3	10	22

КВ связь, включая радиотрансляцию	1.6 – 30	10x10 ³	1x10 ³	0.1
“Гражданский” диапазон	27 – 28	12	10	2.5
Любительские радиостанции диапазона ОВЧ и УВЧ	50 – 52 144 – 146 432 – 438 1290 – 1300	8x10 ³ 8x10 ³ 8x10 ³ 8x10 ³	10	65
Стационарные и мобильные средства связи	29 – 40 68 – 87 146 – 174 422 – 432 438 – 470 860 – 990	130 130 130 130 130 130	2	40
Портативные телефоны, включая сотовые и радиотелефоны	900 – 1900	5	0.5	30
Телевидение диапазона МВ (ОВЧ)	48 – 68 174 – 230	320x10 ³ 320x10 ³	500	8
Радиотрансляция в диапазоне FM	88 – 108	100x10 ³	250	9
Телевидение диапазона ДМВ (УВЧ)	470 – 853	500x10 ³	500	10
Радарные установки	1000 – 30000	10x10 ⁶	200	110
Приемопередатчики Уоки-токи (walky-talky)	27 – 1000	5	0.5	30

Низкочастотные возмущения, создаваемые силовыми сетями

Системы на базе микропроцессорных и электронных устройств должны питаться от отдельных источников электроснабжения по специально выделенным электросетям.

В таких случаях оценка типовых возмущений в питающей сети может быть выполнена на основе рассмотрения характеристик электропитающих устройств.

Кроме того, следует учитывать действие возмущающих нагрузок, подключенных к силовой сети.

В случае если электронные устройства или системы подключены к сети общего пользования, возмущения, создаваемые питающей электросетью могут оцениваться на основе стандартов на качество электроэнергии (например, серия публикаций МЭК 61000-3).

Наиболее распространенным явлением в цепях оперативного тока на энергообъектах является наличие низкочастотных пульсаций, амплитуда которых может превышать 10%.

Результаты анализа выполнения условий ЭМС на электросетевых объектах

Анализ случаев неправильной работы устройств РЗА на объектах ОАО «Мосэнерго»

Годы	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1994	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Общее количество случаев неправильной работы устройств РЗА	136	127	130	111	112	106	110	106	103	105	113	102	100
Из них по причине невыполнения условий ЭМС	22	29	13	16	23	18	25	21	21	9	14	7	10
В процентах	16	23	10	14	20	17	22	19	20	8,4	12,4	6,8	10

Результаты анализа выполнения условий ЭМС на электросетевых объектах

Нарушения условий ЭМС на электросетевых объектах	Причины нарушений условий ЭМС	в % от всех объектов
Воздействие токов и напряжений промышленной частоты выше допустимого значения.	Выполнение заземляющего устройства не соответствует условиям ЭМС.	80
Импульсные помехи при коммутациях и коротком замыкании выше допустимого значения.	Заземление оборудования выполнено без учета требований ЭМС. Применяются неэкранированные кабели.	40
При ударах молнии импульсные помехи и напряженность импульсных магнитных полей выше допустимого значения.	Молниезащита не соответствует условиям ЭМС.	50
Потенциалы от статического электричества выше допустимого значения.	Применяются синтетические напольные покрытия.	25
Напряженности магнитного поля промышленной частоты выше допустимого значения.	При компоновке объекта не учитываются условия ЭМС.	25
Низкое качество электропитания оперативным постоянным током.	Систем электропитания оперативным током не соответствуют условиям ЭМС.	35
Низкая помехоустойчивость устройств РЗА.	Не проводились испытания на помехоустойчивость.	15
Напряженности электромагнитного поля радиочастотного диапазона выше допустимого значения.	Не проводилось измерение напряжённости электромагнитного поля в местах установки микропроцессорных устройств.	4

Общие положения

Организационные мероприятия

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

Технические мероприятия

Технические мероприятия включают комплекс принимаемых проектных решений, выполнение которых обеспечивает создание требуемой ЭМО, при которой для всех видов электромагнитных воздействий обеспечивается ЭМС вторичного оборудования и систем связи.

Основой (критериями) для разработки необходимого комплекса мероприятий по обеспечению ЭМС являются допустимые уровни всех видов электромагнитных воздействий для конкретного устройства, устанавливаемого на электросетевом объекте.

Испытание вторичного оборудования на помехоустойчивость

	Электромагнитное воздействие	Вид испытаний	Нормативный документ	
1.	Напряжения промышленной частоты при КЗ на землю.	Испытания электрической прочности изоляции в установившемся режиме и импульсным напряжением.	ГОСТ 30328-95 (МЭК 255-5)	
2.	Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне.	На устойчивость к воздействию импульсных помех, возникающих при коммутациях и КЗ .	ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12-96)	
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.	Магнитные поля промышленной частоты.	На устойчивость к воздействию магнитного поля промышленной частоты.	ГОСТ Р 50648-94 (МЭК 61000-4-8-93).	
5.	Электромагнитные поля радиочастотного диапазона.	На устойчивость к излучаемым радиочастотным электромагнитным полям.	ГОСТ Р 51317.4.3-99 (МЭК 61000-4-3-95).	
6.	Импульсные магнитные поля.	На устойчивость к импульсному магнитному полю	ГОСТ Р 50649-94 (МЭК 61000-4-10-93).	

Испытание вторичного оборудования на помехоустойчивость

	Электромагнитное воздействие	Вид испытаний	Нормативный документ
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).
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).
9.	Качество электропитания постоянным током.	На устойчивость к пульсациям напряжения постоянного тока. На устойчивость к импульсам напряжения 100/1300 мкс (при срабатывании плавких вставок).	ГОСТ Р 51317.4.17-2000 (МЭК 61000-4-17-99). ГОСТ 29280-92 (МЭК 61000-4-91).
10.	Качество электропитания переменным током.	На устойчивость: к гармоникам и интергармоникам, к сигналам систем телеуправления и сигнализации в напряжении сети переменного тока; к колебаниям напряжения; к динамическим изменениям напряжения электропитания; к изменениям частоты.	МЭК 61000-4-13 ГОСТ Р 51317.4.14-2000 ГОСТ Р 51317.4.11-99 ГОСТ Р 51317.4.28 – 2000
11.	Кондуктивные помехи.	На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц; к кондуктивным помехам в полосе частот от 0 до 150 кГц..	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96). ГОСТ Р 51317.4.16 – 2000 (МЭК 61000-4-16-96).

Требования к проектным решениям по обеспечению ЭМС

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

- - проведение предпроектных изысканий 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, если они превышают допустимые уровни помехоустойчивости вторичного оборудования.

Результаты отражаются в специальном разделе проекта по ЭМС.

Разработка проектных решений по обеспечению ЭМС

- Расчет напряжения и токов промышленной частоты, воздействующих на вторичное оборудование при коротких замыканиях на землю и разработка проектных решений по обеспечению допустимых уровней воздействий.
- Расчет импульсных помех, возникающих при коммутациях силового оборудования и КЗ в первичных цепях и разработка технических решений по обеспечению допустимых уровней воздействий на вторичное оборудование.
- Расчет импульсных помех от токов молнии и разработка технических решений по обеспечению допустимых уровней воздействий на вторичное оборудование.
- Расчет магнитных полей промышленной частоты и разработка технических решений по обеспечению допустимых уровней воздействий на вторичное оборудование.
- Разработка проектных решений по защите от электромагнитных полей радиочастотного диапазона.
- Расчет импульсных магнитных полей и разработка технических решений по обеспечению допустимых уровней воздействий на вторичное оборудование.
- Разработка проектных решений по защите от разрядов статического электричества.
- Разработка технических решений по защите от наносекундных импульсных помех.
- Разработка проектных решений по обеспечению качества электропитания постоянным током вторичного оборудования.
- Разработка проектных решений по обеспечению качества электропитания переменным током вторичного оборудования.
- Разработка технических решений по защите от кондуктивных помех.