

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
Высшего профессионального образования
«Амурский государственный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой энергетики
Ю.В.Мясоедов
« ____ » _____ 2012 г.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО ДИСЦИПЛИНЕ

для специальностей

140204.65 – Электрические станции
140205.65 – Электроэнергетические системы и сети
140211.65 – Электроснабжение
140203.65 – Релейная защита и автоматизация
электроэнергетических систем

Составитель: Л.А. Гурина, В.Ю. Маркитан

Благовещенск

2012 г.

Аннотация

Настоящий УМКД предназначен в помощь студентам всех форм обучения электроэнергетических специальностей при изучении дисциплины «Электромагнитная совместимость в электроэнергетике».

При его написании учитывались рекомендации из положения «Об учебно-методическом комплексе дисциплины». УМКД разрабатывался на основе утвержденных в установленном порядке Государственного образовательного стандарта, типовых учебных планов и рабочей программы дисциплины, а также нормативных документов Министерства образования и науки Российской Федерации по вопросам организации учебно-воспитательного процесса. Исключением стали следующие пункты, которые не предусматриваются рабочей программой дисциплины «Электромагнитная совместимость в электроэнергетике»:

- методические рекомендации по проведению семинарских и практических занятий;
- методические рекомендации по проведению лабораторных занятий, деловых игр, разбору ситуаций и т.п.;
- методические указания по выполнению курсовых проектов (работ);
- методические указания по выполнению лабораторных работ (практикумов);
- методические указания к практическим занятиям;
- комплекты заданий для лабораторных работ, контрольных работ, домашних заданий.
- перечень программных продуктов, реально используемых в практике деятельности выпускников и соответствующее учебно-методическое пособие, раскрывающее особенности и перспективы использования данных программных продуктов.

СОДЕРЖАНИЕ

1.Рабочая программа	3
2. Краткий конспект лекций	9
3. Методические указания по применению современных информационных технологий для преподавания учебной дисциплины	21
4. Методические указания профессорско-преподавательскому составу по организации межсессионного и экзаменационного контроля знаний студентов (материалы по контролю качества образования)	22
Заключение	23

1. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

1.1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью дисциплины является изучение принципов обеспечения надежного и безотказного функционирования электроэнергетических объектов при наличии электромагнитных влияний.

В процессе изучения предмета решаются следующие задачи: излагается нормативная база и стандартизация в области электромагнитной совместимости, общие вопросы электромагнитной совместимости, источники и значения электромагнитных помех, каналы и механизмы передачи электромагнитных помех, методы и средства защиты от электромагнитных помех, определения помехоустойчивости, принципы обеспечения электромагнитной совместимости.

Основой для изучения дисциплины являются курсы «Высшая математика», «Физика», «ТОЭ», «Математические модели и методы в расчетах на ЭВМ», «Основы научных исследований», «Электроэнергетика», «Изоляция и перенапряжения».

1.2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВПО:

Дисциплина «Электромагнитная совместимость в электроэнергетике» входит в базовую часть профессионального цикла ОПД.Ф.9.

Выдержка из стандарта:

Основные определения; электромагнитная обстановка на объектах электроэнергетики; источники помех; чувствительные к помехам элементы; каналы передачи помех; уровни помех; помехоустойчивость; методы испытаний и сертификации элементов вторичных цепей на помехоустойчивость; влияние полей, создаваемых устройствами электроэнергетики, на биологические объекты; нормы по допустимым напряженностям электрических и магнитных полей промышленной частоты для персонала и населения; Закон РФ об электромагнитной совместимости.

Для освоения дисциплины необходимо знать:

Математика: решение систем алгебраических уравнений, графы, дифференциальные уравнения, функции комплексного переменного, теория вероятностей и математическая статистика, теория случайных процессов

Физика: электричество и магнетизм, уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной форме, материальные уравнения, квазистационарные токи.

Теоретические основы электротехники: законы электрических цепей, уравнения электромагнитного поля, теория электромагнитного поля, электростатическое поле, стационарное электрическое поле, магнитное поле, аналитические и численные методы расчета электрических и магнитных полей, переменное электромагнитное поле, эффект и эффект близости, электромагнитное экранирование.

Математические модели и методы в расчетах на ЭВМ: моделирование и вейвлет-анализ случайных процессов.

Основы научных исследований: постановка эксперимента и обработка его результатов, транспортная задача.

Изоляция и перенапряжения: молниезащита воздушных линий; изоляция электрооборудования станций и подстанций, закрытых и открытых распределительных устройств; элегазовая изоляция; молниезащита оборудования станций и подстанций; защита изоляции электрооборудования от внутренних перенапряжений; экологические аспекты электроустановок высокого напряжения.

1.3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате изучения дисциплины в соответствии с квалификационной характеристикой выпускников, студенты должны знать:

- нормативную базу и правовое обеспечение в области электромагнитной совместимости;
 - виды и источники электромагнитных помех;
 - каналы передачи электромагнитных помех;
 - способы и средства защиты от электромагнитных помех;
- уметь:
- определять уровни помех и помехоустойчивости;
 - проводить испытания на помехоустойчивость элементов;
- приобрести навыки:
- практической реализации методов снижения помех.

1.4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ»

Общая трудоемкость дисциплины составляет 72 часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Виды учебной работы	Формы текущего контроля
		Лекции (час.)	
<i>Семестр 8</i>			
1	Раздел 1 «Нормативно-правовое обеспечение электромагнитной совместимости» Тема 1. Нормирование и стандартизация в области ЭМС. Тема 2. Электромагнитные помехи и их источники возникновения.	7	Посещение лекций. Тестирование. Блиц-опрос на лекциях
2	Раздел 2 «Моделирование электромагнитных помех» Тема 3. Моделирование периодических помех. Тема 4. Моделирование непериодических помех. Тема 5. ЭМС-номограмма	10	Посещение лекций. Тестирование. Блиц-опрос на лекциях
3	Раздел 3. «Механизмы связи и способы их ослабления» Тема 7. Каналы передачи электромагнитных помех. Тема 8. Электромагнитные экраны. Тема 9. Помехозаграждение. Тема 10. Технические средства и организационные мероприятия по обеспечению электромагнитной	18	Посещение лекций. Тестирование. Блиц-опрос на лекциях

	совместимости		
4	Раздел 4. Электромагнитная обстановка на объектах энергетики. Тема 11. Природа возникновения электромагнитных помех на объектах электроэнергетики. Тема 12. Этапы определения электромагнитной обстановки.	10	Посещение лекций. Тестирование. Блиц-опрос на лекциях

1.5 . СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ И ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

1.5.1 ЛЕКЦИОННЫЙ КУРС

Раздел 1 «Нормативно-правовое обеспечение электромагнитной совместимости»

Тема 1. Нормирование и стандартизация в области ЭМС. Основные определения и требования некоторых нормативных документов по ЭМС. Нормирование безопасных для человека напряженностей электрических и магнитных помех. Виды электромагнитных помех. Помехоэмиссия и помехоустойчивость. Электромагнитная обстановка.

Тема 2. Электромагнитные помехи и их источники возникновения. Категории, типы электромагнитных помех. Параметры помех и диапазоны их изменения. Уровни электромагнитной совместимости. Источники электромагнитных помех. Гармонические составляющие в кривой выпрямленного напряжения в режиме холостого хода. Состав гармонических составляющих в кривой первичного тока. Высшие гармоники сетевого тока мостовых преобразователей и силовых трансформаторов. Высшие гармоники токов бытовых приборов. Высшие гармоники, генерируемые установками электродуговой и контактной сварки.

Раздел 2 «Моделирование электромагнитных помех»

Тема 3. Моделирование периодических помех. Периодические гармонические, негармонические воздействия и способы их описания во временной и частотных областях. Математическое моделирование периодически повторяющихся прямоугольных импульсов

Тема 4. Моделирование непериодических помех. Непериодические воздействия и способы их описания во временной и частотных областях.

Тема 5. ЭМС-номограмма. Определение ЭМС-номограммы и ее практическое применение. ЭМС-номограмма трапецеидального импульса. ЭМС-номограмма треугольного импульса. ЭМС-номограмма прямоугольного импульса.

Раздел 3. «Механизмы связи и способы их ослабления»

Тема 7. Каналы передачи электромагнитных помех. Моделирование механизмов связи. Связь через общее полное сопротивление. Гальваническая связь. Емкостная связь. Электромагнитная связь линий. Связь излучением. Помехи в кабелях, обусловленные электромагнитным воздействием.

Тема 8. Электромагнитные экраны. Природа экранирующего действия и электромагнитные экраны. Дифференциальные уравнения Максвелла и эквивалентная глубина проникновения поля. Экран из двух параллельных пластин в магнитном поле. Цилиндрический экран в продольном поле. Тонкостенный сферический экран.

Тема 9. Помехозаграждение. Гальваническое разделение. Ограничение перенапряжений. Фильтры.

Тема 10. Технические средства и организационные мероприятия по обеспечению электромагнитной совместимости. Меры противодействия при разрядах статического

электричества. Защита сети электропитания. Грозозащита – концепция грозозащитных зон. Устранение электромагнитного излучения. Устранение влияния выпрямительных устройств.

Раздел 4. Электромагнитная обстановка на объектах энергетики.

Тема 11. Особенности электромагнитной обстановки. Напряжения и токи промышленной частоты при коротких замыканиях на шинах распределительных устройств. Импульсные помехи при коммутациях силового оборудования и коротких замыканиях на шинах распределительного устройства. Импульсные помехи при ударах молнии. Магнитные поля промышленной частоты

Тема 12. Определение электромагнитной обстановки. Основные этапы проведения работ по определению электромагнитной обстановки. Получение исходных данных об энергообъекте для оценки ЭМО. Экспериментально-расчетное определение ЭМО на энергообъекте. Определение соответствия между уровнями помехоустойчивости и ЭМО на объекте электроэнергетики.

1.6. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

№ п/п	№ раздела (темы) дисциплины	Форма (вид) самостоятельной работы	Трудоемкость в часах
<i>Семестр 8</i>			
1	Раздел 1 «Нормативно-правовое обеспечение электромагнитной совместимости»	Подготовка к контролируемому тесту. Блиц-опрос на лекциях. Выступление с докладами.	6
2	Раздел 2 «Моделирование электромагнитных помех»	Подготовка к контролируемому тесту. Блиц-опрос на лекциях. Выступление с докладами.	4
3	Раздел 3. «Механизмы связи и способы их ослабления»	Подготовка к контролируемому тесту. Блиц-опрос на лекциях. Выступление с докладами.	8
4	Раздел 4. Электромагнитная обстановка на объектах энергетики.	Подготовка к контролируемому тесту. Блиц-опрос на лекциях. Выступление с докладами.	9

1.7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Наилучшей гарантией глубокого и прочного усвоения дисциплины «Электромагнитная совместимость в электроэнергетике» является заинтересованность студентов в приобретении знаний. Поэтому для поддержания интереса студентов изучения данной дисциплины необходимо использовать различные образовательные технологии и задействовать все атрибуты процесса научного познания.

При преподавании дисциплины «Электромагнитная совместимость в электроэнергетике» используется технология модульного обучения.

При чтении лекций по данной дисциплине используется такой неимитационный метод активного обучения, как «Проблемная лекция». Где перед изучением модуля

обозначается проблема, на решение которой будет направлен весь последующий материал модуля.

1.8. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

1.8.1 Контролирующий тест

Контролирующий тест проводится по темам соответствующих модулей. В каждом тестовом задании от 7 до 10 заданий. Тест выявляет теоретические знания, практические умения и аналитические способности студентов.

1.8.2 Вопросы к экзамену (зачету)

1. Основные определения и требования некоторых нормативных документов по ЭМС.
2. Нормирование безопасных для человека напряженностей электрических и магнитных помех.
3. Виды электромагнитных помех.
4. Помехоэмиссия и помехоустойчивость. Электромагнитная обстановка.
5. Категории, типы электромагнитных помех.
6. Параметры помех и диапазоны их изменения.
7. Уровни электромагнитной совместимости.
8. Гармонические составляющие в кривой выпрямленного напряжения в режиме холостого хода.
9. Состав гармонических составляющих в кривой первичного тока.
10. Высшие гармоники сетевого тока мостовых преобразователей и силовых трансформаторов.
11. Высшие гармоники токов бытовых приборов.
12. Высшие гармоники, генерируемые установками электродуговой и контактной сварки.
13. Периодические гармонические, негармонические воздействия и способы их описания во временной и частотных областях.
14. Математическое моделирование периодически повторяющихся прямоугольных импульсов
15. Непериодические воздействия и способы их описания во временной и частотных областях.
16. ЭМС-номограмма.
17. Моделирование механизмов связи.
18. Связь через общее полное сопротивление.
19. Гальваническая связь.
20. Емкостная связь.
21. Электромагнитная связь линий.
22. Связь излучением.
23. Помехи в кабелях, обусловленные электромагнитным воздействием.
24. Природа экранирующего действия и электромагнитные экраны.
25. Дифференциальные уравнения Максвелла и эквивалентная глубина проникновения поля.
26. Экран из двух параллельных пластин в магнитном поле.
27. Цилиндрический экран в продольном поле.
28. Тонкостенный сферический экран.
29. Гальваническое разделение.
30. Ограничение перенапряжений.
31. Фильтры.

32. Меры противодействия при разрядах статического электричества.
33. Защита сети электропитания.
34. Грозозащита – концепция грозозащитных зон.
35. Устранение электромагнитного излучения.
36. Устранение влияния выпрямительных устройств.
37. Напряжения и токи промышленной частоты при коротких замыканиях на шинах распределительных устройств.
38. Импульсные помехи при коммутациях силового оборудования и коротких замыканиях на шинах распределительного устройства.
39. Импульсные помехи при ударах молнии.
40. Магнитные поля промышленной частоты
41. Основные этапы проведения работ по определению электромагнитной обстановки.

1.9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ»

а) основная литература:

1. Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике [Текст] : учеб. : доп. УМО / А. Ф. Дьяков [и др.] ; под ред. А. Ф. Дьякова. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2009. - 455 с.
2. Гурина, Людмила Александровна. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике [Текст] : учеб. пособие / Л. А. Гурина ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2007.
3. Гурина, Людмила Александровна. Электромагнитные помехи и методы защиты от них [Текст] : учеб. пособие / Л. А. Гурина ; АмГУ, Эн. ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2006. - 101 с.

б) дополнительная литература

1. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике [Текст] : учеб.-метод. комплекс для спец. 140203, 140204, 140205, 140211 / АмГУ, Эн.ф. ; сост. Л. А. Гурина. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2007. - 43 с.
2. Горюнов, А. К. Электромагнитная совместимость в сетях низкого напряжения и меры борьбы с ее нарушениями [Текст] : учеб. пособие / А. К. Горюнов, А. И. Таджикибаев, Ф. Х. Халилов. - СПб. : Изд-во ПЭИПК, 2004.
3. Геворкян, Владимир Мушегович. Электромагнитная совместимость электронных информационных систем [Текст] : учеб. пособие: в 2 ч. / В. М. Геворкян. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2006 - Ч. 1 : Общие вопросы электромагнитной совместимости технических средств. - 2006. - 432 с.
4. Жежеленко, Игорь Владимирович. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий [Текст] / И. В. Жежеленко. - 6-е изд., перераб. и доп. - М. : Энергоатомиздат, 2010. - 375 с.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

№	Наименование ресурса	Краткая характеристика
1	http://www.iqlib.ru/	Интернет-библиотека образовательных изданий, в которой собраны электронные учебники, справочные и учебные пособия. Удобный поиск по ключевым словам, отдельным темам и отраслям знаний.

г) периодические издания (профессиональные журналы)

1. Электричество;
2. Известия РАН. Энергетика;
3. Электрические станции;
4. Электрика;
5. Вестник МЭИ;
6. Промышленная энергетика;
7. Известия РАН. Энергетика
8. IEEE Transaction on Power Systems;
9. International Journal of Electrical Power & Energy Systems

2. КРАТКИЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

Введение. Общие сведения об электромагнитной совместимости технических средств на объектах электроэнергетики при управлении ЭЭС

Непрерывное развитие электроэнергетических систем влечет за собой внедрение в автоматизированные системы управления все более совершенной электронной и микропроцессорной техники на различных объектах энергетики. Поэтому становятся все более актуальными проблемы электромагнитного взаимодействия устройств электроснабжения и технических средств, предназначенных для сбора, передачи и обработки информации, требуемой для обеспечения надежной и безотказной работы электроэнергетических объектов.

В связи с этим появилась необходимость исследования вопросов электромагнитной совместимости технических средств различного функционального назначения с учетом постоянно усложняющейся электромагнитной обстановки в среде их функционирования.

Стандартизация в области ЭМС, основные определения

Основные понятия, электромагнитные помехи, помехоэмиссия и помехоустойчивость, показатели качества электрической энергии.

Понятие электромагнитной совместимости характеризует способность любого объекта, связанного с электромагнитными процессами, нормально функционировать с другими объектами.

Задача обеспечения электромагнитной совместимости технических средств разделяется на два взаимосвязанных направления. Первое направление обеспечивает регламентированный нормативными документами уровень электромагнитных полей, создаваемых техническим объектом, а второе обеспечивает нормальное функционирование объекта в окружении других объектов любого функционального назначения, характеризующихся регламентируемыми уровнями собственных электромагнитных полей.

В середине XX века с резким ростом общего числа радиоэлектронной аппаратуры и появлением нового класса устройств электронной техники различного функционального назначения возникла необходимость регламентации частотных диапазонов, выделяемых для функционирования электронных устройств сначала на государственном, а затем и на международном уровне. Появилась нормативно-правовая база, узаконивающая разделение частотного диапазона между пользователями электронной аппаратуры.

Российская Федерация является членом Международного комитета радиочастот (МККР) и следует требованиям международных договоров по координированному разделению частот.

Организационные мероприятия, регламентирующие частотные характеристики электромагнитных помех, заключены в системе нормативных документов, заканчивающихся техническими условиями на изделие электронной аппаратуры.

Согласно Федеральному закону о техническом регулировании (от 1 июля 2003) нормативные документы, регулирующие электромагнитную совместимость технического средства, будут называться Техническим регламентом. Технические условия на изделие электронной аппаратуры должны удовлетворять требованиям государственного стандарта (ГОСТ) России.

Стандарты по электромагнитной совместимости разделены:

- на стандарты для радиоэлектронной аппаратуры, предназначенной для связи и вещания;
- на стандарты по индустриальным радиопомехам для остальной электронной аппаратуры бытового и промышленного назначения, включающей электрические и электронные технические средства.

Основой нормативно-правовой базы обеспечения электромагнитной совместимости технических средств является техническое законодательство. Проект Федерального закона РФ об электромагнитной совместимости (1997) устанавливал правовые основы деятельности в области обеспечения ЭМС в РФ, в котором устанавливались по статье следующие положения:

1. законодательная терминология;
2. сфера действия закона, разграничивающая технические средства по принадлежности к различным областям деятельности.
3. взаимодействие закона с положениями Международных договоров и соглашений;
4. номенклатура явлений, относящихся к категории электромагнитных помех, которая включает искусственные, кондуктивные помехи, помехи естественного положения, указывает на соответствующие нормативные документы, как на источник, регламентирующий допустимые уровни ЭМП

5. необходимость регулирования вопросов обеспечения электромагнитной совместимости для защиты интересов пользователей электронной аппаратуры и биологических объектов;

6. полномочия федеральных органов исполнительной власти в области обеспечения электромагнитной совместимости;

7. требования по электромагнитной совместимости к техническим средствам;

8. нормативные документы;

9. законодательная обязанность сертификации технических средств;

10. алгоритмы сертификации новых технических средств на ЭМС;

11. запрещение реализации технических средств и передачу электрической энергии без соответствующего сертификата на соответствие электромагнитной совместимости.

Основным государственным стандартом в области ЭМС технических средств является ГОСТ Р 50397-92. Однако, этот стандарт имеет недостаточное значение для практического применения терминов. В этой связи большое значение имеет основной терминологический стандарт в области ЭМС МЭК 50-161-90. Ряд терминов и определений, важных для практических применений в области ЭМС, установлен в ГОСТ 13109-97, ГОСТ 14777-76, ГОСТ 23611-79, ГОСТ 23875-88, ГОСТ Р 51317.2.4-2000, ГОСТ Р 51317.2.5-2000, ГОСТ Р 51317.4.3-99, ГОСТ Р 51317.6.1-99, ГОСТ Р 51318.22-99, ГОСТ Р 51700-2000 [1-4, 27-38]. Приведем некоторые определения важнейших терминов в области ЭМС в указанных выше документах.

Общие вопросы ЭМС

Виды электромагнитных помех, электромагнитная обстановка и уровни ЭМС.

Знание электромагнитной обстановки применительно к различным местам размещения технических средств, т.е. видов электромагнитных помех, воздействующих на технические средства и их характеристик (прежде всего уровней помех, а также временных и спектральных параметров, частот возникновения, величин внутреннего сопротивления источников помех и т.д.), имеет большое значение, т.к. позволяет обоснованно определить уровни ЭМС для ЭМП различных видов и устанавливать предельные уровни помехоэмиссии и помехоустойчивости, обеспечивающие ЭМС ТС в конкретных условиях эксплуатации.

Установленная в международных и отечественных стандартах ЭМС система классификации представляет принятую на международном уровне для решения практических задач ЭМС классификацию разнообразных электромагнитных явлений и процессов, связанных с ними ЭМП, и различных мест размещения ТС.

С целью классифицировать ЭМП, характеризующих ЭМО в местах размещения ТС, в ГОСТ Р 51317.2.5-2000 установлены категории и виды ЭМП.

Категории ЭМП:

1. НЧ ЭМП (кондуктивные и излучаемые), вызываемые различными источниками, кроме электростатических разрядов;
2. ВЧ ЭМП (кондуктивные и излучаемые), вызываемые различными источниками, кроме электростатических разрядов;
3. электростатические разряды.

Излучаемые ЭМП распространяются в пространстве, окружающем ТС, в то время как кондуктивные помехи распространяются в различных проводящих средах, прежде всего, в силовых линиях СЭС.

Виды ЭМП, характеризующие ЭМО в местах размещения ТС, представлены в таблице

Таблица - Виды ЭМП

Категория ЭМП	Вид ЭМП
1	2
НЧ кондуктивные ЭМП	Гармоники, интергармоники напряжения электропитания Напряжения сигналов, передаваемых в СЭС
	Колебания напряжения электропитания
	Провалы, кратковременные перерывы напряжения электропитания и временные перенапряжения
	Отклонение напряжения электропитания
	Изменение частоты в СЭС
	Наведенные низкочастотные напряжения
	Постоянные составляющие в сетях электропитания
НЧ излучаемые ЭМП	Магнитные поля
	Электрические поля
ВЧ кондуктивные ЭМП	Наводимые напряжения или токи
	Апериодические и колебательные переходные процессы
ВЧ излучаемые ЭМП	Магнитные поля
	Электрические поля
	Электромагнитные поля, в том числе, вызываемые переходными процессами

Электростатические разряды	
----------------------------	--

Для количественной оценки величин, характеризующих ЭМС, пользуются логарифмическим масштабom электрических величин в относительных единицах, что позволяет наглядно представить соотношение величин, отличающихся на много порядков, а также умножать эти значения простым сложением этих логарифмов.

Различают два вида логарифмических относительных величин: уровень и меру сигнала.

Уровень – логарифм относительной величины с постоянной базой – знаменателем.

Мера сигнала – логарифм отношения величин для обозначения измеряемых свойств объекта (степени передачи, коэффициентов усиления, ослабления).

Математические модели электромагнитных влияний

Гармонические воздействия и способы их описания, периодические негармонические воздействия и способы их описания, непериодические воздействия и способы их описания.

Для оценивания электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики и при подавлении электромагнитного влияния в системах диспетчерского управления необходимо математическое описание помехового воздействия.

Если электромагнитные помехи появляются преимущественно в форме дискретных частот или шума, их следует рассматривать в частотной области, если как импульсы или переходные помехи – во временной.

Гармонические колебания – основной вид возмущений и реакций в ЭЭС.

Периодические помехи описываются с помощью разложения в ряды Фурье.

Для математического описания импульсных помех при изучении электромагнитной обстановки исследуют спектр последовательности периодически повторяющихся прямоугольных импульсов.

Непериодические воздействия анализируют как совокупность гармонических колебаний.

Непериодический сигнал рассматривается как предел периодического колебания, имеющего ту же форму импульсов на периоде T , при частоте $f = \frac{1}{T} \rightarrow 0$.

Источники помех

Гармонические составляющие в кривой выпрямленного напряжения в режиме холостого хода, состав гармонических составляющих в кривой первичного тока.

Источники электромагнитных влияний могут быть естественного и искусственного происхождения. В зависимости от того, возникнут ли электромагнитные влияния при преднамеренном производстве и применении электромагнитных волн или они являются паразитными и имеют мало общего с первичной функцией источника, различают функциональные и нефункциональные источники помех. К функциональным источникам можно отнести радио- телепередатчики, генераторы высокой частоты, устройства радиоуправления, а к нефункциональным – сварочное оборудование, выпрямители тока, атмосферные разряды.

В реальных условиях выработки, преобразования, распределения электроэнергии возникает искажение формы кривой тока и напряжения. Эти искажения возникают при генерации электроэнергии, передаче электроэнергии по сетям и, главным образом, при потреблении, связанном в основном с преобразованием переменного тока в постоянный и наоборот.

Форма кривой тока в тяговой сети электрической железной дороги искажается из-за наличия двухполупериодных выпрямительных агрегатов на электроподвижном составе.

Источниками искажения тока и напряжения в системах электроснабжения железной дороги постоянного тока являются преобразовательные агрегаты тяговых подстанций.

Расчет линейной цепи с несинусоидальным напряжением и тока, в том числе и расчет электромагнитных влияний, сводится к решению системы линейных дифференциальных уравнений, составленных на основании законов Кирхгофа. Но, если разложить периодические несинусоидальные ток и напряжение на сумму синусоидальных величин (гармонических составляющих), то возможен расчет для каждой гармоники, т.е. решение системы линейных алгебраических уравнений с последующим сложением и получением результата для всех гармоник.

Каналы передачи электромагнитных помех и способы их ослабления

Моделирование механизмов связи, связь через общее полное сопротивление, механизмы связи, помехи в кабелях, обусловленные электромагнитным воздействием.

Все модели, описывающие связь электромагнитного поля с автоматическими и автоматизированными системами технологического управления электротехническими объектами, могут быть построены с применением **теории антенн**. Основу этой теории составляют уравнения Максвелла, представленные в форме, наиболее часто используемой для реализации численных методов расчёта. Данная теория основана на том основном принципе, что любой ток является источником поля (задача излучения) и любое поле может

быть источником тока (задача приема), который, в свою очередь, является источником излучаемого поля.

Теория поля является одной из наиболее общих и строгих из используемых теорий для решения задач определения параметров механизмов связи и поэтому содержит мало допущений:

- электропроводящее тело имеет размеры, много меньше длины волны;
- тело обладает абсолютной проводимостью.

Другой широко используемой теорией является **теория длинных линий (ТЛ)**.

Частным случаем двух достаточно общих теорий является **теория цепей**, основанная на законах Кирхгофа и Ленца.

Большинство механизмов передачи помех представляют на основе теории цепей.

При анализе путей передачи возмущений от источника к приемнику их следует разделить на две группы - механизм связи образуется посредством прямого электрического контакта между источником и приемником или посредством электромагнитного поля (отдельно электрической или отдельно магнитной составляющей, или их совместным воздействием). Таким образом, может быть сделано первое разделение (классификация) способов передачи помех: гальванические (кондуктивные) связи и связи излучением (полевые связи).

Однако, если возмущение влияет на приемник посредством гальванической связи, его воздействие на чувствительные цепи может происходить по-разному в зависимости от типа сопротивления (активное или реактивное, собственное или взаимное), по которому протекает ток.

Иногда при передаче возмущения происходит комбинация различных физических механизмов воздействия, поэтому будем в дальнейшем использовать понятие **связь через полное сопротивление**, понимая при этом, что при очень низких частотах или при чисто активном характере сопротивления данный способ взаимодействия может быть назван связью через активное сопротивление.

Способы взаимосвязи без гальванического контакта будем подразделять на три категории в зависимости от того, могут ли электрическая и магнитная составляющие магнитного поля рассматриваться отдельно или необходимо совместное рассмотрение электромагнитных составляющих.

Таким образом, может быть предложена следующая классификация способов передачи возмущений:

1. Связь через общее сопротивление (в том числе через активное);
2. Индуктивная, или магнитная связь;

3. Емкостная, или электрическая связь;
4. Связь излучением, или электромагнитная связь.

Теория электромагнитных экранов

Природа экранирующего действия и электромагнитные экраны, дифференциальные уравнения Максвелла, эквивалентная глубина проникновения поля, экран из двух параллельных пластин в магнитном поле, цилиндрический экран в продольном поле, помехозаграждение.

Природа действия электромагнитного экрана заключается в том, что электромагнитное поле проникает в стенку экрана и возбуждает в ней заряды или индуцирует токи, собственные поля которых накладываются на первичное поле, частично или полностью компенсируя его.

При этом несущественно, находится ли первичное поле внутри или снаружи экрана.

Мерой экранирующего действия является коэффициент экранирования, который определяется отношением напряженности поля внутри экрана к напряженности внешнего поля, которое имеет место при отсутствии экрана.

Различают постоянные и переменные поля, при этом последние подразделяются на квазистационарные (медленно меняющиеся) и электромагнитные (быстро меняющиеся).

В технике связи, электронной, микроэлектронной, микропроцессорной технике часть пространства экранируется от электромагнитного поля при помощи металлической оболочки. Электростатическое поле полностью экранируется тонкой металлической фольгой.

Экранирующее действие экрана из немагнитного металла в переменном поле определяется наведенными в толще стенок экрана токами и возбужденным этими токами электромагнитным полем. Экранирующее действие увеличивается при увеличении частоты токов и толщины стенок экрана.

Общий метод решения рассмотренных задач состоит в том, что стенки экрана и окружающее их пространство рассматривается как область, в которой исследуется и рассчитывается электромагнитное поле. При этом применяются уравнения Максвелла в области, частью которой является металлическая оболочка экрана.

Кроме общих методов выполнения экранов, иногда возникает необходимость использования заградений для снижения уровня помех ниже некоторого приемлемого уровня, определяемого помехоустойчивостью или электрической прочностью оборудования.

Обычно это происходит тогда, когда приемные цепи проходят через границу зон с различной ЭМО.

Заграждающие устройства можно разделить на три группы:

1. гальваническое разделение;
2. ограничение перенапряжений;
3. фильтры.

Технические средства и организационные мероприятия по обеспечению электромагнитной совместимости

Разряды статического электричества, защита сети электропитания, грозозащита - концепция грозозащитных зон, устранение электромагнитного излучения, устранение влияния выпрямительных устройств.

В процессе проектирования и создания устройств необходимо обеспечивать ЭМС, т.е. путем реализации соответствующих мероприятий гарантировать, что при вводе в эксплуатацию устройства не потребуются дорогостоящие дополнительные работы по совершенствованию, а при дальнейшей эксплуатации не возникнут ограничения функционирования, выходы их строя, повреждения и опасные режимы, вызванные недостаточной ЭМС.

Это обеспечивается

- использованием промышленных элементов, показатели которых (помехоустойчивость, эмиссия помех) соответствуют ожидаемым параметрам окружающей среды;
- целесообразным выбором и размещением измерительных, управляющих и регулирующих приборов, соединений между ними и коммуникационных элементов с учетом имеющихся в устройстве электроэнергетических элементов;
- проектированием здания (его конструкции, расположения помещений, экранирование помещений и здания, кабельных трасс);
- реализацией ряда дополнительных технических и организационных мероприятий.

При этом технические мероприятия направлены на выполнение удовлетворяющих условиям ЭМС системы электропитания, прокладки кабелей и заземления, грозозащиты, ограничения коммутационных перенапряжений, защиты от создающих помехи полей и от влияния разрядов статического электричества, а также на подавление помех, создаваемых выпрямителями и электромагнитными устройствами.

Разряды статического электричества возникают, как правило, при выравнивании потенциалов тела человека, предметов и компонентов, заряженным статическим электричеством с заземленным окружением.

Различают прямые разряды (напр., разряд с тела человека при касании клавиатуры компьютера), а также косвенные разряды (разряд с тела человека через тележку с измерительными приборами и т.д.).

В первом случае незаземленные части (входы полупроводниковых приборов) через гальваническую связь могут получать напряжение относительно земли до нескольких киловольт и выйти из строя, во втором, магнитные и электрические поля, связанные с косвенным разрядом, индуктируют в соседних, неэкранированных приборах напряжения и токи помех, которые тоже могут приводить к необратимым последствиям.

Наиболее часто встречающаяся форма возникновения электростатических зарядов — электризация трением. Электризация трением проявляется, как правило, вследствие контакта тела человека с его одеждой, стулом, полом, рабочими средствами и предметами, а также при соприкосновении деталей, панелей, приборов с другими устройствами. На действующих объектах энергетики для устройств АСТУ наиболее вероятными источниками статического электричества является персонал, обслуживающий эти устройства.

Воздействие на сеть, вызываемое коммутируемыми блоками питания, коммутационной аппаратурой, выпрямителями силовой электроники, является примером передающихся по проводам помех. Несинусоидальный ток, потребляемый одним единственным мощным потребителем, может исказить форму кривой напряжения сети и этим причинить вред многочисленным средним и малым потребителям. Большое количество маломощных потребителей, если их действие происходит синхронно (телевизионные приемники), может вызвать заметное влияние на сеть.

Содержащиеся в несинусоидальных токах гармоники I_ν вызывают на пропорциональных частоте реактивных сопротивлений $\omega_\nu L = \nu\omega_1 L$ падение напряжения, и поэтому даже небольшой ток при высокой частоте может вызвать заметной падение напряжения.

Дальнейшее усиление воздействия на сеть происходит, если параллельно потребителю включены емкости C_p для компенсации реактивной мощности. Они образуют совместно с реактивностью сети заграждающий контур, в котором при резонансе не только возникают очень сильные перенапряжения, но и в сеть через емкость могут течь очень большие токи.

Согласно нормативным документам («Общие условия электроснабжения потребителей») с одной стороны, электростанции обязаны поддерживать напряжение и частоту возможно более постоянными так, чтобы потребители могли нормально функционировать, с другой стороны установки потребителей должны эксплуатироваться так,

чтобы были исключены помехи другим потребителям и воздействия на оборудование электростанций.

Выработка и контроль за определенным качеством напряжения вменяется в обязанность эксплуатационникам сетей, которые по меньшей мере должны сдерживать подпитку высшими гармониками, производимыми анонимными малыми потребителями. При наличии заведомо мощных генераторов, создающих гармоники, следует стремиться обеспечить ЭМС с учетом экономических и технических интересов всех участников. Предложены следующие технические мероприятия:

- в сети: обеспечение малого внутреннего сопротивления сети; компенсация реактивной мощности, в зависимости от нагрузки через исполнительный орган с тиристорным управлением; использование пассивных и активных помехоподавляющих контуров;
- у потребителя: повышение частоты пульсаций у выпрямителей; ограничение пусковых токов; составление расписания работы и разнесения во времени работы оборудования, генерирующего гармоники; использование пассивных и активных подавляющих контуров.

Все мероприятия, в основном, сводятся к тому, чтобы сделать возможно меньшим отношение внутреннего сопротивления сети и полного сопротивления потребителей и, соответственно отношение мощности КЗ сети P_k и максимальной мощности приборов $P_{II\max}$ - возможно большим.

Опасность, связанная с грозовыми разрядами и коммутациями в сети, устраняется реализацией внешней и внутренней защиты.

Существует различие между внутренней и внешней грозозащитой. Задачей внешней грозозащиты является отвод тока молнии в землю таким образом, чтобы внутри помещения не возникало больших разностей потенциалов и сильных электромагнитных полей и помех. Практически это достигается заземленной системой проводников, сооруженных наподобие клетки Фарадея, по которой ток молнии протекает по многим параллельным путям с учетом фундамента и металлических элементов фасада здания. Наличие системы заземления является основным условием для внутренней грозозащиты. Последняя защищает электрические установки и электронные приборы внутри зданий от частичных токов молнии и повышения потенциала в системе заземления, а также от связанных с ударами молний электромагнитных полей.

Под внутренней грозозащитой понимают ряд мероприятий, которые способствуют защите от перенапряжений в силовой сети. К внутренней грозозащите относятся:

- выравнивание напряжения между металлическим оборудованием, системой трубопроводов, оболочками кабелей, металлическими фундаментами оборудования путем соединения их проводами и присоединения к заземлению;

- выравнивание потенциалов при помощи экранирующих проводников – металлических труб, кабельных перемычек, металлических коробов и закрытых кабельных коробов, в которых прокладываются провода управления, сигнальные линии и линии передачи данных между зданиями и пространственно разделенными устройствами;
- выравнивание напряжения между сетевыми, телефонными и измерительными линиями передачи данных, управления, регулирования, и землей через ограничивающие перенапряжения устройства.

Организационные мероприятия, способствующие обеспечению ЭМС, направлены на то, чтобы рассмотренные технические мероприятия реализовать при планировании, проектировании и создании приборов и длительно обеспечивать достигнутое качество в отношении ЭМС в стадии использования, обслуживания, ввода и эксплуатацию устройства.

Организационные мероприятия включают в себя предписания такие, как ношение экранирующей защитной одежды вблизи интенсивных источников излучения, порядок обращения с электронными деталями, блоками и приборами.

Среди эксплуатационных и профилактических мероприятий, относящихся также к организационным, есть и такие, как осмотр и измерение сопротивления заземления соединений в заземляющем устройстве, которой может повлиять на ЭМС, проверка устройств разделения различных потенциалов, эффективности фильтров, устройств защиты от перенапряжений и экранов, предусмотренных по условиям обеспечения ЭМС.

Кроме того, организационные мероприятия направлены на предотвращение неконтролируемого оснащения при расширении или реконструкции устройства компонентами, кабелями и проводами, которые могут создавать помехи или резко понижать эффективность мероприятий по обеспечению ЭМС.

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ СВОРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРЕПОДАВАНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Презентации, слайды;
2. Схемы, таблицы, рисунки под медиапроектор;
3. Лазерные пленки к проектоскопу;

5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПРОФЕССОРСКО-ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКОМУ СОСТАВУ ПО ОРГАНИЗАЦИИ МЕЖСЕССИОННОГО И ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ (МАТЕРИАЛЫ ПО КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ)

В процессе изучения дисциплины предусмотрены следующие виды промежуточного контроля знаний студентов:

- пятиминутный опрос студентов на каждой лекции;
- студенты, не посещающие лекционные и практические занятия, представляют рефераты по пропущенным темам.

К промежуточным формам контроля знаний относятся:

- блиц-опрос на лекциях по пройденному материалу;
- контрольные работы;
- выполнение рефератов с последующей их защитой;
- выступление с докладом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящий УМКД предназначен в помощь студентам всех форм обучения электроэнергетических специальностей при изучении дисциплины «Электромагнитная совместимость в электроэнергетике».

В данном учебно-методическом комплексе отражены полные вопросы: показана рабочая программа дисциплины; подробно описан график самостоятельной учебной работы студентов по дисциплине на каждый семестр с указанием ее содержания, объема в часах, сроков и форм контроля; расписаны методические указания по проведению самостоятельной работы студентов; предложен краткий конспект лекций по данному курсу; методические указания по применению современных информационных технологий, методические указания профессорско-преподавательскому составу.