

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Управление в технических системах

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

_____ Е.И. Луковникова

« _____ » _____ 201__ г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ И УПРАВЛЕНИЕ
ЧАСТОТНЫМ СПЕКТРОМ**

Б1.В.ДВ.08.02

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ

11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ

Многоканальные телекоммуникационные системы

Программа академического бакалавриата

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	3
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	4
3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ	4
3.1 Распределение объёма дисциплины по формам обучения.....	4
3.2 Распределение объёма дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости	4
4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	5
4.1 Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий	5
4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам	7
4.3 Лабораторные работы.....	77
4.4 Практические занятия.....	77
4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат	78
5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	79
6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ	80
7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	80
8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО – ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	81
9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	81
9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ/ практических работ	82
10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	92
11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	92
Приложение 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.....	93
Приложение 2. Аннотация рабочей программы дисциплины	100
Приложение 3. Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе	101
Приложение 4. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости по дисциплине.....	102

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Вид деятельности выпускника

Дисциплина охватывает круг вопросов, относящихся к проектному виду профессиональной деятельности выпускника в соответствии с компетенциями и видами деятельности, указанными в учебном плане.

Цель дисциплины

Дать студентам знания, необходимые для осуществления профессиональной деятельности в области технологий, средств и способов передачи и обмена информацией на расстоянии с помощью систем и устройств радиосвязи.

Задачи дисциплины

Задачами дисциплины является обеспечение целостного представления об использовании радиочастотного спектра (РЧС), о методах электромагнитной совместимости (ЭМС) радиосистем фиксированной, подвижной и вещательной служб, радиосистем, расположенных на одном объекте, а также методах частотного планирования сетей подвижной связи и вещания.

Код компетенции	Содержание компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
1	2	3
ОПК-2	Способность решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением инфокоммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности	Знать: - виды влияния сильноточных цепей на слаботочные цепи; методы расчёта электрических, магнитных и гальванических влияний; Уметь: - на основании теоретического и экспериментального исследования разрабатывать мероприятия по уменьшению опасных и мешающих влияний; Владеть: - навыками применения физико-математического аппарата для оценки опасного и мешающего магнитного, электрического и гальванического влияний сильноточных цепей на смежные устройства.
ПК-13	Способность осуществлять подготовку типовых технических проектов на различные инфокоммуникационные объекты	Знать: - основные закономерности передачи информации в инфокоммуникационных системах, основные виды сигналов, используемых в телекоммуникационных системах, особенности передачи различных сигналов по каналам и трактам телекоммуникационных систем; Уметь: - формулировать основные технические требования к телекоммуникационным сетям и системам, оценивать основные проблемы, связанные с эксплуатацией и

		внедрением телекоммуникационной техники; Владеть: -навыками компьютерного проектирования и расчета аналоговых, цифровых и микропроцессорных телекоммуникационных устройств.	новой
--	--	---	-------

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина Б1.В.ДВ.08.02 Электромагнитная совместимость и управление частотным спектром относится к элективной части.

Дисциплина Электромагнитная совместимость и управление частотным спектром базируется на знаниях, полученных при изучении дисциплин Б1.Б.12 Теория электрических цепей, Б1.Б.18 Электромагнитные поля и волны и Б1.Б.14 Общая теория связи.

Основываясь на изучении перечисленных дисциплин, дисциплина Электромагнитная совместимость и управление частотным спектром представляет основу для изучения дисциплины Б1.В.ОД.15 Проектирование и эксплуатация систем передачи.

Такое системное междисциплинарное изучение направлено на достижение требуемого ФГОС уровня подготовки по квалификации бакалавр.

3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Распределение объема дисциплины по формам обучения

Форма обучения	Курс	Семестр	Трудоемкость дисциплины в часах						Курсовая работа, контрольная работа	Вид промежуточной аттестации
			Всего часов	Аудиторных часов	Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Очная	4	7	108	51	17	-	34	57	-	зачет
Заочная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Заочная (ускоренное обучение)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Очно-заочная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

3.2. Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости

Вид учебных занятий	Трудо- емкость (час.)	в т.ч. в интерактив- ной, актив- ной, иннова- ционной формах, (час.)	Распреде- ние по семестрам, час
			7
1	2	3	4
I. Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего)	51	12	51
Лекции (Лк)	17	8	17
Практические работы (ПР)	34	4	34
Индивидуальные(групповые) консультации	+	-	+
II. Самостоятельная работа обучающихся (СР)	57	-	57
Подготовка к практическим работам	34	-	34
Подготовка к зачету	17	-	17
III. Промежуточная аттестация зачет	+	-	+
Общая трудоемкость дисциплины час.	108	-	108
зач. ед.	3	-	3

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий - для очной формы обучения:

№ раз- дела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудо- ем- кость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоёмкость; (час.)		
			учебные занятия		самостоя- тельная работа обучаю- щихся
			лекции	практич- еские работы	
1	2	3	4	5	6
1.	Основные понятия и определения	11	2	-	9
1.1.	Электромагнитная обстановка на объектах связи	2,5	0,5	-	2
1.2.	Общая характеристика схем сетей связи	2,5	0,5	-	2
1.3.	Технологические системы	2,5	0,5	-	2
1.4.	Системы безопасности	3,5	0,5	-	3
2.	Источники	16	3	4	9

	электромагнитных помех				
2.1.	Классификация источников помех	6	1	2	3
2.2.	Источники узкополосных помех	6	1	2	3
2.3.	Источники широкополосных импульсных помех	2,5	0,5	-	2
2.4.	Источники широкополосных переходных помех	1,5	0,5	-	1
3.	Виды связей и способы их ослабления	13	4	-	9
3.1.	Гальваническая связь	1,5	0,5	-	1
3.2.	Емкостная связь	1,5	0,5	-	1
3.3.	Индуктивная связь	1,5	0,5	-	1
3.4.	Электромагнитная связь длинных линий	1,5	0,5		1
3.5.	Помехи в кабелях связи, обусловленные электромагнитными воздействиями	1,5	0,5	-	1
3.6.	Типы ИБП и их структура	1,5	0,5	-	1
3.7.	Энергетические массивы	1,5	0,5	-	1
3.8.	Технические характеристики ИБП	2,5	0,5	-	2
4.	Методика определения электромагнитной обстановки на объектах связи	11	2	-	9
4.1.	Нормирование электромагнитных полей для условий профессионального облучения	1,5	0,5	-	1
4.2.	Нормирование электромагнитных полей для населения	3,5	0,5	-	3
4.3.	Общие положения методики	3,5	0,5	-	3
4.4.	Основные этапы проведения работ по определению электромагнитной обстановки	2,5	0,5	-	2
5.	Способы и средства снижения помех	15	2	4	9
5.1.	Пассивные помехозащитные устройства	3,5	0,5	-	3
5.2.	Электромагнитные экраны	5,5	0,5	2	3
5.3.	Влияние электромагнитных полей на биоорганизмы	6	1	2	3
6.	Проблема наведенных напряжений от высоковольтных ЛЭП	42	4	26	12
6.1.	Магнитные влияния	1,5	0,5	-	1
6.2.	Электрические влияния	5,5	0,5	4	1

6.3.	Результирующее значение наведенного напряжения	2,5	0,5	-	2
6.4.	Проблема наведенных напряжений в электрических сетях	11,5	0,5	9	2
6.5.	Способы снижения наведенных напряжений	13	1	9	3
6.6.	Способы и средства оценки наведенных напряжений	8	1	4	3
	ИТОГО	108	17	34	57

4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам

Вид занятий в интерактивной форме: лекции с текущим контролем, компьютерные презентации (8 часов).

Раздел 1. Основные понятия и определения

Тема 1.1. Электромагнитная обстановка на объектах связи

Под *ЭМС* понимают нормальное функционирование передатчиков и приемников электромагнитной энергии. Иными словами, энергия передатчиков достигает только желаемых приемников, приемники реагируют только на сигналы передатчиков по своему назначению, нежелательные взаимные влияния отсутствуют.

К *передатчикам* электромагнитной энергии, наряду с телевизионными и радиовещательными устройствами, относятся также электрические цепи и системы, которые непреднамеренно излучают в окружающее пространство электромагнитную энергию, например, автомобильные устройства зажигания, люминесцентные лампы, универсальные коллекторные двигатели, силовая электроника, контакты выключателей и т.д. Кроме того, к передатчикам электромагнитной энергии можно отнести и грозовые разряды.

Приемниками электромагнитной энергии, наряду с радио- и телевизионными приемниками, являются системы автоматизации, автомобильная микроэлектроника, измерительные и управляющие приборы и регуляторы, устройства обработки информации, сердечные стимуляторы, биоорганизмы и т.д.

Электрические устройства могут одновременно действовать и как приемники, и как передатчики. При этом и те и другие должны удовлетворительно функционировать в электромагнитном окружении, не влияя недопустимым образом на это окружение. Влиять оно, конечно же, все равно будет. Вопрос стоит о качестве этого влияния. Так, электрическое устройство считается совместимым, если оно в качестве передатчика является источником помех не выше допустимых; а в качестве приемника обладает допустимой чувствительностью к посторонним влияниям, т.е. достаточной помехоустойчивостью.

Проблема ЭМС возникает, как правило, у приемников, когда нарушается безупречный прием полезного сигнала. Например, если из-за случайно поступившей электромагнитной энергии нарушено нормальное функционирование системы автоматизации, то говорят о наличии электромагнитных влияний. *Электромагнитные влияния* – это воздействия электромагнитных величин на электрические цепи, приборы, системы и живые существа.

Электромагнитные влияния могут проявляться в виде обратимых или необратимых нарушений. Примерами обратимых нарушений являются эпизодически появляющийся шум при телефонных разговорах, треск при включении или отключении бытовых приборов и др. Примерами необратимых нарушений являются разрушения электронных компонентов на платах разрядами статического электричества, пробой изоляции при грозовых перенапряжениях, непреднамеренное срабатывание электрических реле и т.д.

На практике обратимые влияния в зависимости от силы их воздействия могут вызывать допустимые нарушения функций либо ведут к недопустимым побочным воздействиям либо к чрезмерной перегрузке.

Влияния могут проявляться как между различными системами (внешние), так и внутри одной и той же системы (внутренние). Примерами внутренних влияний являются паразитные обратные связи в многокаскадных усилителях, изменения сигналов в соседних проводниках электронных узлов и др.

Следует отметить, что по мере удаления от источника возникновения электромагнитные влияния ослабевают, т.е. чем больше расстояние, тем меньше величина помех. В связи с этим полное определение совместимости выглядит следующим образом.

Передатчики, которые отдают паразитную электромагнитную энергию в окружающую среду, считаются совместимыми, если значения напряженности производимого ими поля на определенном расстоянии не превосходят установленных предельных значений, т.е. возможно нормальное функционирование находящегося на этом расстоянии приемника в соответствии с его паспортными данными.

Приемники считаются совместимыми, если они в состоянии принимать при электромагнитном загрязнении свой полезный сигнал с удовлетворительным уровнем помех, а сами не излучают недопустимых помех.

Благодаря определенным техническим мероприятиям при конструировании передатчиков (экранирование, ограничение спектра, направление антенны), путей коммуникаций (экранирование, фильтрация, световоды), приемников (экранирование, фильтрация) возможно практически во всех случаях достичь удовлетворительной ЭМС. Однако по экономическим причинам, если это технически выполнимо, стремятся к наиболее высокой совместимости передатчиков (первичные мероприятия), а совершенствованием многочисленных приемников занимаются во вторую очередь (вторичные мероприятия). Часто ЭМС достигается только совместными мероприятиями, реализуемыми у всех компонентов.

Соблюдение электромагнитной совместимости при внутренних влияниях в большинстве случаев обеспечивает изготовитель или пользователь.

При внешних влияниях предельные значения допустимых излучений предписываются законодательством. Допустимые излучения устанавливаются в результате компромисса, который по возможности учитывает природу передатчиков и технические потребности приемников, работающих в данном диапазоне.

Комплексные системы требуют уже на стадии планирования всестороннего учета аспектов ЭМС. Большие первоначальные затраты позволяют в дальнейшем избежать проблем совместимости, а также дополнительных расходов на исправление дефектов, вызванных несовместимостью. Напротив, малые начальные затраты с большой вероятностью приведут к возникновению ущерба и необходимости его последующего устранения.

Важным аспектом ЭМС является вопрос изучения воздействия внешних электромагнитных полей на электроэнергетические системы (ЭЭС) и их отдельные структуры. Под внешними понимаются электромагнитные поля, генерируемые в широком диапазоне частот внешними по отношению к ЭЭС источниками самой разнообразной природы. Такие вопросы представляют важность для обеспечения устойчивости функционирования ЭЭС и их отдельных элементов, для предупреждения аварий, вызванных несовместимостью оборудования, для разработки компенсаторных устройств, для решения вопросов энергосбережения и т.д.

Считается, что электромагнитная обстановка (ЭМО) на энергетических и промышленных предприятиях является очень жесткой. Однако нужно понимать, что уровни помех даже на однотипных предприятиях могут быть совершенно разными. Существенную роль играют такие факторы, как отклонения от проекта в ходе его реализации, старение заземляющего устройства, проведение модернизаций и т.п. Поэтому оценка ЭМО на любом конкретном предприятии требует индивидуального подхода. Обычно ЭМО тем хуже, чем выше энерговооруженность предприятия. Следовательно, установка оборудования на основе микропроцессорной технологии на энергоемких производствах и объектах электроэнергетики требует тщательного подхода к защите от электромагнитных помех. При этом нельзя забывать, что на предприятиях могут появляться ЭМП внешнего происхождения (например, грозовые разряды или излучение близко расположенной радиостанции).

В целом электромагнитная обстановка достаточно сложна даже в стационарных условиях. Она представляет собой наложение полей естественного и искусственного происхождения, причем напряженности полей искусственного происхождения часто существенно превышают напряженности естественных полей. Ситуация осложняется тем обстоятельством, что ЭМП искусственного происхождения подвержены быстрым изменениям вследствие изменения режимов работы объектов электроэнергетики, возникновения аварийных ситуаций и т.д.

Выделяют несколько основных видов помех, характерных для энергетических и промышленных предприятий:

1) аварийные разности потенциалов между различными заземляющими устройствами, а также между различными точками одного заземляющего устройства;

- 2) провалы, прерывания и выбросы напряжения питания при коммутации мощных потребителей и авариях;
- 3) импульсные поля и помехи при коммутациях силового электрооборудования и работе мощных потребителей электроэнергии;
- 4) постоянно действующие низкочастотные электрические и магнитные поля силовых электроустановок;
- 5) поля и потенциалы при грозовом разряде;
- 6) высокочастотные поля различных радиопередатчиков;
- 7) электростатический разряд.

Промышленные сети, особенно крупных заводов и комбинатов тяжелой промышленности, характеризуются высокой концентрацией электрооборудования на относительно малых производственных площадях, что приводит к обострению проблемы электромагнитного воздействия отдельных элементов оборудования друг на друга и на сеть в целом. Перечислим наиболее распространенные признаки неблагоприятной электромагнитной обстановки на энергообъектах:

- выгорание или пробой кабелей;
- существенные разности потенциалов между различными заземленными элементами, а также между «землей» и «нулем»;
- ложные срабатывания цифровых и аналоговых электронных систем релейной защиты и автоматики (табл. 1.1);
- нарушение работы систем связи, особенно высокоскоростных цифровых каналов;
- сбои и отказы, обусловленные грозовой деятельностью, работой коммутационных устройств, определенным временем суток и т.п.;
- поражение персонала электрическим током при прикосновении к различным металлоконструкциям;
- ухудшение здоровья и повышенная утомляемость персонала;
- частые беспричинные «зависания» и перезагрузки цифровой техники;
- повреждения блоков питания и интерфейсных элементов информационной техники и техники связи.

Тема 1.2. Общая характеристика схем сетей связи

Сети электроснабжения отличаются заземлением нейтрали источника питания и электрического устройства (нагрузки). В настоящее время согласно ПУЭ применяются следующие системы заземления:

- TN-C (рис. 1.1),
- TN-S (рис. 1.2),
- TN-C-S (рис. 1.3),
- TT (рис. 1.4),
- IT (рис. 1.5).

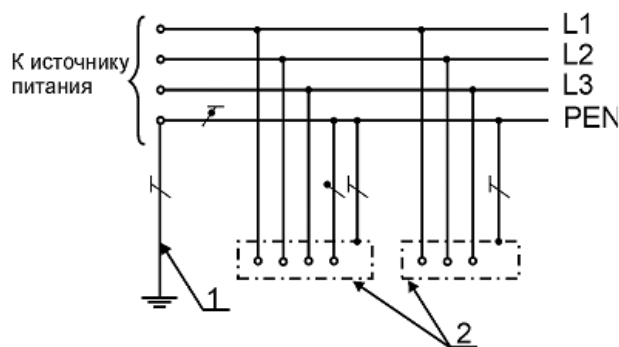


Рис. 1.1. Система заземления TN-C

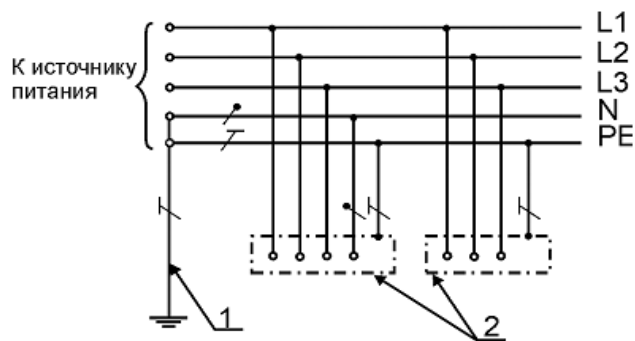


Рис. 1.2. Система заземления TN- S

Первая буква в обозначении системы заземления определяет характер заземления источника питания:

T – заземленная нейтраль источника питания;

I – изолированная нейтраль источника питания.

Вторая буква в обозначении системы заземления определяет характер заземления открытых проводящих частей электроустановки здания:

T – открытые проводящие части заземлены независимо от отношения к земле нейтрали источника питания;

N – открытые проводящие части присоединены к глухозаземленной нейтрали источника питания.

Буквы, следующие через чёрточку за N, определяют способ устройства нулевого защитного и нулевого рабочего проводников:

C – функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике (**PEN**-проводник);

N – нулевой рабочий (нейтральный) проводник;

PE – защитный проводник (заземляющий проводник, нулевой защитный проводник, защитный проводник системы уравнивания потенциалов);

S – функции нулевого защитного PE и нулевого рабочего N проводников обеспечиваются отдельными проводниками.

При TN-C-S системе заземления (рис. 1.3) провода N и PE сначала прокладывают как единый PEN провод от источника тока до электрического устройства и затем их делят и прокладывают отдельно. После разделения прокладка обоих проводов вместе не разрешается.

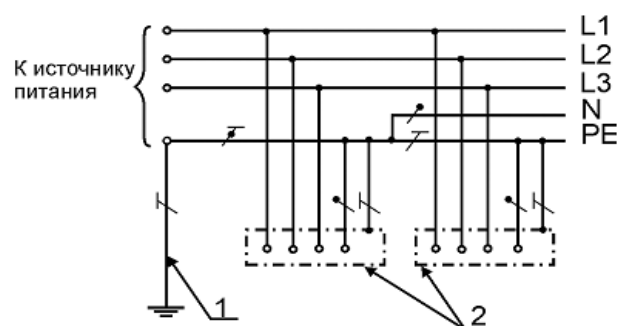


Рис. 1.3. Система заземления TN-C-S

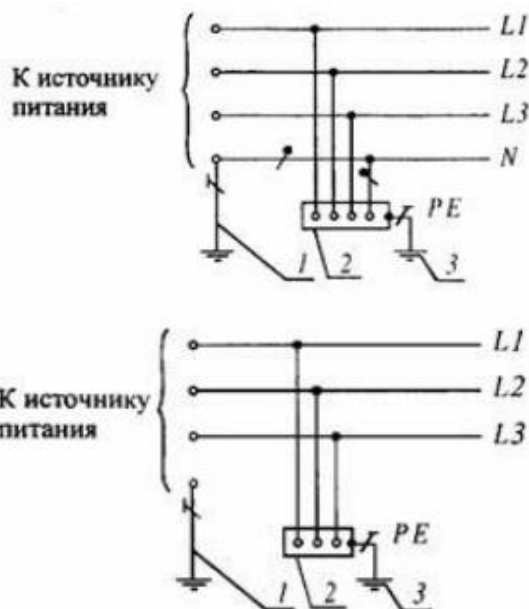


Рис. 1.4. Система заземления TT

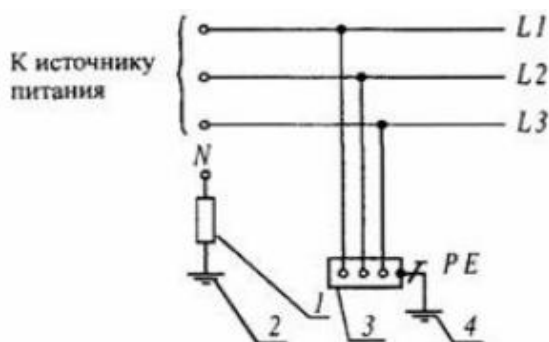


Рис. 1.5. Система заземления IT

В зависимости от системы заземления, используемой в электрической сети, по-разному решаются проблемы электромагнитной совместимости. В табл. 1.2 дано сравнение электрических сетей разных структур в отношении электромагнитной совместимости.

Таблица 1.2

Сравнение различных сетей электропитания
в отношении электромагнитной совместимости

Расп. сеть	Сеть в здании	Замечания в отношении электромагнитной совместимости
TN-S	TN-S	Наиболее благоприятная сеть для обеспечения ЭМС
TN-C	TN-S	Рекомендуется в здании реализовать TN-S-сеть
TN-C	TN-C	Большая несимметрия токов
TN-C	TN-C-S	TN-C-S-сеть в здании не рекомендуется из-за большой несимметрии токов
TT	TT	Рекомендуется учитывать ЭМС информационно-технических устройств в пределах одного здания, не рекомендуется учитывать ЭМС соединений между зданиями с информационно-техническими устройствами. Требуется разгрузочный провод
TT	Разделительный трансформатор для создания TN-S-сети	Благоприятное решение для ЭМС

IT	Разделительный трансформатор для создания TN-S-сети	Благоприятное решение для ЭМС
----	---	-------------------------------

Названные формы сети необходимо учитывать при выборе и установке ограничителей перенапряжений и разрядников, выравнивающих потенциалы. В трехфазной сети в зависимости от ее формы необходимы три или четыре провода для ограничения продольных перенапряжений в главной части и в следующей части распределительной сети. При двухпроводной системе и питании переменным током два активных проводника дают возможность двумя или одним разрядником защитить сеть от продольных перенапряжений. Из-за принципиально одинакового подхода при защите двухпроводных линий в следующих разделах представлены защитные схемы только для трехфазной сети.

Таким образом, чтобы обеспечить требуемые стандартами пределы по помехам, необходимо еще на этапах проектирования и оснащения производства оборудованием проводить комплексные исследования систем с позиций ЭМС. Иными словами, круг задач, касающихся исследования электромагнитных полей и помех в энергосистеме, достаточно широк. Поэтому мы остановимся только на некоторых из них, наиболее важных.

Тема 1.3. Технологические системы

Как было сказано выше, инженерные системы образуют инфраструктуру (платформу), на базе которой функционируют технологические системы. Под технологическими системами понимаются инфокоммуникационные системы, обеспечивающие основную деятельность организаций, предприятий, компаний и фирм, размещающихся в ИЗ. Основная деятельность этих производственных структур базируется на информационных и телекоммуникационных технологиях, и в этом смысле технологические системы являются средствами производства.

Информационная сеть образует сетевую инфраструктуру и поддерживает следующие сетевые приложения и сервисы:

- интегрированная передача голосовых, видео- и цифровых данных;
- создание виртуальных локальных и частных сетей;
- управление сетью;
- учет используемых ресурсов;
- управление пользователями;
- функционирование приложений;
- построение сетей Internet, Intranet, Extranet.

Телекоммуникационные системы в общем случае являются составной частью интеллектуальных сетей здания и обеспечивают выход в глобальные информационные сети и системы связи. Основное телекоммуникационное оборудование и системы каналаобразующая аппаратура и системы спутниковой связи, системы проводной и беспроводной связи.

Телефонные станции и системы связи. Центральное место в этой группе оборудования занимают цифровые учрежденческие автоматические телефонные станции (УАТС). Эта группа включает в себя каналы связи, аппаратные средства и абонентские устройства: телефонные аппараты, телефаксы, компьютеры и т.п.

Система коллективного приема телевизионных сигналов предназначена для трансляции программ местного, всероссийского и спутникового телевидения и FM-радиопрограмм.

Тема 1.4. Системы безопасности

Персонал, здание, его инженерные и технологические системы нуждаются в обеспечении безопасных условий работы. Системы безопасности обеспечивают комплекс мер по пожарной, охранной, инженерной и информационной безопасности.

Система оповещения предназначена для управления эвакуацией персонала и может использоваться для трансляции сообщений и радиопрограмм.

Система охранной сигнализации предназначена для автоматизированной охраны помещений и подступов к объекту. Система охранной сигнализации сопрягается с системой телевизионного наблюдения для обеспечения комплексной охраны объекта.

Система контроля Доступа применяется для ограничения и запрещения прохода в охраняемые помещения или на контролируруемую территорию. Среди современных систем контроля доступа наиболее распространенными и оптимальными по безопасности и стоимости являются устройства и системы, считывающие идентификационный код, записанный на различных носителях. Широко распространены системы, использующие пластиковые карточки.

Система пожарной сигнализации предназначена для автоматизированного обнаружения возгорания или задымления и выдачи сигнала на запуск систем автоматического пожаротушения, подпора воздуха и дымоудаления. Система пожарной сигнализации имеет связь с системами безопасности, лифтовым оборудованием, системами оповещения, электроснабжения и средствами автоматизации. При возникновении пожара по сигналу от системы осуществляется эвакуация персонала и принимаются меры, обеспечивающие сохранность оборудования.

Система телевизионного наблюдения предназначена для охраны подступов и внутренних помещений объекта. Она обеспечивает круглосуточное телевизионное наблюдение за территорией, зданием и внутренними помещениями объекта и отображение формируемых изображений на экранах мониторов в центре управления безопасностью. Прогрессивным решением является применение компьютерных систем, которые автоматически регистрируют перемещения в охраняемых зонах, сообщают об этом оператору и производят запись изображения.

Система безопасности компьютерной информации предназначена для защиты информации в компьютерных сетях (локальных или глобальных) и включает комплекс мероприятий, проводимых с целью предотвращения утечки, хищения, утраты, несанкционированного уничтожения, искажения, модификации, несанкционированного копирования, блокирования информации и т.п.

Системы ИЗ в совокупности образуют среду, позволяющую предприятию осуществлять свою деятельность с высокой производительностью и качеством, предоставляют персоналу комфортные и безопасные условия труда. Инженерные системы, технологические системы и системы безопасности находятся в определенной функциональной связи друг с другом (рис. 1.2). Инженерные системы обеспечивают функционирование технологических систем, а также систем безопасности и создают комфортные условия деятельности персонала.



Рис. 1.2. Взаимосвязь систем интеллектуального здания

Раздел 2. Источники электромагнитных помех

Тема 2.1. Классификация источников помех

Источники электромагнитной энергии классифицируются по излучаемому ими высокочастотному спектру. Различают широкополосные источники и узкополосные.

Сигнал считается *широкополосным*, если его спектр простирается на ширину полосы большую, чем ширина полосы определенной приемной системы, и *узкополосным*, если его спектр меньше ширины полосы приемника (рис. 2.1).

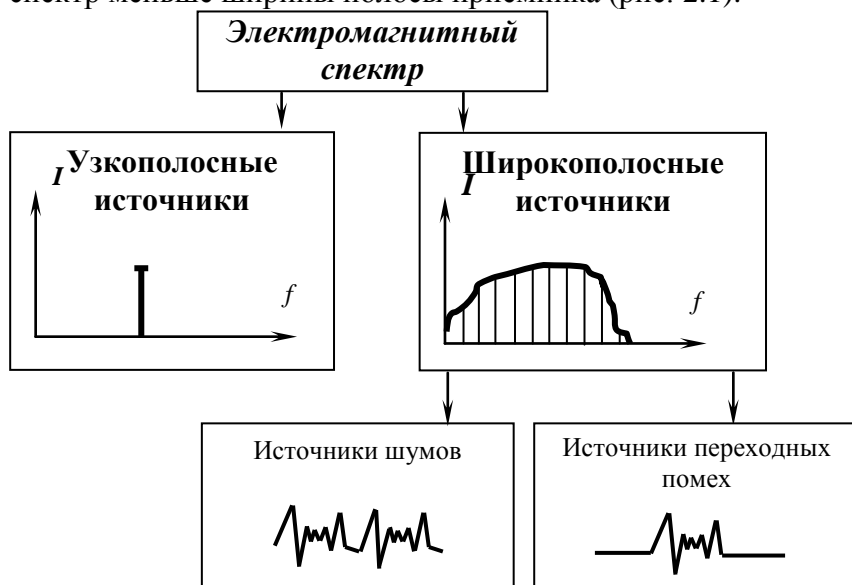


Рис. 2.1. Классификация источников помех

Источники *узкополосных помех* искусственно созданы человеком. Это, например, радиопередатчики, которые на предоставленных частотах излучают больше мощности, чем допустимо; любительские радиопередатчики; устройства, излучающие высшие гармоники; высокочастотные генераторы и электрическая сеть частотой 50 Гц. Такие источники характеризуются амплитудой или действующим значением помехи при соответствующей частоте.

Широкополосные помехи обладают спектром с очень плотно или даже бесконечно близко расположенными друг к другу спектральными линиями (непрерывный спектр). Типичные представители – естественные помехи (например, космический шум), а также все непериодические переходные процессы.

Источники широкополосных помех целесообразно подразделить на источники шумовых и переходных помех.

Шумовые помехи состоят из многих вплотную соседствующих или перекрывающихся импульсов различной амплитуды, которые нельзя разделить. Шумовые помехи (например, рябь на экране телевизора, космические шумы) нельзя определенно описать аналитическими временными функциями. Они проявляют себя как результат многих, неподдающихся индивидуальному анализу отдельных помех. В совокупности шумовые помехи подчиняются определенным статистическим закономерностям.

Переходные помехи четко отличимы одна от другой, обладают сравнительно малой степенью повторяемости и проявляются в виде импульсов.

Помехи могут быть распределены статически, например, при короне на ВЛ, периодически – при работе тиристорных устройств, непериодически – при отключении катушек реле.

Тема 2.2. Источники узкополосных помех

2.2.1. Передатчики связи

Передатчики связи производят электромагнитную энергию в целях передачи или получения информации и излучают ее контролируемым образом в окружающую среду. Их разделяют на пять групп:

- коммерческие передатчики (радио, телевидение);
- радиотелефоны (автомобильные, радиополиция, любительские радиопередатчики, производственные радиотелефоны);
- направленная радиосвязь (спутниковая радиосвязь, наземные релейные станции);
- навигация (воздушное сообщение, судоходство, радиоточка);
- локаторы (воздушное сообщение, судоходство, транспортные локаторы).

Разрешенные мощности передач на соответствующих частотах установлены в зависимости от регионального расположения, времени действия и направленности.

2.2.2. Генераторы высокой частоты

Большое количество высокочастотных генераторов средней и большой мощности используется в промышленности и домашнем хозяйстве, например, генераторы для высокочастотного нагрева, индукционной заправки, пайки и плавки, диэлектрической сушки клея, микроволновые печи и т.д. Все вышеперечисленные генераторы целенаправленно производят высокочастотную энергию, чтобы вызвать локальные электрофизические действия. Большинство этих приборов работают на частотах от 10 до десятков тысяч МГц. При достаточном экранировании они могут работать и на других частотах. Важной проблемой при работе с такими установками является обеспечение совместимости их со средой обитания человека.

2.2.3. Электрическая сеть

Под влиянием в электрической сети понимают появление высших гармонических составляющих напряжения и колебания напряжения в сетях электроснабжения в результате работы электрооборудования с нелинейной или меняющейся во времени вольтамперной характеристикой (ВАХ). Так, трансформаторы и двигатели с высокой индуктивной нагрузкой, управляемые при помощи электронных регуляторов, приводы, вентильные преобразователи тока для электролиза, газоразрядные лампы, телевизионные приемники даже при синусоидальном напряжении сети вызывают несинусоидальные токи, которые, в свою очередь, создают несинусоидальные падения напряжения. Последние ведут к искажению формы синусоиды напряжения сети с частотой 50 Гц и к появлению гармоник.

Другим распространенным источником искажения качества питания является использование устаревших источников бесперебойного питания (ИБП), инверторов, стабилизаторов. В качестве примера на рис. 2.2 показана кривая питания от устаревшего дизель-генератора.

Гармоники, вызванные дугowymi электропечами, электросварочными аппаратами и преобразователями тока для электролиза, достигают миллигерцового диапазона и ведут к возникновению периодических и непериодических колебаний напряжения. Как высшие гармонические, так и колебания напряжения могут привести к повреждению электрооборудования: конденсаторов, двигателей, телевизоров, компьютеров и др.

Конденсаторы. Наличие в сетях конденсаторов, используемых для компенсации реактивной мощности, может привести к местным резонансам, которые, в свою очередь, могут вызвать чрезмерное увеличение тока в конденсаторах и выход их из строя.

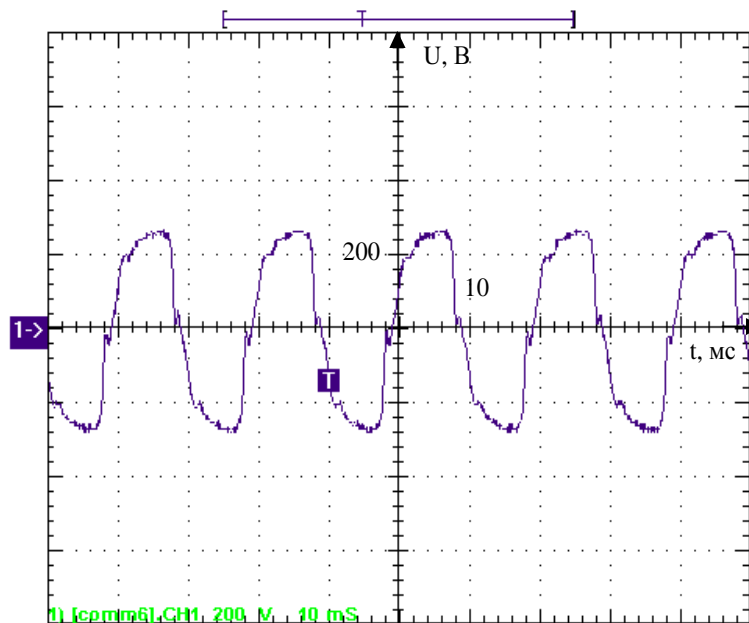


Рис. 2.2. Кривая питания от устаревшего дизель-генератора

Двигатели. Гармоники напряжения и тока приводят к дополнительным потерям в обмотках статора, в цепях ротора, а также в стали статора и ротора. Потери в проводниках статора и ротора при этом больше из-за вихревых токов и поверхностного эффекта, чем потери, определяемые омическим сопротивлением. Токи утечки, вызываемые гармониками в торцевых зонах статора и ротора, приводят к дополнительным потерям.

Телевизоры. Гармоники, увеличивающие пик напряжения, могут вызвать искажения изображения и изменение яркости.

Флуоресцентные и ртутные лампы. Балластные устройства этих ламп иногда содержат конденсаторы, и при определенных условиях может возникнуть резонанс, приводящий к выходу ламп из строя.

Компьютеры. Существуют пределы на допустимые уровни искажений в сетях, питающих компьютеры и системы обработки данных. В некоторых случаях они выражаются в процентах от номинального напряжения (например, для компьютера Honeywell DEC – 3 %, IBM – 5 %) либо в виде отношения пика напряжения к действующему значению.

Приборы для измерения мощности и энергии. Измерительные приборы калибруются при чисто синусоидальном токе и напряжении, поэтому при их использовании для измерения мощности при искаженных токах и напряжениях они могут давать погрешности сверх нормированных.

Значение и направление гармонических искажений (вторичной мощности) важны для коммерческих расчетов за электроэнергию, так как знак погрешности определяется направлением вторичной мощности. Исследования показали, что погрешности измерений, вызванные высшими гармониками, варьируются в широких пределах и возможны как положительные, так и отрицательные погрешности.

Системы дистанционного управления токами тональной частоты. Такие системы часто используются для дистанционного включения и отключения уличного освещения и для управления нагрузкой (например, бытовыми водонагревателями). Ложная работа такой системы может возникнуть в случае, если в сети имеются гармоники, частоты которых близки к частоте системы управления. Амплитуда гармоники напряжения, которая может привести к срабатыванию реле, зависит от его характеристик (чувствительности и селективности) и близости частот влияющей гармоники и системы управления.

2.2.4. Влияние ЛЭП высокого напряжения

В отдельных районах ВЛ высокого напряжения частотой 50 Гц, линии связи, газопроводы, нефтепроводы зачастую располагаются параллельно друг другу на протяженных участках. Вследствие омической, индуктивной и емкостной связей между ними возникают нежелательные влияния: ВЛ на линии связи и линии передачи данных, на устройства катодной защиты от коррозии трубопроводов. Кроме того, ВЛ могут наводить на близкорасположенные металлические объекты высокие потенциалы, превышающие напряжения прикосновения, что представляет непосредственную угрозу для жизни людей.

Влияния ВЛ разделяют на долговременные, кратковременные и импульсные. К источникам *долговременного влияния* относят рабочие токи и напряжения при нормальной работе ЛЭП, токи заземления в сетях с компенсированной нейтралью. Источниками *кратковременных влияний* являются токи коротких замыканий длительностью в несколько десятых долей секунды. *Импульсные влияния* возникают в результате перенапряжений при переключениях. Они относятся к широкополосным помехам.

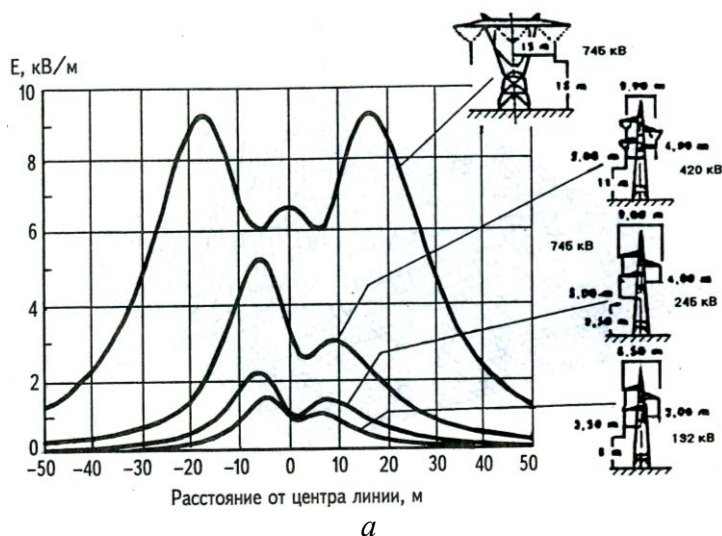
Проблемы влияния ВЛ до настоящего времени решались исключительно мерами со стороны ЛЭП (например, путем симметричного расположения проводов трехфазной ВЛ в виде равностороннего треугольника – в этом случае суммарная напряженность поля равна нулю; скручиванием несимметрично расположенных проводов, резонансным заземлением нейтрали – тогда получаются малые токи замыкания на землю).

2.2.5. Электрические и магнитные поля промышленной частоты, создаваемые силовым оборудованием станции и подстанции

Силовое оборудование подстанций и станций (шины, силовые кабели, реакторы, трансформаторы и т.д.), находящееся под напряжением, создает вокруг себя электрические и магнитные поля промышленной частоты и гармонических составляющих.

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

В качестве примера на рис. 2.3 приведены результаты расчета электрических и магнитных полей, создаваемых высоковольтной ЛЭП в нормальных эксплуатационных условиях. Даны эпюры напряженности электрического поля и магнитной индукции при поперечном разрезе ЛЭП в середине пролета. Вследствие того что провес проводов в середине пролета наибольший, в других аналогичных разрезах создаваемые поля будут заметно меньшими.



а

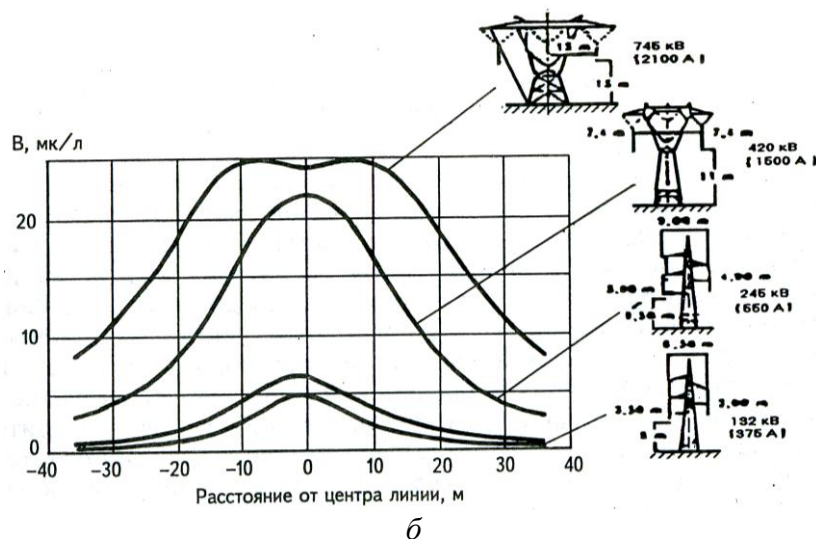


Рис. 2.3. Эюры напряженности электрического и индукции магнитного полей промышленной частоты, создаваемых на уровне поверхности земли под ЛЭП:

а – вертикальная составляющая напряженности электрического поля; б – магнитное поле

Результаты расчетов напряженностей электрических и магнитных полей, создаваемых линиями электропередачи, обычно хорошо согласуются с результатами измерений, так как ЛЭП имеют относительно простую конфигурацию.

Расчеты напряженностей электрических и магнитных полей на территории открытых распределительных устройств (ОРУ) электростанций и подстанций затруднены вследствие экранирующего действия многочисленного силового оборудования, расположенного в различных местах ОРУ.

Магнитные и электрические поля промышленной частоты (а также гармонические составляющие низкой частоты) могут оказывать неблагоприятное влияние на автоматические и автоматизированные системы технологического управления электротехническими объектами из-за низкочастотных наводок в цепях сигнализации и управления, в измерительных цепях, воздействуя непосредственно на терминалы микропроцессорных устройств и на мониторы компьютеров. Близкое расположение реакторного помещения и щита управления является примером неучета требований обеспечения ЭМС автоматической и автоматизированной системами технологического управления электротехническими объектами на стадии проектирования какого-либо объекта.

Тема 2.3. Источники широкополосных импульсных помех

2.3.1. Уровень помех в городах

Вследствие высокой плотности населения и интенсивности движения транспорта в городах имеет место значительный уровень широкополосных помех, который возникает от систем зажигания автомашин, домашних приборов, местных генераторов, приборов цифровой техники, газоразрядных ламп. Уровни помех имеют различный характер, который зависит от географического расположения города, времени года и т.д.

Например, к источникам импульсных помех следует отнести люминесцентные лампы низкого напряжения. Такие лампы, встречающиеся в домашнем хозяйстве и на предприятиях, являются источниками помех не только при включении вследствие появления одного или нескольких импульсов напряжения большой амплитуды, но также и при работе в результате периодических затуханий и повторных зажигания разряда. Эти помехи могут играть большую роль, если лампа находится по соседству с высокочувствительными медицинскими или измерительными приборами, а также рядом с пациентом, имеющим сердечный стимулятор. Электромагнитные влияния, излучаемые во время работы на основной частоте 100 Гц, при малых расстояниях от приемника и при отсутствии мер помехозащиты, всегда создают помехи радиоприему в диапазоне длинных и средних волн.

2.3.2. Воздушные линии высокого напряжения

Напряженность поля вблизи проводов воздушных ЛЭП может в некоторых случаях превышать электрическую прочность воздуха, что ведет к протеканию коронного разряда. Коронный разряд, в свою очередь, вызывает появление импульсов тока длительностью порядка пикосекунд. Накладывающиеся друг на друга импульсы разрядов в совокупности образуют источник шумовых помех, который ведет к нарушению радиоприема. Его спектр распространяется до диапазона ультравысоких частот.

Радиопомехи от воздушных ЛЭП зависят от погодных условий и от характеристик ВЛ. Несмотря на сложные зависимости, существуют документы, которые в определенной степени позволяют прогнозировать радиопомехи.

2.3.3. Помехи при КЗ на землю в сетях с эффективно заземленной нейтралью

Протекание по заземляющему устройству (ЗУ) значительных токов КЗ в сетях высокого напряжения приводит к возникновению перепадов потенциалов в пределах ЗУ и повышению среднего потенциала последнего относительно удаленной земли. Таким образом, значительные разности потенциалов оказываются приложенными к вторичным кабелям (как проходящим в пределах ЗУ объекта, так и выходящим за его пределы) и соответствующим входам аппаратуры. Кроме того, протекание токов КЗ в силовых ошиновках и по элементам ЗУ создает магнитное поле, амплитуда которого часто составляет сотни А/м. Это поле создает наводки на вторичные кабели в случае их сближения с трассой протекания тока КЗ. В реальности оба фактора часто действуют одновременно, вызывая значительные перенапряжения, опасные для аппаратуры и даже для изоляции кабелей. Магнитное поле при КЗ опасно и для самой аппаратуры, если последняя размещается вблизи ошиновок или на пути растекания тока КЗ по элементам ЗУ. Следует отметить, что случаи расположения ошиновок над зданиями ОПУ с помещениями РЩ, узлов связи и тому подобных достаточно типичны.

2.3.4. Электромагнитные помехи, вызываемые магнитным полем Земли

Протекание в энергосистемах токов, наведенных магнитным полем Земли, вызвано изменениями этого магнитного поля. Первоисточником токов является Солнце, с поверхности которого при определенных условиях выбрасывается в окружающее пространство огромное количество заряженных частиц, суммирующихся с постоянным потоком подобных заряженных частиц от Солнца (солнечный ветер). Выбросы Солнцем заряженных частиц взаимосвязаны (хотя и не полностью) с циклом солнечных пятен. Иногда магнитные бури происходят из-за «дыр» в короне Солнца, создающих проколы в его поверхности. Однако в общем наибольшие выбросы происходят при повышенной солнечной активности, а максимальный поток электронов – во время фазы уменьшения солнечной активности.

Когда излучаемые Солнцем заряженные частицы достигают Земли (по прошествии примерно трех дней с момента излучения), они отражаются ее магнитным полем. Взаимодействие между частицами и магнитным полем планеты приводит к появлению в ионосфере и магнитосфере кругового движения частиц вокруг магнитных полюсов. Токи, протекающие таким образом в ионосфере и магнитосфере Земли, могут вызывать магнитные возмущения и бури длительностью в несколько часов.

По статистике наведенное геоэлектрическое поле имеет наибольшее значение напряженности в направлении восток-запад, так как северный магнитный полюс Земли находится в Гренландии.

Наибольшая интенсивность геомагнитных возмущений наблюдается обычно ночью в виде северного и южного сияния. Однако возможны многочисленные исключения в отношении времени и места появления магнитных бурь.

В случае если энергосистема располагается в зоне северных или южных сияний и удельное сопротивление грунта достаточно велико, геомагнитные излучения, являющиеся практически постоянными (частота составляет порядка нескольких мГц), могут иметь значительные амплитуды.

Токи, наведенные в электроустановках магнитным полем Земли, оказывают на эти установки существенное влияние, если выполняется хотя бы одно из следующих условий:

- удельное сопротивление грунта велико;
- система соединена с заземлителями с низким сопротивлением растеканию тока, по крайней мере, в двух точках; обычно такое имеет место, если сеть имеет эффективно- или глухозаземленную нейтраль. В этих случаях длинные ЛЭП подвергаются действию сравнительно высоких токов – в несколько десятков ампер на фазу.

Главные результаты действия токов, наведенных магнитным полем Земли, состоят в следующем:

- возникновение проблем в работе силовых трансформаторов, т.к. при протекании по ним этих токов наступает быстрое насыщение магнитопровода. Как следствие, возможно повреждение трансформаторов из-за их перегрева и искажение напряжений и токов линии;
- появление гармонических составляющих токов и напряжения. Следствием этого факта может быть неправильная работа устройств управления и релейных защит;
- повреждение оборудования, работающего с изолированной нейтралью.

Проблемы такого рода явились причиной повреждений в Северной Америке нескольких силовых трансформаторов и одного масштабного нарушения электроснабжения.

Был отмечен интересный факт: большее по амплитуде изменение напряженности магнитного поля тремя часами позже вызвало появление меньшего электрического поля вследствие меньшей скорости его изменения. Последующие возмущения магнитного поля и обусловленное ими электрическое поле также вызвали сбои в работе оборудования энергосистем, в частности, произошло несколько нежелательных отключений трансформаторов и линий электропередачи.

Тема 2.4. Источники широкополосных переходных помех

2.4.1. Разряды статического электричества

При импульсном разряде статического электричества в виде искры возникают переходные напряжения и токи, которые могут вызвать не только функциональные помехи в вычислительных машинах, телефонных аппаратах и других электронных приборах, но и разрушение электронных компонентов. Наиболее часто проблема ЭМС возникает в результате разрядов статического электричества между объектом и телом человека или малогабаритной мебелью (табл. 2.2). В зависимости от обуви, покрытия пола и влажности воздуха человек может заряжаться примерно до 30 кВ. Несколько меньшими по значению вследствие больших емкостей оказываются потенциалы мебели.

Накопление заряда статического электричества на теле человека обычно имеет трибоэлектрическую природу. При этом электростатический заряд человека обусловлен трением двух материалов, один из которых является непроводящим (пластик, синтетика).

Таблица 2.2

Первичные источники статического электричества

Предмет	Материал
Рабочие столы	Покрытые пластиком, лакированные или натертые мастикой поверхности
Рабочие стулья	Пластик, фибергласе, лакированные деревянные поверхности, мягкая обивка на основе пенорезины, незаземленные металлические стулья
Полы	Лакированный бетон, натертое дерево, пластиковые покрытия, каменные плиты, ковры из синтетических материалов
Одежда	Синтетические материалы, хлопок, не подлежащий глажению, обувь с креповой или резиновой подошвой
Упаковка, тара, кляссеры, футляры, чехлы, кожаные сумки, пакеты	Пластмасса

Инструмент	Инструмент с пластмассовыми ручками, незаземленные работающие паяльники, оксидированные алюминиевые и анодированные металлические поверхности, всасывающие патрубки из пластика, щетки и кисти с синтетической щетиной, изолированные каретки в устройствах поточной пайки, испаряющийся флюс
Документация, бумага, письменные принадлежности	Бумага любого вида, фотокопии, фольга,
Пишущие приборы	Пластик

В общем случае величина заряда статического электричества объекта зависит от следующих факторов:

- от уровня относительной влажности воздуха (при повышенной влажности воздуха заряд стекает быстрее);
- сопротивления изоляции и диэлектрической проницаемости диэлектрика;
- подошвы обуви, ковра, одежды, покрышек колес и т.д., отделяющей заряженный объект от проводящей поверхности;
- электрической емкости объекта, включая человека, относительно земли;
- ритмичности шагов при движении и скорости перемещения человека;
- сопротивления кожи человека (с учетом потоотделения);
- поверхностного давления между двумя взаимодействующими материалами.

В зависимости от условий окружающей среды потенциал человека может достигать 10...25 кВ, а запасенная энергия составляет несколько мДж.

2.4.2. Коммутация тока в индуктивных цепях

Отключаемые катушки индуктивности, чаще всего встречающиеся в промышленных установках или аппаратуре управления, представляют собой источники переходных помех. Примером являются бесчисленные релейные катушки и катушки контакторов в устройствах автоматического управления и исполнительных органов (например, приводы электромагнитных клапанов), а также обмотки электрических машин и трансформаторов. При отключении возникают высокие переходные перенапряжения, которые могут приводить к повторному включению коммутируемого участка, к пробое изоляции катушки, а также к электромагнитным влияниям на соседние компоненты и коммутируемые цепи.

Механизм возникновения помех всегда один и тот же, однако следует различать включение и отключение контуров тока с индуктивной нагрузкой. При отключении индуктивной цепи с током расходящиеся контакты вызывают изменение тока di/dt . С этим связано изменение потока $d\Phi/dt$, которое в результате самоиндукции индуктирует напряжение в цепи тока. Это напряжение приложено к размыкающимся контактам и поддерживает коммутационную дугу. В цепях переменного тока дуга гаснет незадолго до прохождения тока через нуль и вновь не зажигается, если электрическая прочность контактного промежутка возрастает быстрее, чем напряжение между контактами. В цепях постоянного тока ток обрывается только тогда, когда контакты настолько удалены друг от друга, что необходимое напряжение горения дуги превышает фактически имеющееся напряжение.

Наибольшее влияние возникает в результате обрыва тока, когда распад дуги и быстрое нарастание напряжения на промежутке при разведенных контактах заставляют ток падать до нуля с большой крутизной di/dt . Возникающие в результате этого ЭДС самоиндукции достигают даже у контактов низкого напряжения нескольких киловольт. Использование этого явления имеет место в автомобильных устройствах зажигания с прерывателями, в индуктивных накопителях энергии и т.д.

При включении индуктивных цепей протекают аналогичные процессы. Как только контакты сблизилась на определенное расстояние, может произойти пробой газового

промежутка,

как и в случае отключения цепи, только перенапряжения имеют меньшие амплитуды.

Помехи в этих случаях создает не искра как таковая, а ее исчезновение (обрыв тока) или ее возникновение (электрический пробой с гашением дуги или повторными зажиганиями). Чрезвычайно короткое время, необходимое для пробоя между контактами и для гашения дуги, объясняет быстрое изменение тока. У полупроводниковых выключателей в силовой электронике крутизна тока, как правило, меньше, однако появление высоких перенапряжений происходит качественно таким же образом.

На практике максимально допустимое перенапряжение отключения существенно зависит от гасящих свойств выключателя (быстродействие, дугогасящая среда, наличие нескольких последовательно включенных контактов и т.д.). Перенапряжения в коммутируемых индуктивных цепях являются наиболее частыми причинами помех в электронных устройствах управления.

2.4.3. Переходные процессы в сетях низкого напряжения

Переходные перенапряжения или изменения напряжения в сетях низкого напряжения возникают, как отмечалось ранее, преимущественно при обычных включениях индуктивных потребителей. Однако, кроме этого перенапряжения возникают также при включении емкостных нагрузок, срабатывании выключателей защиты и предохранителей при коротком замыкании, переключениях в нагруженных сетях, а также в результате атмосферных разрядов. Повторяющиеся переходные процессы имеют место в результате периодических коммутационных процессов в выпрямителях тока. В связи с разным происхождением и значительно отличающимися внутренними сопротивлениями сетей максимальное значение напряжения, крутизна перенапряжения, количество энергии в помехе колеблются в широких пределах.

Перенапряжения на промышленных предприятиях и в жилых домах мало различаются по своему значению, а различаются в основном по частоте возникновения. Высокие перенапряжения (более 3 кВ) сравнительно редки и, кроме того, они быстро гасятся по пути распространения. В результате их опасное воздействие ограничивается областями, соседствующими с местами их возникновения.

2.4.4. Переходные процессы в сетях высокого напряжения

Коммутационные операции выключателями и разъединителями в сети высокого напряжения провоцируют возникновение высокочастотного переходного процесса. Параметры его индивидуальны для каждого объекта и, более того, даже для каждой конкретной коммутации. Возникающие токи и перенапряжения через системы шин распространяются по территории объекта. Они создают электромагнитные поля, способные вызывать наводки в кабелях и даже во внутренних цепях аппаратуры. Кроме того, проникновение коммутационных помех в кабели происходит через трансформаторы тока, трансформаторы напряжения, фильтры присоединения ВЧ-связи и т.п. Особенно серьезна ситуация на компактных элегазовых подстанциях, где высоковольтное оборудование и подверженная влиянию электронная аппаратура размещаются очень близко друг к другу. В большинстве случаев на открытых распределительных устройствах уровни коммутационных помех во вторичных цепях невелики – порядка нескольких сотен вольт. Такой сравнительно низкий уровень объясняется высоким затуханием помех «провод-земля» в низкочастотных кабелях энергообъектов. В то же время в высокочастотных кабелях, например в кабелях ВЧ-связи, отмечались помехи амплитудой выше 4 кВ, а амплитуды порядка 1...3 кВ являются типичными.

Следует отметить, что уровни коммутационных помех зависят от множества факторов: геометрии объекта, типа первичного оборудования, состояния заземляющего устройства, трассы прокладки вторичных цепей и т.п. Так, например, уровни коммутационных помех в цепях собственных нужд объектов не превышают обычно нескольких сот вольт. Однако в

процессе измерений на некоторых объектах (внешне ничем не отличающихся от прочих) фиксировались помехи амплитудой более 1 кВ (рис. 2.5).

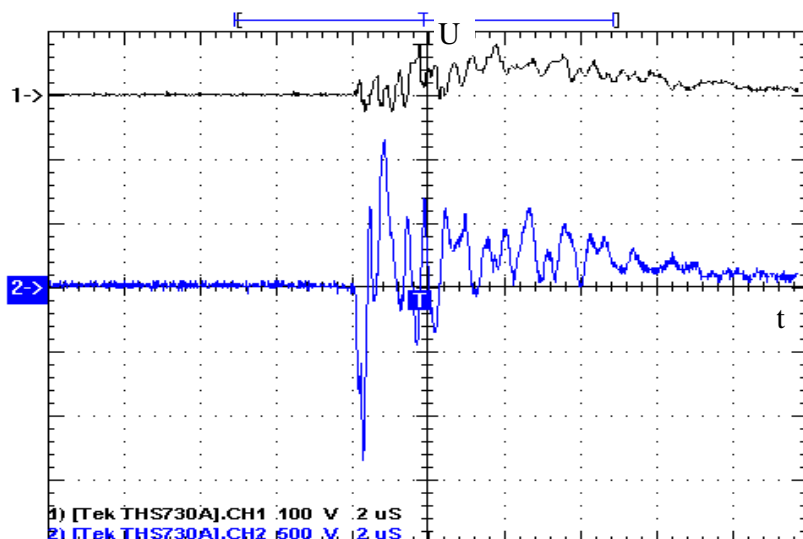


Рис. 2.5. Осциллограмма коммутационной помехи в цепях питания узла связи (верхняя кривая – импульсное напряжение между «нулем» и землей узла связи, нижняя – импульсное напряжение между фазой и нулем)

Приведенный пример показывает, что истинный уровень коммутационных помех может быть достоверно определен лишь в результате измерений. Поэтому измерение коммутационных помех следует рассматривать как обязательную часть комплекса оценки ЭМО, даже если априори нет оснований предполагать, что их уровень высок.

Кроме того, в распределительных устройствах при замыкании и размыкании разъединителей возникают многочисленные повторные зажигания, в связи с тем, что разъединители не имеют специальных устройств для гашения электрической дуги. В свою очередь, повторные зажигания также вызывают во вторичных устройствах очень большие перенапряжения. Они могут приводить к ложному срабатыванию релейной защиты сети или даже к повреждению вторичных устройств.

Рассмотрим возникновение перенапряжения на примере подключения короткого участка ВЛ к находящейся под напряжением сборной шине. При сближении контактов происходит пробой межконтактного промежутка, во время которого подключаемый участок линии приобретает потенциал шины. Если ток уменьшился до значений, которыми можно пренебречь, дуга обрывается. Так как изолированный участок линии сохраняет свой потенциал, второй пробой происходит в том случае, если мгновенное значение переменного напряжения шины отличается от потенциала отсоединенного участка линии на значение напряжения пробоя для сократившегося межэлектродного промежутка. Этот процесс повторяется до тех пор, пока контакты не будут касаться друг друга.

Быстрые положительные и отрицательные изменения потенциалов подключаемого участка ВЛ создают токи смещения через паразитные токи емкости относительно соседних проводов $i = C_{\text{нар}} \frac{dU}{dt}$, максимальные значения которых могут достигать больших значений.

Обусловленные током заряда линии и токами смещения магнитные поля индуцируют в соседних контурах напряжения помех.

Очень схожие процессы протекают и при размыкании разъединителя. Однако при этом перенапряжения увеличиваются с увеличением расстояния между контактами и даже могут принять двойное максимальное значение.

2.4.5. Импульсные помехи при работе электромеханических устройств

К электромеханическим устройствам относят реле, электроприводы и т.п. Осциллографирование помех при коммутациях низковольтных цепей показало, что эти переключения также сопровождаются коммутационными помехами. Частоты обычно оказываются значительно выше, чем при коммутациях высоковольтного оборудования (до сотни МГц и выше). В частности, работа традиционных электромеханических реле может приводить к генерации помех до 2...3 кВ (рис. 2.6). Интересно, что высокочастотный процесс в ряде случаев сопровождается низкочастотным «всплеском».

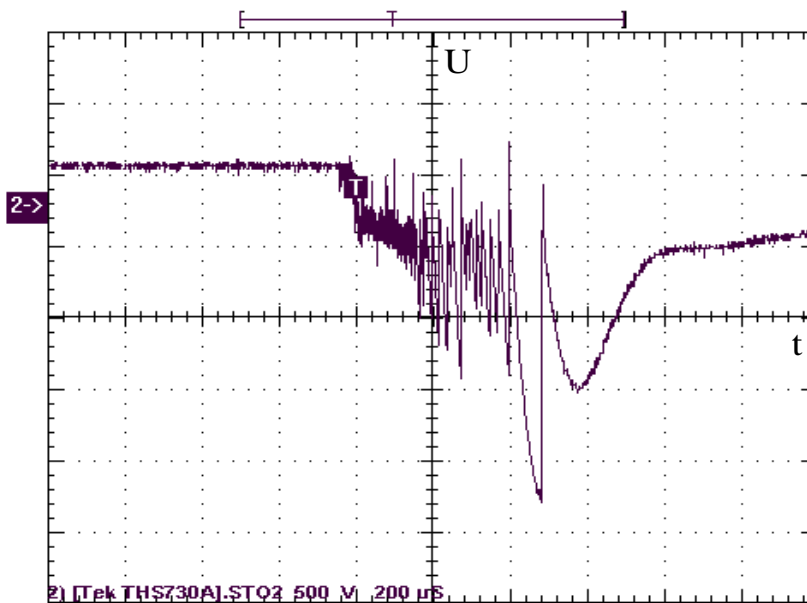


Рис. 2.6. Помехи при коммутации реле РП-16 (получено при лабораторных испытаниях)

2.4.6. Электромагнитный импульс молнии

Молния обуславливает сильное электромагнитное влияние в месте ее удара и вблизи него. Характеристики возникающих при этом полей описываются известными параметрами — током молнии, крутизной фронта молнии и длительностью импульса. Ток молнии обычно составляет десятки и даже сотни килоампер, что часто превосходит ток КЗ.

В отличие от обычных коммутационных операций молния при прямом попадании в ПС может вызвать разрушительное воздействие. В этом случае будет иметь место механизм связи через общее сопротивление (например, повышение потенциала заземлителя) или прямая наводка в чувствительных цепях. Связь излучением может оказывать влияние только на уровень помех.

С другой стороны, полезно напомнить, что если длительность фронта импульса тока молнии на порядок больше, чем у токов переходных процессов, то амплитуда импульса может быть выше на порядки при одном и том же уровне помехи.

Важной особенностью грозовых разрядов является то, что их воздействию подвергаются отнюдь не только электростанции, подстанции и промышленные предприятия. Обычный узел связи и управления в городской черте может оказаться не менее уязвимым. В первую очередь это касается объектов, оснащенных мачтами радиосвязи (на крыше или рядом со зданием). Обследование ряда таких объектов показало, что растекание тока молнии часто происходит по элементам систем заземления и питания информационной техники либо вблизи от нее. Часто значительная часть тока молнии (в отдельных случаях до 80...100 %) стекает по экранам коаксиальных кабелей непосредственно на узел связи.

При расследовании причин повреждения аппаратуры в одном из региональных диспетчерских управлений, например, было выявлено растекание тока молнии практически через все здание вблизи элементов систем связи, автоматических систем управления, сигнализации. В результате имели место массовые повреждения элементов этих систем. Причиной ряда повреждений, согласно проведенному анализу, явилось непосредственное

воздействие импульсного электромагнитного поля на аппаратуру. По приближенной оценке напряженность магнитного поля в месте размещения аппаратуры составила от 300 до 1000 А/м, что представляет угрозу даже для специальной аппаратуры в промышленном исполнении, не говоря уже о компьютерах и АТС офисного типа.

Наводки в проводниках, проложенных вблизи проводников заземления. Прямое индуктивное влияние тока молнии, протекающего в проводнике заземления, на цепь, проложенную вблизи него, частично рассматривалось ранее. В зависимости от относительного расстояния между проводниками, от длины зоны влияния и амплитуды тока молнии результирующее возмущение будет варьироваться в широких пределах.

Очень важное замечание, о котором следует напомнить, касается числа проводников заземления. Недостаточно только обеспечить протекание тока молнии по кратчайшему пути к заземлителю, необходимо также разделить его на несколько частей для снижения амплитуды каждой составляющей.

Прямой удар молнии в подстанцию. Как и при токах КЗ, наибольший уровень помех будет в цепях, выходящих за пределы контура заземления. Из-за немалой величины протекающих токов потенциал заземлителя может легко достичь несколько десятков или даже сотен кВ.

Однако, в отличие от случая с током промышленной частоты, даже в пределах территории заземлителя ситуация является сложной, так как потенциал сетки не может рассматриваться как имеющий одинаковое значение. Это вызвано индуктивными явлениями, учет которых необходим при повышении частоты.

Если контур заземления выполнен из изолированных проводников или проложен выше уровня земли (как в случае с сетью заземления) и на краях присоединен к идеальной земле, то чем ближе сеть к контуру, тем меньше будут наведенные в ней напряжения.

Надземная сеть заземления имеет гораздо большую роль в снижении ВЧ помех и помех, вызванных переходными процессами.

Во всех ситуациях, когда кабель защищается параллельным заземленным проводником или экраном, уровень возмущений может быть оценен после разделения задачи на три части:

- расчет (или измерения) синфазного напряжения U' в отсутствие проводника или экрана;
- расчет тока, протекающего по проводнику или экрану;
- расчет результирующего напряжения U при помощи понятия передаточного сопротивления.

На практике на величину и форму импульса напряжения могут оказывать влияние многие факторы. Некоторые из них оказывают определяющее влияние на обе составляющие напряжения, например форма импульса тока молнии и удельное сопротивление грунта.

Некоторые факторы оказывают влияние, главным образом, на составляющую, связанную с повышением потенциала заземлителя:

- точка ввода тока молнии в заземлитель;
- плотность сетки заземлителя в месте ввода тока молнии;
- точка заземления кабеля (его экрана).

Другие факторы оказывают влияние на наведенную составляющую напряжения:

- трасса прокладки кабеля;
- расстояние от кабеля до контура заземления;
- наличие параллельного заземленного провода или надземной сети заземления.

Кроме того, существует множество других параметров, которые могут приниматься во внимание: форма заземлителя и его размеры, глубина прокладки, материал проводников, наличие вертикальных электродов и т.п.

Прямой удар молнии в линию высокого напряжения. Данная ситуация встречается гораздо чаще, чем прямой удар молнии в ПС. Ее последствия имеют существенно меньшее значение.

Результатом удара молнии в линию электропередачи может быть перекрытие изоляции и вследствие этого появление импульса напряжения с очень крутым фронтом, спектральный

состав которого содержит гораздо более высокие частоты, чем импульс напряжения, вызванный самой молнией.

В этом случае уровень помех может сравняться с тем, что имеет место при пробое изоляции оборудования или коммутационных операциях на самой ПС.

Раздел 3. Виды связей и способы их ослабления

Тема 3.1. Гальваническая связь

Гальваническая связь возникает, если некоторое полное сопротивление оказывается общим для двух или нескольких контуров. Различают гальваническую связь рабочих контуров через цепь общего питания от одного источника (рис. 3.1, а) и гальваническую связь между рабочими контурами через контур заземления (рис. 3.1, б).

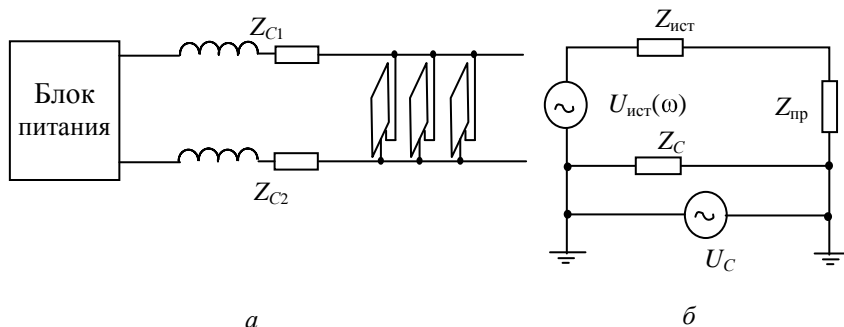


Рис. 3.1. Гальваническая связь через полное сопротивление связи, Z_C :

а – потребители, питаемые от одной и той же сети; б – связь через контур заземления

Примерами первого типа связи являются воздействия на сеть коммутационной аппаратуры и выпрямителей, изменения тока при переключении цифровых цепей и включении катушек реле контакторов и т.д. Связь через контур заземления возникает в том случае, когда напряжения вызывают нежелательные токи через неоднократно заземленные нулевые провода, кабельные экраны, корпуса измерительных приборов и т.д.

3.1.1. Гальваническая связь через цепи питания

Если два или несколько электрических контуров имеют общее полное сопротивление Z_C , например общий нулевой провод, то ток одного контура создает на сопротивлении Z_C падение напряжения, которое проявляется в другом контуре как напряжение противофазной помехи (рис. 3.2, а). Гальваническая развязка в этих случаях сводится к тому, что оба контура, как и прежде, остаются гальванически связанными, однако не через сопротивление связи (рис. 3.2, б). В схемах замещения, изображенных на рис. 3.2, $Z_{и I}$ – полные сопротивления источников; $Z_{пр I}$ – полные сопротивления приемников.

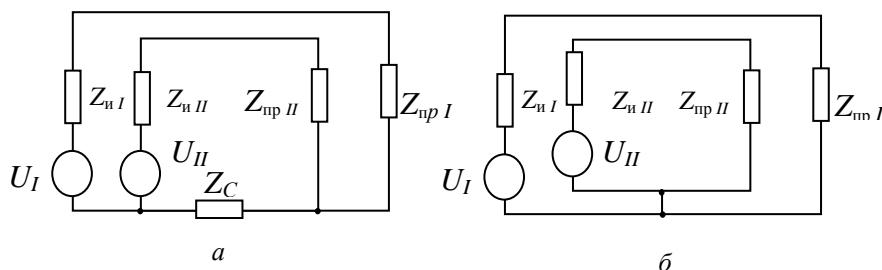


Рис. 3.2. Схемы замещения до и после устранения помех:

а – возникновение помех в контурах с полным сопротивлением; б – устранение причины их возникновения

Рассмотрим гальваническую связь на примере связи электронных плат, интегральных схем через внутренние сопротивления общих блоков питания или полные сопротивления

проводов электропитания. На рис. 3.2, а изменения тока питания функционального узла 1 вызывают падения напряжения на сопротивлениях проводов электропитания и на внутреннем сопротивлении блока питания, которые проявляются как колебания питающего напряжения всех прочих параллельно питаемых функциональных узлов (ФУ), что может привести к ошибкам в работе. Причем следует учитывать, что возможно одновременно несколько изменений токов питания нескольких узлов.

Основные способы уменьшения связей сводятся к следующему (рис. 3.3):

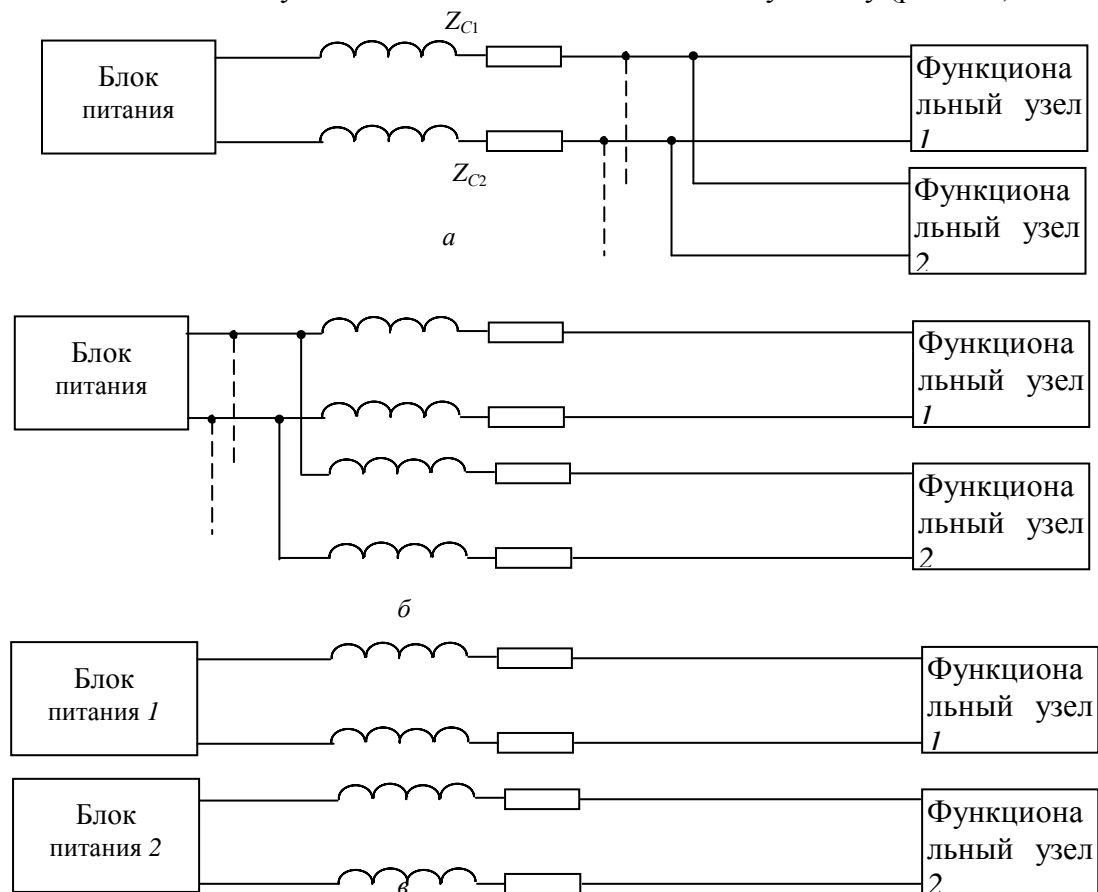


Рис.3.3. Гальваническая связь ФУ через общие сопротивления (а); способы противодействия (б, в)

- уменьшение полного сопротивления проводов электропитания посредством сокращения их длины, скручивания, использования плат с двухсторонним или многослойным монтажом;

- использование ФУ с более высоким питающим напряжением и применение индивидуальных коммутационных стабилизаторов внутри каждого функционального узла;

- снабжение ФУ на входе соответствующими стабилизирующими конденсаторами, которые во время быстрых коммутационных процессов кратковременно могут отдавать большие токи при малом понижении напряжения;

- использование отдельных проводов электропитания для каждого функционального узла (рис. 3.3, в).

У ФУ с сильно различающимся потреблением мощности можно предусмотреть отдельные блоки питания (рис. 3.3, в).

Все, что здесь рекомендовано для ФУ, справедливо и внутри отдельной электронной платы (рис. 3.3, а, б).

3.1.2. Гальваническая связь через контур заземления

Контур заземления относится к наиболее частым причинам электромагнитных влияний. Рассмотрим, например, источник сигнала, который соединен коаксиальным кабелем с осциллографом (рис. 3.4).

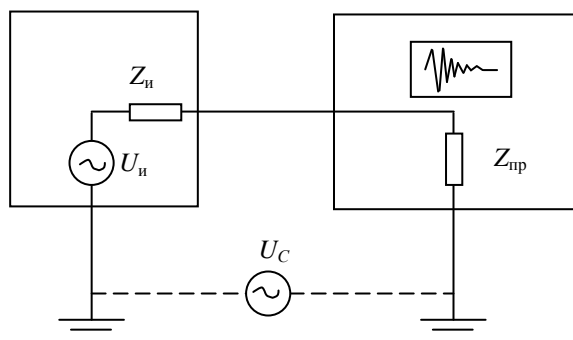


Рис. 3.4. Контур заземления, возникающий благодаря заземлению в нескольких точках

Корпусы обоих приборов из соображений защиты от напряжения прикосновения заземлены через защитные контакты своих сетевых проводов. Напряжение, индуктируемое в контуре заземления или вызванное различными потенциалами земли, возбуждает ток как во внутреннем проводнике, так и в оболочке сигнального кабеля.

Во многих случаях при постоянном напряжении и низких частотах удовлетворительное ослабление гальванической помехи может быть достигнуто благодаря одностороннему заземлению. Другие меры по снижению помех также направлены на разделение контура заземления. Такие способы применяются в основном в том случае, если ни передатчик, ни приемник не могут использоваться незаземленными или если они при высоких частотах неоднократно связаны с землей большими паразитными емкостями несмотря на отсутствие гальванического соединения с землей.

Для разрыва контура заземления при полезных сигналах низкой и средней частоты могут применяться разделительные трансформаторы (рис. 3.5). Так как разделительный трансформатор находится в цепи сигнала, его коэффициент трансформации в полосе частот сигнала должен быть постоянным.

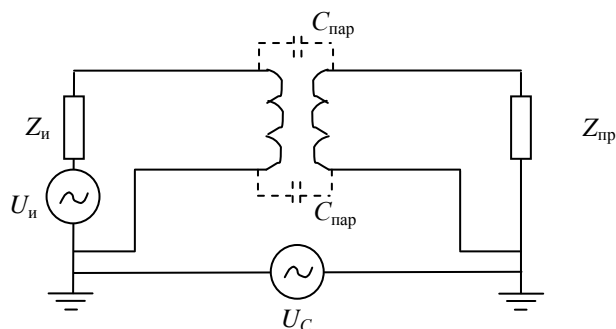


Рис. 3.5. Разделительный трансформатор для разрыва контура заземления

Кроме того, могут применяться нейтрализующие трансформаторы (рис. 4.6), обе катушки которых включаются так, чтобы потоки текущих в противоположные направления токов полезного сигнала компенсировались. Поэтому трансформатор для них представляет малое сопротивление. Для токов помехи обмотки действуют как индуктивности, тем самым повышая полное сопротивление контура заземления, что при высоких частотах по смыслу равносильно разделению потенциалов.

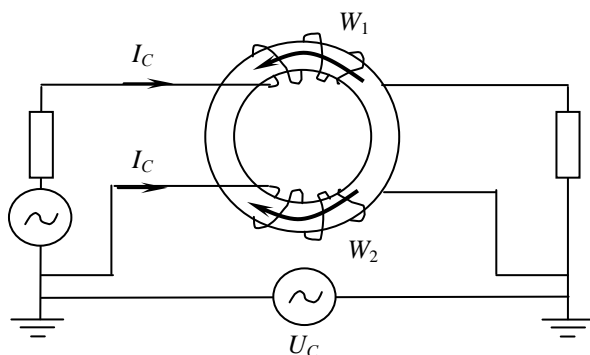


Рис. 3.6. Нейтрализующий трансформатор для разрыва контура заземления

Для подавления помех на входы и выходы устройств цифрового программного управления и систем автоматизации могут устанавливаться оптроны или световоды (рис. 3.7). И светодиод и лазерный диод преобразуют сигнал передатчика в световой сигнал, который после передачи через электрически изолированную светопроницаемую среду в фотодиоде или фототранзисторе преобразуется в электрический сигнал. Участки каналов со светодиодами могут выдерживать любые разности потенциалов, например до мегавольт. Оптроны и световоды идеально передают цифровые сигналы, а во многих случаях с достаточной точностью и аналоговые.

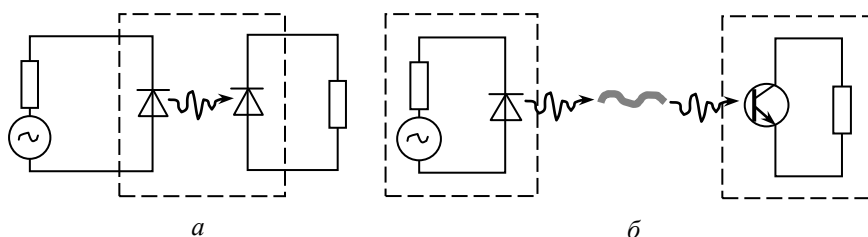


Рис. 3.7. Схема оптической передачи данных на оптроне (а); на участке линии со световодом (б)

При измерении очень малых напряжений для снижения помех прибегают к защитному экранированию.

Оптоволоконные системы, несомненно, являются наилучшим барьером на пути помех всех типов.

Однако, если они не используются для передачи уплотненной информации (например, в локальных вычислительных сетях), то относительно высокая (с учетом окончного оборудования) стоимость ограничивает их применение в сложных системах, требующих широкополосных каналов передачи (например, для дифференциальных цифровых защит или защит удаленных объектов).

С другой стороны, некоторые наиболее дешевые виды оптоволоконка (пластиковые) могут представлять большой интерес для применения в качестве НЧ каналов передачи данных на небольшие расстояния в случаях, когда требуется очень высокий уровень прочности изоляции (например, телефонные цепи, выходящие за пределы ПС высокого напряжения, датчики на оборудовании высокого напряжения и т.п.).

Иногда возникает необходимость применения оборудования, сочетающего в себе различные типы гальванических развязок, таких как разделительные трансформаторы, реле, оптроны или оптоволоконно. Примером могут служить телефонные цепи с вызовом по постоянному току.

Тема 3.2. Емкостная связь

Емкостная, или электрическая, связь возникает между проводами, находящимися под напряжением. Связано это с тем, что вследствие разности потенциалов между проводами образуется электрическое поле. Если уровень напряжения в системе 1 многократно выше, чем в системе 2, то первая система будет влиять на вторую (рис. 3.8).

Напряжение емкостной помехи в этом случае рассчитывают так:

$$U_{\text{п}} = U_1 j\omega C_{1-2} R. \quad (3.1)$$

Из формулы (3.1) видно, что напряжение помехи пропорционально частоте, емкости, а также омическому сопротивлению системы. Отсюда непосредственно вытекают меры по снижению емкостного влияния:

- уменьшение емкостной связи C_{1-2} путем сокращения длины участков параллельной прокладки проводов, увеличения расстояния между проводами, экранирования системы 2.
- уменьшение сопротивления R_2 .

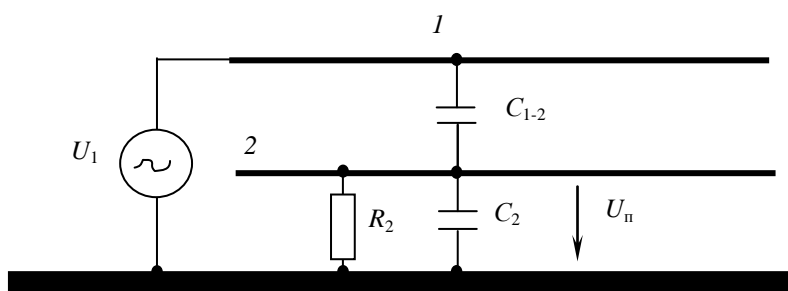


Рис. 3.8. Емкостная связь между неэкранированными системами проводов:

- 1 – система, создающая помехи;
- 2 – система, подверженная помехе

Действие экрана наглядно поясняет рис. 3.9. Исходящие из системы 1 силовые линии теперь все замыкаются на заземленном экране. При этом токи через емкость C_{1-2} стекают прямо на землю и не вызывают мешающих падений напряжений на сопротивлении R и емкостной связи C_2 .

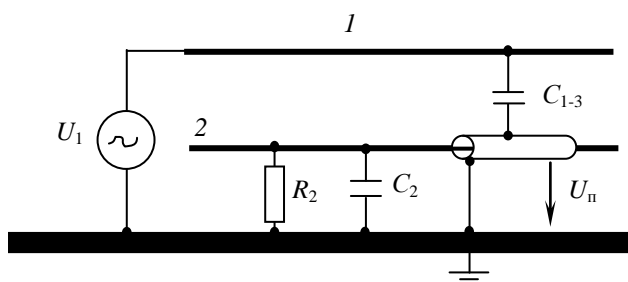


Рис. 3.9. Уменьшение емкостной помехи

Идеальное экранирующее воздействие предполагает, что экран является абсолютно проводящим и безындуктивным, т.е. потенциал незаземленного конца экрана не повышается из-за токов по экрану и ток через емкость $C_{\text{экр-2}}$ в системе 2 отсутствует; экран обладает пренебрежимо малым сопротивлением связи и малой емкостной проницаемостью.

В некоторых случаях в качестве экрана рекомендуется прокладывать металлическую трубу.

Экранирование системы 1 также способствует уменьшению помех в системе 2. К сожалению, это решение во многих случаях нереализуемо, например в технике высоких напряжений, где все мероприятия должны производиться для системы, подверженной помехам.

Тема 3.3. Индуктивная связь

Магнитная связь возникает между двумя или несколькими контурами, по которым протекает электрический ток. Связанные с токами магнитные потоки пронизывают другие проводящие контуры, где индуцируют напряжения помех. Индуцирующее воздействие потоков моделируют в эквивалентной схеме взаимной индуктивностью или источником напряжения.

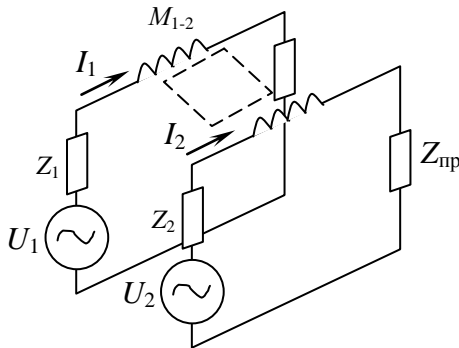


Рис. 3.10 Магнитная связь между двумя электрическими контурами

Если ток в системе 1 намного больше, чем в системе 2, то система 1 будет мешать системе 2, а не наоборот (рис. 3.10).

Для эквивалентной схемы индуцируемое напряжение рассчитывают по формуле

$$U_n = I_1 j\omega M_{1-2}. \quad (3.2)$$

Магнитная связь будет существовать, даже если контур системы 2 замкнут не гальванически, а только через паразитную емкость.

Как следует из формулы (3.2) индуцированное напряжение помехи пропорционально частоте и взаимной индуктивности M_{1-2} . На основании этого можно указать следующие способы снижения индуктивного влияния:

- уменьшение M_{1-2} за счет сокращения длины параллельной прокладки проводов;
- увеличение расстояния между контурами;
- ортогональное расположение контуров;
- скручивание проводов системы 2;
- экранирование проводов системы 2;
- прокладка компенсирующих проводов.

Скручивание проводов является наиболее дешевой и достаточно действенной мерой для уменьшения индуцированных напряжений. Если остающийся нескомпенсированный магнитный поток дает слишком большие напряжения помех, то может оказаться эффективным дополнительный экран.

Целесообразно уже на стадии проектирования предусмотреть отдельную прокладку заведомо мешающих и подверженных помехам линий в отдельных кабельных каналах.

3.4. Электромагнитная связь длинных линий

Электромагнитная связь линий имеет место при наличии одновременного электрического и магнитного влияния между двумя или несколькими электрически длинными линиями. В таких линиях токи и напряжения не могут рассматриваться отдельно друг от друга, поскольку связаны друг с другом через волновое сопротивление соответствующей линии.

Рассмотрим электромагнитную связь на примере двухпроводной системы (рис. 3.11). Переменное магнитное поле, связанное с током активного проводящего контура 1 (полезный сигнал), пронизывает соседний пассивный проводящий контур 2 и индуцирует там напряжение, которое вызывает в этом контуре индуктивный паразитный ток. Вследствие имеющейся между обеими линиями разности потенциалов существует переменное электрическое поле, которое наводит в пассивной линии емкостной паразитный ток.

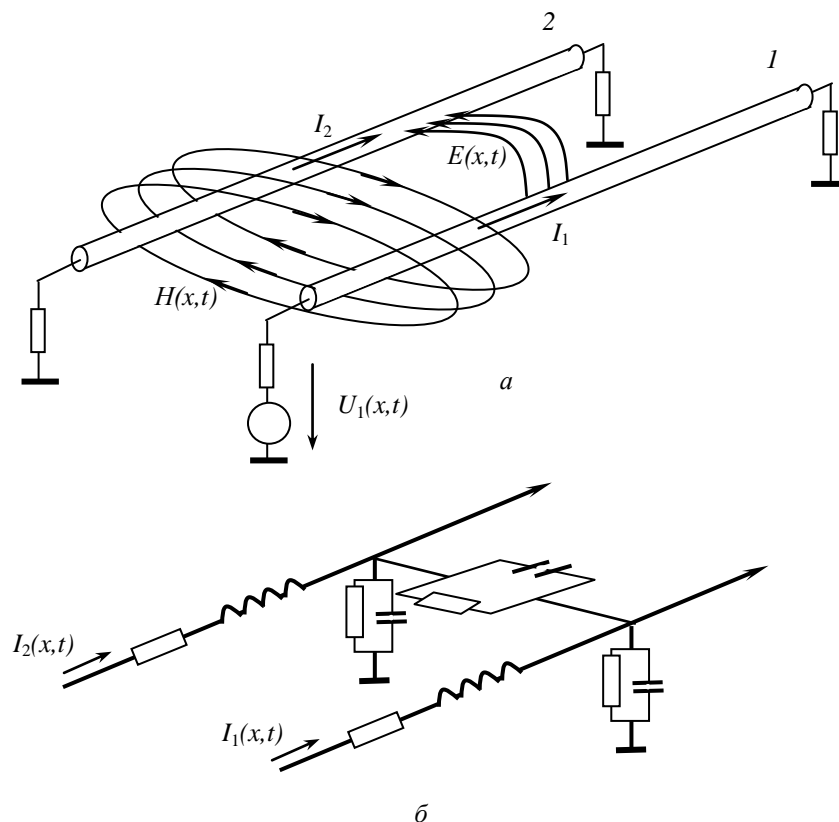


Рис. 3.11. Электромагнитная связь двухпроводной системы

Главное отличие электромагнитной связи от чисто индуктивной и емкостной состоит в том, что при электромагнитной связи величины напряжений и токов являются функциями места и времени и связаны между собой волновыми сопротивлениями соответствующей системы.

Тема 3.5. Помехи в кабелях связи, обусловленные электромагнитными воздействиями

Кабельные линии связи (КЛС) играют важную роль во всех системах, управляемых электронными устройствами; они используются для передачи команд и информации о состоянии различных узлов и для управления ими.

КЛС очень важно учитывать при оценке взаимодействия внешних источников помех с автоматизированными системами технологического управления электротехническими объектами.

В экранированных КЛС, как правило, большая часть наводимого тока протекает по экрану, а не по несущим информацию жилам, защищенным экраном. Однако даже в этом случае ток, наведенный в жилах, может достигать такого значения, что с ним приходится считаться. Кроме того, эффективность экранов гибких КЛС, используемых для соединений узлов оборудования или подсистем, обычно снижается с ростом частоты. Таким образом, возникает необходимость оценить воздействие тока, наводимого в экранированных КЛС.

Для оценки изменений параметров системы, происходящих в результате воздействия электромагнитного поля на жилы кабеля, сначала надо рассмотреть вопросы, связанные с его защищенностью. Это влечет за собой расчет (или определение) физических и электрических свойств окружающей среды, например почвы, а также оценку электрического поля вдоль оси кабеля. На основании данных о поле и характеристик кабеля можно определить суммарный ток, протекающий по нему. Если кабель экранирован, требуется дополнительный этап расчета: определение напряжения и тока в проводниках, заключенных в экран.

Почти во всех практических случаях на характеристики падающей электромагнитной волны оказывают влияние конструкции, расположенные по соседству с кабелем. Поле вблизи силовых и подземных кабелей связи изменяется, например, за счет наличия земли, в

результате чего поле, воздействующее на кабель, не является полем падающей волны, а представляет собой результирующее поле. Для наземной КЛС результирующее поле – это наложение падающего поля и поля, отраженного от поверхности земли. В случае подземной КЛС результирующее поле является той частью падающего поля, которая проникла в землю, то есть частью, оставшейся после отражения на границе «воздух – земля». Для кабелей, проложенных на большой глубине, может происходить дополнительное ослабление поля при распространении в земле.

В случае кабелей, проложенных в зданиях и других замкнутых конструкциях, воздействующее электромагнитное поле является частью падающего поля, которое может либо проникать через разрывы, например двери, окна, швы, трещины и т.д., либо распространяться по проводам, которые подвержены внешнему влиянию, диффундировать или проникать через стены, обшивки и т.д. Кабели, проложенные в незранированных конструкциях, например в зданиях с деревянным остовом, могут подвергаться воздействию полей, распространяющихся через стены.

Во всех случаях при оценке влияния на кабели важным является определение поля, воздействующего на кабель. Расположение подверженных влиянию установок внутри зданий обычно весьма сложно и существенно зависит от типа устройства и конструкции, что не позволяет дать общую оценку электромагнитных полей внутри таких замкнутых конструкций. Однако для КЛС, находящихся вне помещений, в изменении падающего поля участвуют только воздух и почва (или другая плоская поверхность). Кроме того, часто основные внутренние поля в наземных сооружениях создаются током и напряжением, наводимым в длинных внешних кабелях.

Важными параметрами при оценке тока, наводимого в кабеле, являются: электрическое поле вдоль оси кабеля, то есть электрическое поле, которое имело бы место в случае отсутствия кабеля, а также волновое сопротивление кабеля и характеристики распространения поля (например, затухание и скорость распространения).

Подземные кабели обычно имеют довольно низкое волновое сопротивление (несколько Ом или десятков Ом), поскольку жилы находятся очень близко к пути возврата тока (к почве). По этой же причине, а также вследствие того, что почва не является очень хорошим проводником, затухание тока, распространяющегося вдоль подземного кабеля, очень велико. Большое затухание тока, распространяющегося по подземным кабелям, приводит к тому, что наводимый ток в любой точке вдоль кабеля определяется в основном окружающими условиями в непосредственной близости от этой точки. Так, например, чем больше проводимость почвы, тем меньше ток, наводимый в подземном кабеле.

Подвесные кабели (например, силовые, подвешенные на опорах) имеют более высокие волновые сопротивления (несколько сотен Ом). Кроме того, затухание тока, распространяющегося в подвесном кабеле, значительно меньше. Следовательно, наведенные токи могут распространяться на большие расстояния, а ток в какой-либо точке подвесного кабеля может содержать составляющие токов, наведенных на большом удалении от этой точки.

Экранированные кабели широко используются в слаботочных цепях. Часть суммарного тока, наводимого в экранированных кабелях, попадает в окруженные экраном жилы, а остальной ток сосредоточивается в металлической оболочке. Назначение экранированных кабелей при защите от помех состоит в том, чтобы обеспечить протекание большей части суммарного тока по экрану с тем, чтобы как можно меньший ток и меньшее напряжение наводились на жилах внутри экрана. Однако распределение тока между экраном и жилами меняется с частотой и зависит от типа экрана.

Напряжение, наводимое на жилах экранированного многожильного кабеля током в экране, в основном синфазное. Это означает, что все жилы внутри кабеля подвергаются одинаковому воздействию тока. Если бы все цепи, образуемые в кабеле, были симметричными, а двухпроводные цепи нагружались бы на симметричные нагрузки в оборудовании с неограниченным подавлением синфазных составляющих, напряжение, наводимое на жилах, не играло бы существенной роли. Однако многие высокочастотные

цепи, в которых используются коаксиальные кабели, несимметричны. Следовательно, синфазное напряжение, наводимое на жилах, частично переходит в двухпроводные цепи за счет асимметрии жил кабеля, несимметрии нагрузок и ограниченной возможности подавления синфазных составляющих в балансных усилителях и изолирующих трансформаторах.

Анализ электромагнитных связей в многожильных кабелях очень сложен, поскольку все жилы в пучке кабеля электромагнитно связаны через свои взаимные индуктивности и емкости, а токи, возникающие в одной жиле (или паре жил), наводятся во всех других жилах. Расчет напряжений и токов, попадающих в оконечное оборудование, производится путем решения с помощью ЭВМ матричных уравнений, которые описывают напряжения и токи в каждой жиле многожильного кабеля.

Оплеточные экраны. Оплетка является наиболее широко используемым в области электроники типом экрана. Вид плетения такого экрана характеризуют число жгутов, образующих экран, число проволок в каждом жгуте и число пересечений жгутов на единицу длины, а также угол плетения или угол между жгутом и осью экрана. На рис. 3.1 показана типичная оплетка с узором плетения елочкой.



Рис.3.1. Типовой оплеточный экран

Часть магнитного поля, вызванного током в экране, может проникать через ромбовидную щель и замыкать цепь центрального проводника, вызывая взаимную индукцию между цепью экрана и цепью внутреннего проводника (рис. 3.2). Подобным же образом часть внешнего электрического поля, обусловленного потенциалом экрана, может проникать через щели и наводить заряд на проводнике внутри экрана. Наличие этого заряда подразумевает взаимную емкостную связь между центральным проводником и внешней конструкцией (землей).

Таким образом, полное сопротивление связи оплеточного экрана включает две составляющие, одна из которых учитывает проникновение электромагнитной энергии через экран, а другая – прохождение магнитного поля через ромбовидные щели.

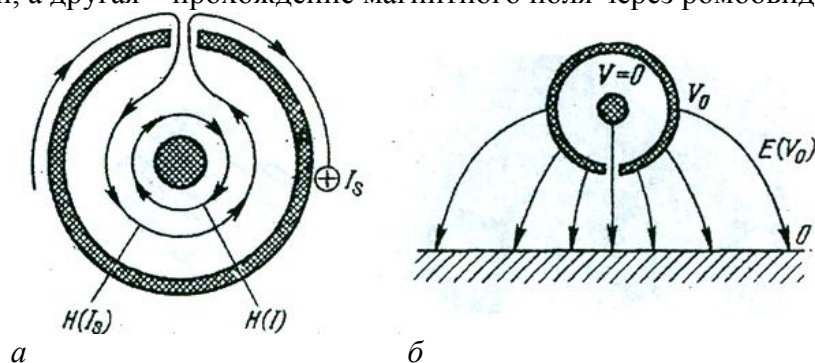


Рис. 3.2. Магнитный (а) и электрический (б) потоки, проникающие через щели в экране

Тема 3.6 Типы источников бесперебойного питания и их структура

По принципу устройства ИБП можно отнести к двум типам.

Первый тип — это источники бесперебойного питания с режимом работы off-line (off-line — дословно «вне линии»). Принцип работы этого типа ИБП заключается в питании нагрузки от питающей сети и быстром переключении на внутреннюю резервную схему при отключении питания или отклонении напряжения за допустимый диапазон. Время переключения обычно составляет величину порядка 4-12 мс, что вполне достаточно для большинства электроприемников с импульсными блоками питания.

Второй тип — это источники бесперебойного питания с режимом работы online (on-line — дословно «на линии»). Эти устройства постоянно питают нагрузку и не имеют времени переключения. Наряду с резервированием электроснабжения они предназначены для обеспечения КЭ при его нарушениях в питающей сети и фильтрации помех, приходящих из питающей сети.

Достаточно часто в литературе по источникам бесперебойного питания упоминаются источники бесперебойного питания с режимом работы line-interactive (line-interactive UPS). Принцип их работы в значительной степени схож с принципом работы off-line, за исключением наличия так называемого «бустера» — устройства ступенчатой стабилизации напряжения посредством коммутации обмоток входного трансформатора и использования основной схемы для заряда и подзаряда батареи, что обеспечивает более быстрый выход устройства на рабочий режим при переходе на питание от АБ. При этом время переключения на работу от АБ сокращается до 2-4 мс.

В зависимости от знака и величины отклонения напряжения δU включается соответствующая комбинация «отпаек» (витков) трансформатора (рис. 3.1, а). Данное регулирование напряжения носит ступенчатый характер. Условные обозначения на рисунках и схемах здесь и далее соответствуют приложению. При отклонении напряжения U выше номинального значения бустер переключает отпайку в положение $-\delta U$, снижая тем самым значение напряжения, поступающего в схему ИБП и далее к электроприемнику. При отклонении напряжения ниже номинального значения бустер переключает отпайку в положение $+\delta U$. Такая схема бустера применяется редко, на смену ей пришла схема, аналогичная магнитному усилителю (рис. 3.1, б). В этой схеме имеются две встречно включенные обмотки, соответственно намагничивающие или размагничивающие сердечник бустера. Различие между ИБП off-line и line-interactive фактически стерлось, поскольку появились модели off-line с возможностью регулирования напряжения в нормальном режиме при помощи введенного в схему бустера. Единственно, что различает эти типы ИБП, — это форма выходного напряжения в автономном режиме. У ИБП типа off-line — это прямоугольная форма и аппроксимация синусоиды ступеньками и трапецией, line-interactive имеет синусоидальное выходное напряжение.

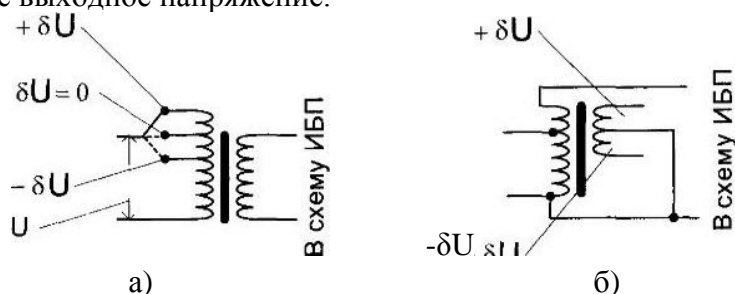


Рис. 3.1. Бустер off-line (а) и line-interactive ИБП (б)

Для питания технических средств с импульсными блоками питания форма выходного напряжения ИБП значения не имеет. На рис. 3.2 представлена структура ИБП типа off-line и line-interactive.

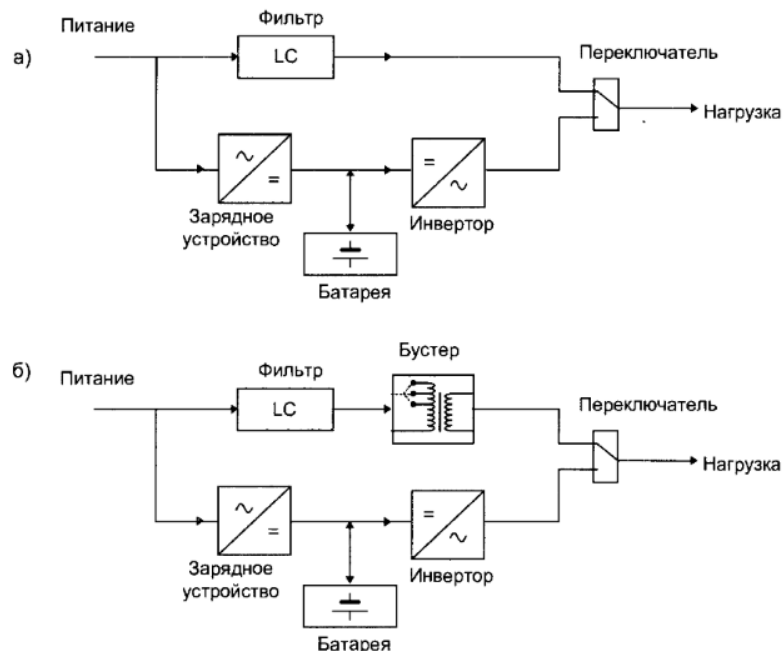


Рис. 3.2. Структура ИБП: а) ИБП типа off-line; б) ИБП типа line-interactive

В нормальном режиме ИБП пропускает питание на нагрузку, осуществляя подавление высокочастотных помех и импульсов напряжения в LC-фильтре и компенсируя отклонения напряжения бустером. Аккумуляторная батарея заряжается (подзаряжается) от зарядного устройства (выпрямителя). При отключении питания запускается инвертор, и переключатель переводит питание нагрузки на инвертор ИБП. Переключение осуществляется автоматически, и АБ будет питать нагрузку до момента восстановления напряжения на входе или до исчерпания её ёмкости. В схеме на рис. 32, б при запуске инвертора отключается вход ИБП от линии питания с целью исключения подачи обратного напряжения со стороны нагрузки в питающую линию.

Инвертор входит в состав всех типов ИБП. Он представляет собой полупроводниковый преобразователь постоянного напряжения АБ в переменное напряжение 220/380 В, поступающее на электроприемники (нагрузку). В современных ИБП типа line-interactive инвертор совмещает в себе функции как собственно инвертора, так и зарядного устройства.

В зависимости от модели ИБП инвертор формирует напряжение различной формы. Существуют упрощенные схемы инверторов, формирующие напряжение прямоугольной формы с бестоковыми паузами (рис. 3.3, а). Более совершенные схемы инверторов позволяют формировать напряжение, близкое к синусоидальной форме — аппроксимированное ступенями (рис. 3.3, б). Оба типа таких инверторов характерны для ИБП малой мощности и пригодны для работы с импульсными блоками питания. Инверторы ИБП типа lineinteractive формируют напряжение синусоидальной формы (рис. 3.3, в) с низким содержанием гармоник (как правило, коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения $K_v \leq 3\%$). Такие инверторы пригодны для питания всех типов нагрузок — от импульсных блоков питания до двигателей. Как правило, форма напряжения инвертора и K_v указываются в каталожных данных ИБП.

Типичный диапазон мощностей ИБП типов off-line и line-interactive от 250 ВА до 3-5 кВА.

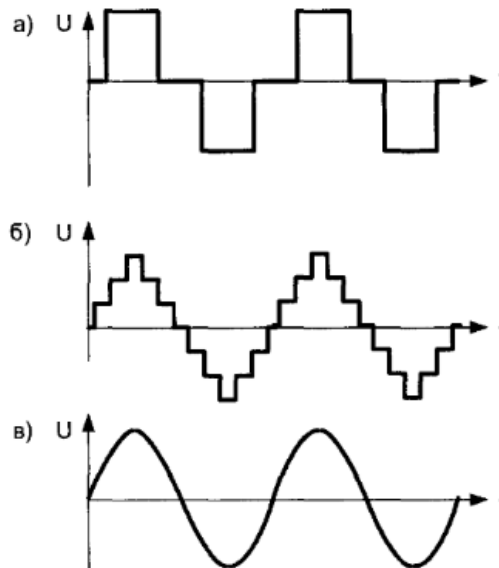


Рис. 3.3. Форма выходного напряжения инверторов:
 а) ступенчатая; б) аппроксимированная синусоида; в) синусоидальная

Источники бесперебойного питания с режимом работы on-line выпускаются нескольких типов (по принципам преобразования энергии). Существуют четыре типа on-line ИБП:

- с одиночным преобразованием;
- с дельта-преобразованием;
- феррорезонансные ИБП;
- с двойным преобразованием.

Принцип одиночного преобразования (single conversion) (рис. 3.4) заключается в следующем. В цепь между питающей сетью и нагрузкой включен дроссель, к выходу которого подключен инвертор. Инвертор в данной схеме является реверсивным и способен преобразовывать постоянное напряжение в переменное и наоборот. Помимо питания нагрузки в автономном режиме вторым назначением инвертора является регулирование напряжения на стороне нагрузки при отклонениях в питающей сети. У ИБП данного типа КПД весьма высок и может достигать 96%. Однако имеются некоторые недостатки, например низкое значение входного коэффициента мощности ($\cos\varphi \sim 0,6$), при этом он меняется при изменении как напряжения сети, так и характера нагрузки. Кроме того, при малых нагрузках данные с номинальным током установки. Среди современных ИБП последних моделей подобный тип не встречается, поскольку на смену ему пришла технология дельта-преобразования, являющаяся развитием технологии одиночного преобразования.

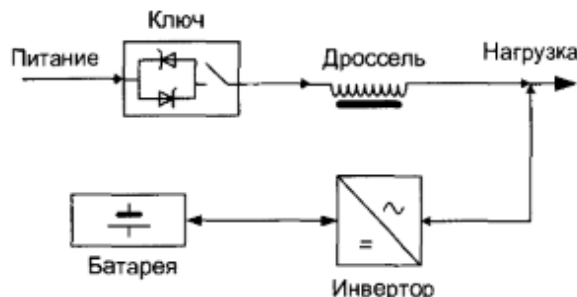


Рис.3.4. ИБП одиночного преобразования (single conversion UPS)

Принцип Дельта-преобразования (delta conversion) основан на применении в схеме ИБП так называемого дельта-трансформатора (рис. 3.5). Дельта-трансформатор представляет

собой дроссель с обмоткой подмагничивания, которая позволяет управлять током в основной обмотке (аналогично принципу магнитного усилителя). В ИБП применяются два постоянно работающих инвертора. Один служит для управления дельта-трансформатором и, соответственно, регулировки входного тока и компенсации некоторых помех. Его мощность составляет 20% от мощности второго инвертора, работающего на нагрузку. Второй инвертор, мощность которого определяет мощность ИБП, формирует выходную синусоиду, обеспечивая коррекцию отклонений формы входного напряжения, а также питает нагрузки от батарей при работе ИБП в автономном режиме. Благодаря такой схеме обеспечивается возможность плавной загрузки входной сети при переходе из автономного режима работы от батарей к работе от сети (режим on-line), а также высокая перегрузочная способность — до 200% в течение 1 мин.

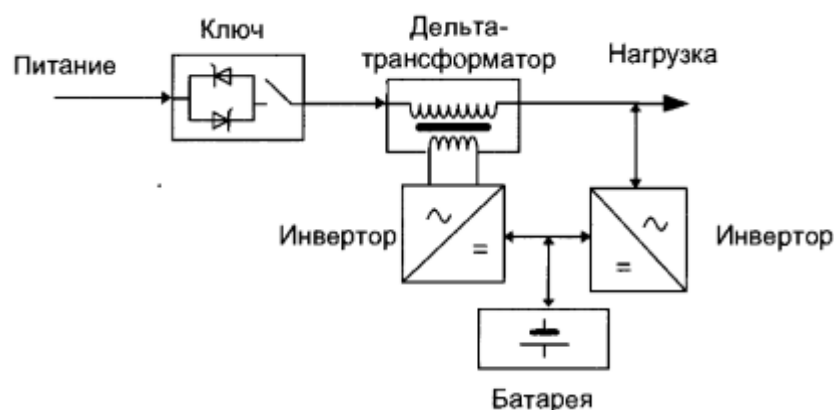


Рис.3.5. ИБП дельта-преобразования (delta conversion UPS)

При загрузке ИБП данного типа на 100% номинальной мощности коэффициент полезного действия составляет 96,5%. Однако высокие показатели данный тип ИБП обеспечивает при следующих условиях: отсутствии отклонений и искажений напряжения в питающей сети, нагрузке ИБП, близкой к номинальной и являющейся линейной. В реальных условиях показатели данного типа ИБП (КПД = 90,8-93,5%) приближаются к показателям ИБП с двойным преобразованием, рассмотренного ниже. Реальное достижение высоких заявленных значений КПД ИБП с дельта-преобразованием возможно при широком внедрении импульсных блоков питания с коррекцией коэффициента мощности. Это означает, что нагрузка приобретает преимущественно активный характер и создаются условия для проявления высоких энергетических характеристик ИБП. В последнее время коэффициент мощности новых блоков питания достиг значения. Другим достоинством ИБП с дельта-преобразованием является высокий коэффициент мощности самого устройства, близкий к 1. Это облегчает совместную работу ИБП и ДГУ. На основе ИБП с дельта-преобразованием строятся мощные централизованные СБЭ с избыточным резервированием. Естественно, возможны также схемы с единичными ИБП. Возможно параллельное объединение до 8 ИБП для работы на общую нагрузку в одной СБЭ. Данный тип ИБП является основной альтернативой типу ИБП с двойным преобразованием.

Феррорезонансные ИБП названы так по применяемому в них феррорезонансному трансформатору. В основу принципа его работы положен эффект феррорезонанса, применяемый в широко распространенных стабилизаторах напряжения. При нормальной работе трансформатор выполняет функции стабилизатора напряжения и селективного фильтра. В случае потери питания феррорезонансный трансформатор обеспечивает нагрузку питанием за счет энергии, накопленной в его магнитной системе. Интервала времени длительностью 8-16 мс достаточно для запуска инвертора, который уже за счет энергии аккумуляторной батареи продолжает поддерживать нагрузку. Коэффициент полезного действия ИБП данного типа соответствует КПД систем двойного преобразования (не превышает 93%). Данный тип источников бесперебойного питания широкого распространения не получил, хотя

обеспечивает очень высокий уровень защиты от высоковольтных выбросов и высокий уровень защиты от электромагнитных шумов. Предел мощности ИБП данного типа не превышает 8 кВА.

Наиболее широко распространен тип ИБП двойного преобразования (double conversion UPS), представленный на рис. 3.6.

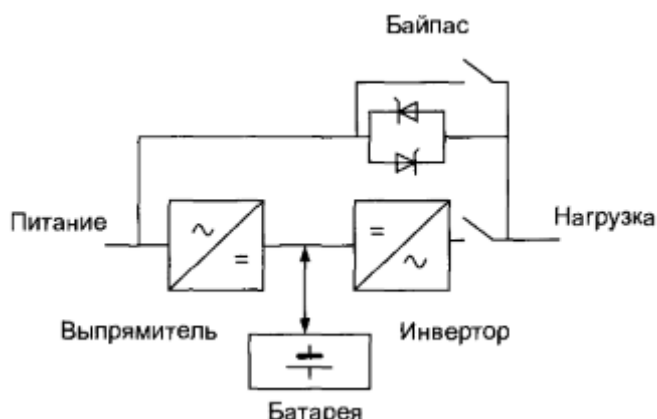


Рис. 3.6. ИБП двойного преобразования (double conversion UPS)

Тема 3.7. Энергетические массивы

Среди рассмотренных типов ИБП следует выделить так называемые энергетические массивы (power array). Это сравнительно новый тип устройств, представленный на рынке начиная с середины 90-х годов. Выполненные по типу двойного преобразования и принципу избыточности N+1 («горячий резерв»), эти ИБП представляют собой параллельную систему модулей ИБП в одном корпусе (рис. 3.18), имеющую способность продолжать работу при выходе из строя силового модуля (модуля преобразователей), модуля батарей или модуля управления.

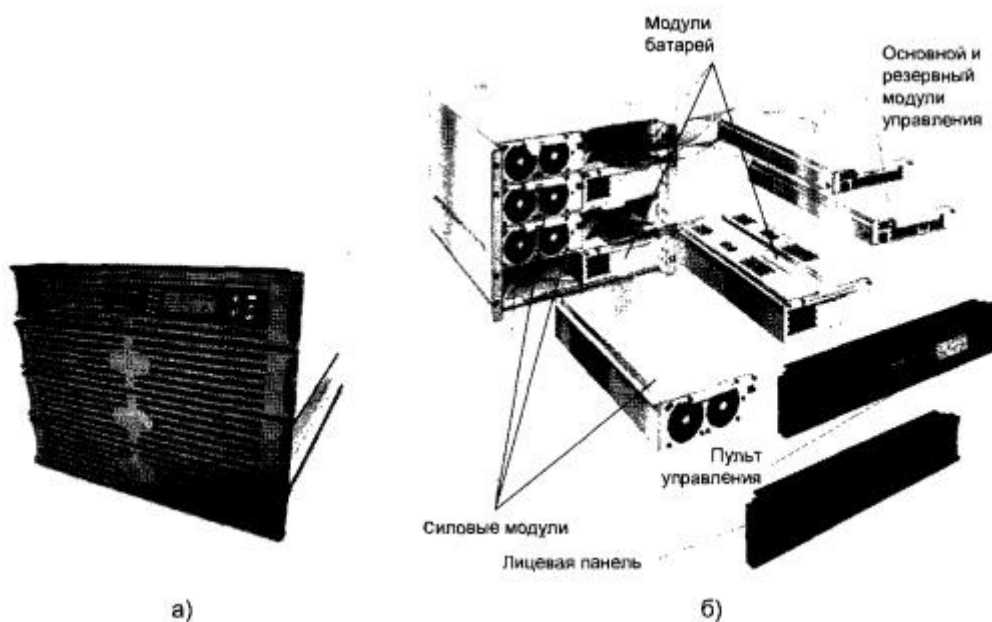


Рис. 3.18. Энергетический массив: а) внешний вид; б) состав (источник: APC)

Силовой модуль представляет собой блок, содержащий выпрямитель и инвертор, устанавливаемый в корпус энергетического массива для параллельной работы с другими силовыми модулями. Существуют различные концепции энергетических массивов: с

распределенной логикой управления, с централизованной избыточной логикой, с отдельными батарейными модулями и с совмещенными силовыми и батарейными модулями. На рис. 3.19 приводится схема энергетического массива с централизованной избыточной логикой управления и отдельными силовыми и батарейными модулями.

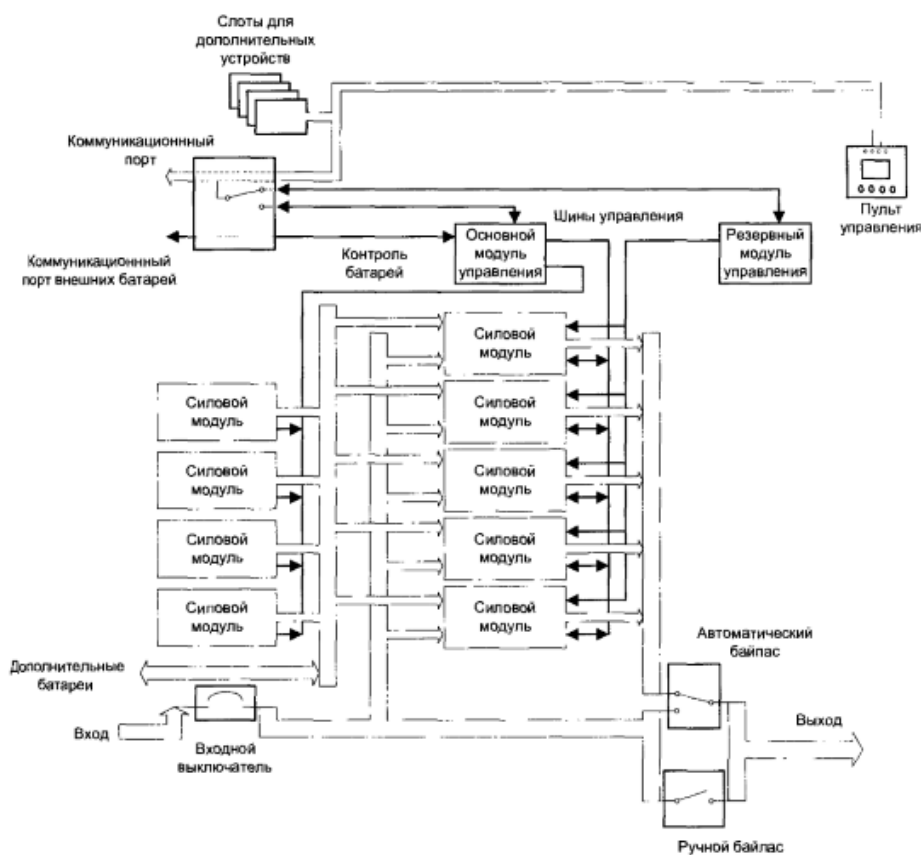


Рис. 3.19. Схема энергетического массива (источник: APC)

Из схемы видно, что питание через входной выключатель поступает на каждый силовой модуль, которые включены параллельно. АБ состоит из нескольких батарейных модулей, также включенных параллельно. Управление энергетическим массивом осуществляется по шинам управления от основного и резервного модулей управления. Отказ любого модуля не вызывает остановки ИБП в целом. Процедура ремонта состоит в замене отказавшего блока без отключения ИБП («горячая» замена), как это показано на рис. 3.18, б. Индикация о неисправности выводится на пульт управления и на коммуникационный порт для передачи в систему мониторинга ИБП. Слоты дополнительных устройств предназначены для расширения коммуникационных и функциональных возможностей ИБП.

Тема 3.8 Технические характеристики источников бесперебойного питания

До настоящего времени в Российской Федерации действует ГОСТ 27699-88 (Стандарт СЭВ 5874-87) «Системы бесперебойного питания приемников переменного тока. Общие технические условия». Так как основным назначением СБЭ является электроснабжение инфокоммуникационного оборудования, требования к ИБП наряду с рекомендациями стандарта определяются следующими факторами:

- характеристиками блоков питания оборудования;
- обеспечением надежности электроснабжения при не критичных авариях и неисправностях в самой СБЭ;
- обеспечением электромагнитной совместимости.

На рис. 3.22 представлены области нормального функционирования и области отказов и сбоев импульсных блоков питания в зависимости от напряжения и времени нарушения электроснабжения.

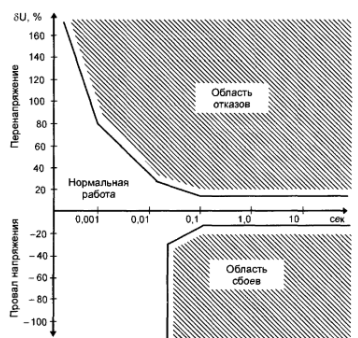


Рис 3.22. Области нормального функционирования, отказов и сбоев импульсных блоков питания

Требования ГОСТ 27699-88 представлены в табл. 3.3, которая может помочь в выборе ИБП. Некоторые ячейки в таблице не заполнены. Это означает, что стандарт не регламентирует данный параметр, а при выборе ИБП следует руководствоваться техническими условиями на защищаемое оборудование. Масса и габариты устройств должны быть приняты во внимание при разработке строительного задания на размещение ИБП, определении пригодности монтажных проемов и нагрузочной способности перекрытий. КПД имеет смысл сравнивать при выборе ИБП одинакового типа. Количество параллельно работающих ИБП важно при выборе оборудования для создания отказоустойчивой системы электроснабжения.

Таблица 3.3. Характеристики ИБП по ГОСТ 27699-88

Показатель	Значение, %
Стабилизация напряжения	±5
Стабилизация частоты	±2
Гармонические искажения	5
Фильтрация ВЧ-импульсов	-
Входной cosφ	-
Гальваническая развязка	-
Колебания напряжения на входе	-15...+10
Колебания частоты на входе	±2
Перегрузочная способность (в течение 15 мин)	110
Количество агрегатов, работающих параллельно	-

Раздел 4. Методика определения электромагнитной обстановки на объектах связи

Тема 4.1. Нормирование ЭМП для условий профессионального облучения

4.1.1. Выполнение работ в условиях воздействия постоянного электрического поля

Предельно допустимый уровень напряженности электростатического поля на рабочем месте устанавливается в зависимости от времени пребывания персонала: при $E_{\text{пред}}$ равном 60 кВ/м, время пребывания в электростатическом поле не более одного часа; при $E_{\text{пред}}$ менее 20 кВ/м время не регламентируется.

В диапазоне напряженности от 20 до 60 кВ/м допустимое время пребывания персонала в электростатическом поле без средств защиты определяется как

$$t_{\text{доп}} = \left(\frac{E_{\text{пред}}}{E_{\text{факт}}} \right)^2,$$

где $E_{\text{пред}}$ – предельно допустимый уровень напряженности электростатического поля, кВ/м; $E_{\text{факт}}$ – фактическое значение напряженности электростатического поля, кВ/м.

4.1.2. Выполнение работ в условиях воздействия электрического поля промышленной частоты 50 Гц

Предельно допустимый уровень напряженности воздействующего электрического поля промышленной частоты устанавливается равным 25 кВ/м (табл. 4.1). Пребывание в ЭП промышленной частоты с уровнем напряженности, превышающим 25 кВ/м, без применения индивидуальных средств защиты не допускается. При уровнях напряженности ЭП 20...25 кВ/м время пребывания персонала в электрическом поле не должно превышать 10 мин. Если уровень напряженности не превышает 5 кВ/м, пребывание персонала допускается в течение всего рабочего дня (8 часов). При уровне напряженности ЭП от 5 до 20 кВ/м допустимое время T , ч, пребывания персонала рассчитывают по формуле

$$T = 50/(E - 2);$$

где E – уровень напряженности воздействующего ЭП промышленной частоты в контролируемой зоне, кВ/м.

Допустимое время может быть реализовано одноразово или дробно в течение всего рабочего дня. В остальное время необходимо либо использовать средства защиты, либо находиться в ЭП с напряженностью до 5 кВ/м.

Таблица 4.1

ПДУ напряженности ЭП частотой 50 Гц в зависимости от времени пребывания в условиях воздействия

Напряженность ЭП E , кВ/м	Время пребывания персонала в условиях ЭП T , ч
До 5	8 ч (рабочий день)
5...20	$T = 50/(E - 2)$
20...25	10 мин
Свыше 25	Не допускается без средств индивидуальной защиты

4.1.3. Выполнение работ в условиях воздействия магнитных полей

При воздействии постоянного магнитного поля (МП) значения ПДУ составляют: $H = 8$ кА/м ($B = 0,01$ Тл).

При воздействии переменного МП промышленной частоты различают нормы для непрерывного и прерывистого воздействий (табл. 4.2). При этом в последнем случае в зависимости от продолжительности воздействия за рабочую смену выделяют три вида этого воздействия:

А – прерывистое с $\tau_{\text{и}} \geq 0,02$ с, $\tau_{\text{п}} \leq 2$ с;

Б – прерывистое с $60 \text{ с} \geq \tau_{\text{и}} \geq 1 \text{ с}$, $\tau_{\text{п}} > 2 \text{ с}$;
 В – прерывистое с $1 \text{ с} \geq \tau_{\text{и}} \geq 0,02 \text{ с}$, $\tau_{\text{п}} > 2 \text{ с}$,
 где $\tau_{\text{п}}$ – длительность паузы между импульсами; $\tau_{\text{и}}$ – длительность импульса.

Таблица 4.2

Гигиенические нормативы для переменного МП частотой 50 Гц

Нормируемое значение ПДУ воздействия			
Непрерывное воздействие			
Время пребывания, ч	При общем воздействии H , кА/м		При локальном воздействии H , кА/м
	≤ 1	1,60	
2	0,80		3,2
4	0,40		1,6
8	0,08		0,8
Прерывистое воздействие			
Время пребывания, ч	H , кА/м		
	Вид А	Вид Б	Вид В
≤ 1	6,0	8,0	10,0
≤ 2	4,9	6,9	8,9
≤ 3	4,0	6,0	8,0
≤ 4	3,2	5,2	7,2
≤ 5	2,5	4,5	6,5
≤ 6	2,0	4,0	6,0
≤ 7	1,6	3,6	5,5
≤ 8	1,4	3,4	5,4

4.1.4. Выполнение работ в условиях воздействия ЭМП радиочастот

Согласно ГОСТ 12.1.006–84 нормируемыми параметрами в диапазоне частот 30 кГц ...300МГц являются напряженности E и H ЭМП. Для диапазона частот 300 МГц ...300 ГГц эффект воздействия ЭМП на биологический объект принято оценивать количеством электромагнитной энергии, поглощаемой этим объектом при нахождении его в поле, Вт:

$$W_{\text{погл}} = \sigma S_{\text{эф}},$$

где σ – плотность потока мощности излучения электромагнитной энергии, Вт/м²; $S_{\text{эф}}$ – эффективная поглощающая поверхность тела человека, м².

В табл. 4.3 приведены предельно допустимые плотности потока энергии ЭМП в диапазоне частот 300 МГц ...300 ГГц и время пребывания на рабочих местах персонала, профессионально связанного с воздействием ЭМП.

Нормы облучения УВЧ и СВЧ

Плотность потока мощности энергии, σ , Вт/м ²	Допустимое время пребывания в зоне воздействия ЭМП	Примечание
До 0,1	Рабочий день	
0,1...1,0	Не более 2 ч	В остальное время $\sigma \leq 0,1$ Вт/м ²
1...10	Не более 10 мин	При условии пользования очками. В остальное время $\sigma \leq 0,1$ Вт/м ²

Тема 4.2. Нормирование ЭМП для населения

Система Санитарно-гигиенического нормирования ПДУ ЭМП для населения выделяет следующие виды облучений (табл. 4.4):

- под воздействием сотовой связи и других видов подвижной связи, включая все типы стационарных радиотехнических объектов (радиоцентры, радио- и телевизионные станции, радиолокационные станции, земные станции спутниковой связи и т.д.);
- под воздействием видеодисплейных терминалов и мониторов персональных компьютеров;
- под воздействием СВЧ-печей.

Таблица 4.4

Предельно допустимые уровни воздействия электромагнитных излучений для бытовой и профессиональной техники

Источник излучения	Диапазон частот	Значение ПДУ
Индукционные печи	20...22 кГц	500 В/м; 4 А/м
СВЧ-печи	0,3...37,5 ГГц	10 мкВт/см ²
Видеодисплейный терминал персонального компьютера	5 Гц ... 2 кГц	$E = 25$ В/м
	2...400 кГц	$E = 2,5$ В/м
	Поверхностный электростатический потенциал	$U = 500$ В
Прочая продукция	50 Гц	$E = 500$ В/м

Таблица 4.5

Временно допустимые уровни (ВДУ) воздействия электромагнитных излучений, создаваемых системами сотовой радиосвязи

Категория облучаемых	Значение ВДУ электромагнитных излучений
Облучение населения, проживающего на прилегающей селитебной территории, от антенн базовых станций	$\sigma = 10$ мкВт/см ²
Облучение пользователей радиотелефонов	$\sigma = 100$ мкВт/см ²

На некоторые источники облучений – бытовая потребительская техника – в настоящее время используются межгосударственные российско-белорусские санитарные нормы. Кроме того, для населения отдельно нормируется ПДУ напряженности электрического поля, создаваемого ЛЭП (табл. 4.6).

ПДУ электрического поля промышленной частоты от высоковольтных ЛЭП для населения

ПДУ ЭП, кВ/м	Условия облучения
0,5	Внутри жилых зданий
1,0	На территории жилой застройки
5,0	В населенной местности вне зоны жилой застройки; (земля городов в пределах городской черты в границах их перспективного развития на 10 лет, пригородные и зеленые зоны, курорты, земли поселков городского типа в пределах поселковой черты и сельских населенных пунктов), а также на территории огородов и садов
10,0	На участках пересечения воздушных ЛЭП с автомобильными дорогами I-IV категорий
15,0	В ненаселенной местности (незастроенные местности, посещаемые людьми, доступные для транспорта, и сельскохозяйственные угодья)
20,0	В труднодоступной местности (недоступной для транспорта и сельскохозяйственных машин) и на участках, специально отгороженных для исключения доступа населения

Тема 4.3. Общие положения методики

Методика определения ЭМО предусматривает проведение измерений и расчетов, необходимых для получения данных о максимально возможных уровнях электромагнитных воздействий (электромагнитные поля, наведенные токи и напряжения, кондуктивные электромагнитные помехи, разряды статического электричества и др.), влияющих на устройства релейной защиты и технологического управления электроэнергетическими объектами при нормальных и аварийных режимах.

При определении ЭМО на действующем энергообъекте необходимо применять сочетание экспериментальных методов (натурные эксперименты и имитация электромагнитных возмущений) и численный анализ.

Для получения достоверных результатов при численном анализе необходимо использовать результаты экспериментов, так как невозможно точно математически смоделировать реальный объект и ошибки могут быть существенные.

С помощью натурных экспериментов на действующем объекте нельзя воспроизвести все возможные режимы, например короткие замыкания на шинах высокого напряжения или удары молнии. К тому же проведение натурных экспериментов, нарушающих нормальную работу энергообъекта, например коммутации силовым оборудованием или измерения в цепях устройств релейной защиты, ограничиваются по условиям работы энергообъекта отдельными разовыми экспериментами, как правило, не самыми опасными с точки зрения уровней электромагнитных помех в системах релейной защиты и технологического управления.

Имитация электромагнитных возмущений позволяет существенно расширить возможности по определению уровней электромагнитных помех экспериментальным путем. Однако существуют некоторые ограничения и по проведению имитационных испытаний на действующем объекте.

В результате исследований должны быть определены максимальные значения воздействий на системы релейной защиты и технологического управления при любом нормальном и аварийном режиме, т.к. требование эксплуатации состоит в том, что данные системы должны работать правильно при любых режимах – и нормальном, и аварийном. Без численного анализа может быть упущен аварийный режим, при котором помехи будут максимальными и одновременно реальными.

Экспериментальная часть работы в основном проводится на действующем объекте. Методика экспериментов и технические средства (например, имитаторы воздействий и измерительные приборы) должны быть такими, чтобы не мешать нормальной работе объекта и не повреждать имеющиеся на объекте устройства.

В соответствии с требованиями определение ЭМО производят на вновь строящихся объектах при пусконаладочных работах.

При техническом перевооружении действующих объектов определение ЭМО производят в два этапа:

- на этапе предпроектных изысканий;
- при пусконаладочных работах.

При эксплуатации энергообъекта проверку ЭМО проводят со следующей периодичностью:

- не реже одного раза в 12 лет;
- внепланово в случаях неправильной работы или при повреждении устройств автоматизированных систем технологического управления из-за воздействия электромагнитных помех.

Тема 4.4. Основные этапы проведения работ по определению электромагнитной обстановки

Методика определения ЭМО на энергообъекте включает следующие этапы: получение исходных данных об энергообъекте для проведения работ, экспериментально-расчетное определение ЭМО на объекте, определение соответствия между уровнями помехоустойчивости устройств и ЭМО на объекте.

4.4.1. Исходные данные и состав работ по определению ЭМО на объекте

Исходные данные, необходимые для расчетно-экспериментального определения ЭМО, могут быть получены непосредственно на объекте, а также при анализе проектных решений и технической документации на устройства релейной защиты и системы технологического управления.

Для того чтобы определить уровни электромагнитных воздействий на системы релейной защиты и технологического управления при коммутациях, работе разрядников и коротких замыканиях на шинах высокого напряжения, необходимо знать: электрическую схему и взаимное расположение первичных цепей; трассы прокладки кабелей и их марку; тип и расположение силового оборудования; фирму-изготовитель, назначение и место расположения устройств релейной защиты и системы технологического управления.

Необходимо иметь данные по заземляющему устройству объекта: исполнительную схему, удельное сопротивление грунта и импульсное сопротивление заземлителя, к которому подходят кабели от устройств релейной защиты и системы технологического управления.

Как правило, эти данные могут быть получены лишь экспериментальным путем. Методика диагностики заземляющих устройств энергообъектов представляет самостоятельную задачу.

На исполнительной схеме заземляющего устройства должны быть показаны молниеприемники и схема их заземления, а также трассы прокладки кабелей систем релейной защиты и технологического управления. Для зданий и сооружений необходимо иметь схему токоотводов и заземлителей молниеприемников.

В качестве исходных данных для определения воздействий токов и напряжений промышленной частоты необходимо иметь сведения о токах короткого замыкания на землю. При коротком замыкании на шинах высокого напряжения важно знать не только суммарный ток короткого замыкания на землю, но и его составляющие (токи с линий и токи со стороны трансформаторов).

Удельное сопротивление грунта определяется, как правило, экспериментально методом вертикального электрического зондирования в виде зависимости удельного сопротивления ρ от глубины h (рис.4.1).

Обычно результаты измерений приводятся к двухслойной модели с использованием метода математической обработки (например, метода наименьших квадратов). Возможно определение удельного сопротивления грунта на основании данных о геоподоснове территории объекта и справочных данных об удельном сопротивлении различных грунтов.

Для определения воздействий электромагнитных полей радиочастотного диапазона необходимо иметь сведения об используемых на данном объекте радиопередающих устройствах (стационарных и переносных).

Анализ возможных уровней электромагнитных воздействий по сети электропитания постоянным и переменным током проводится на основе исполнительной схемы электропитания объекта, данных о типе и месте расположения устройств, включенных в систему электропитания (в особенности электромеханических устройств), и данных о трассе прокладки и типе соединительных кабельных линий.

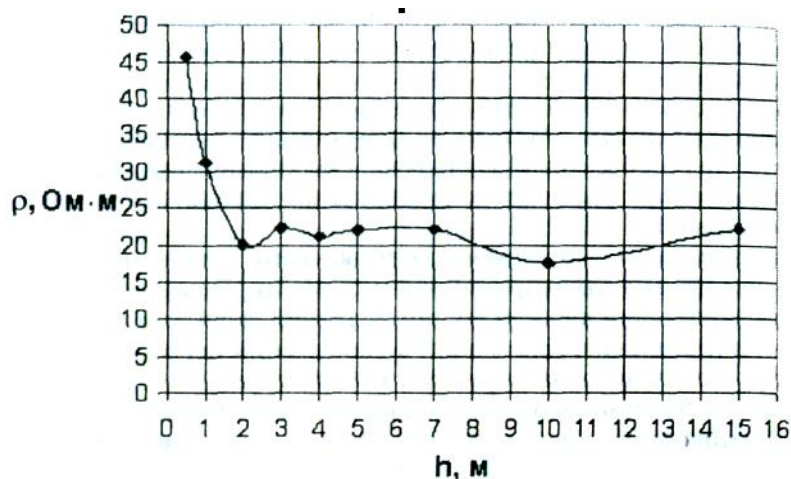


Рис. 4.1. Удельное сопротивление грунта

При проведении непосредственных измерений на объекте определяются напряженности электромагнитных полей радиочастотного диапазона, напряженность поля промышленной частоты при нормальных режимах работы, импульсные помехи в цепях постоянного и переменного тока, качество электропитания постоянным и переменным током устройств релейной защиты и системы технологического управления, характеристики покрытий полов и электрические потенциалы тела человека от заряда статического электричества. Кроме того, определяются некоторые характеристики первичного оборудования, цепей вторичной коммутации и устройств релейной защиты и системы технологического управления (амплитудно-частотная характеристика высокочастотной составляющей тока шин и кабелей высокого напряжения, емкость на землю оборудования, входные параметры терминалов). Также проводится тестирование расчетов (например, при осуществлении измерений помех во время коммутаций разъединителями и выключателями).

При имитации электромагнитных возмущений определяют помехи, связанные с ударами молнии, короткими замыканиями, коммутациями в первичных цепях. После измерений производят пересчет полученных значений к реальным воздействиям. Кроме того, определяют некоторые параметры (например, коэффициент экранирования кабелей), которые, как правило, невозможно установить расчетным путем.

Расчеты необходимы для определения наиболее опасных режимов, для пересчета результатов измерений, полученных с использованием имитаторов электромагнитных воздействий, к реальным воздействиям и для определения оптимальных мероприятий по улучшению ЭМО. При проведении расчетов используются математические модели и специальные программы для ПЭВМ.

4.4.2. Воздействие на кабели систем релейной защиты и технологического управления токов и напряжений промышленной частоты

При однофазном коротком замыкании на землю на шинах ПС ВН потенциал контура заземления энергообъекта распределяется неравномерно. Если потенциал на земле превысит испытательное напряжение кабелей, подходящих к оборудованию, возможно возникновение обратного перекрытия – с земли на жилы кабелей. Кроме того, ток однофазного короткого замыкания, распределяясь по заземленным оболочкам, броне и экранам кабелей, при превышении допустимых по термической стойкости токовых нагрузок на кабели вызовет их повреждение.

Ток однофазного короткого замыкания на землю на шинах высокого напряжения в общем случае формируется из составляющих от силового автотрансформатора (АТ) и из электроэнергетической системы (ЭЭС) по линиям, подключенным к шинам высокого напряжения. От места короткого замыкания ток возвращается в нейтраль трансформатора и в энергосистему через заземляющее устройство и непосредственно через землю (рис. 4.2, а).

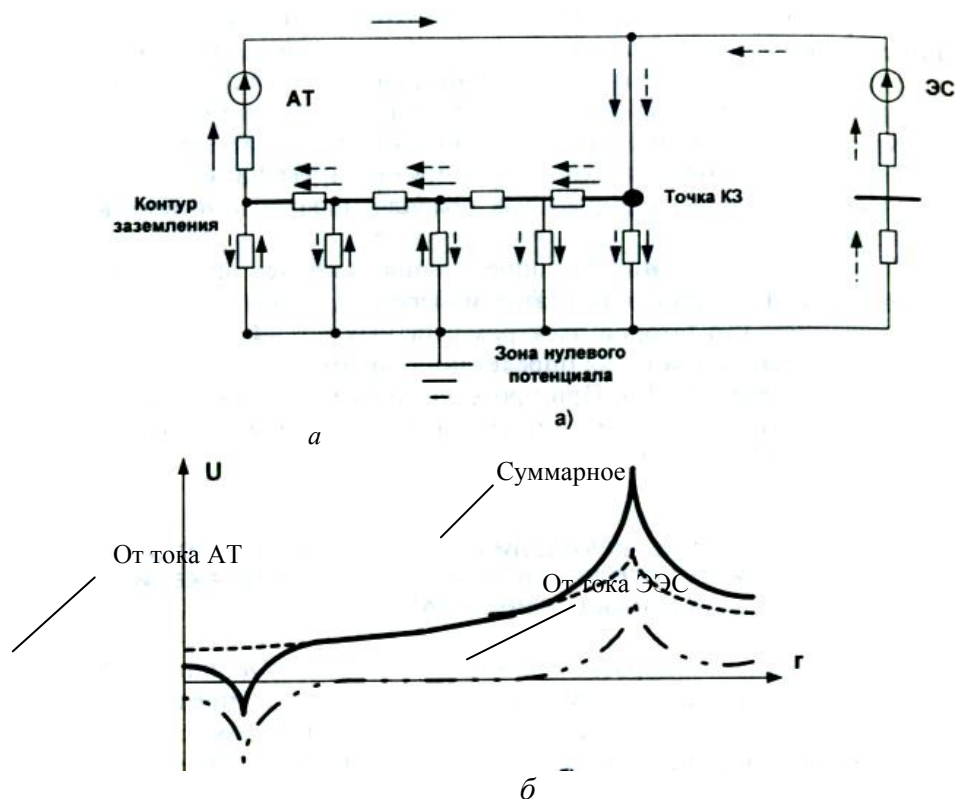


Рис. 4.2. Однофазное короткое замыкание на шинах ПС высокого напряжения: а – схема растекания тока в контуре заземления ПС; б – распределение потенциалов на заземляющем устройстве ПС

Если наложить, в соответствии с методом суперпозиции, распределение потенциалов от АТ на распределение потенциалов от ЭЭС, то получим суммарное распределение потенциалов (рис. 4.2, б).

Для того чтобы определить возможные уровни воздействующих на кабели систем релейной защиты и технологического управления напряжений и токов при однофазном коротком замыкании на землю, проводят измерения распределения потенциалов и токов на заземляющем устройстве при имитации однофазного короткого замыкания на землю. При измерениях используют, например, измерительный комплекс КДЗ-1. Схема проведения таких измерений на одной из подстанций представлена на рис. 4.3.

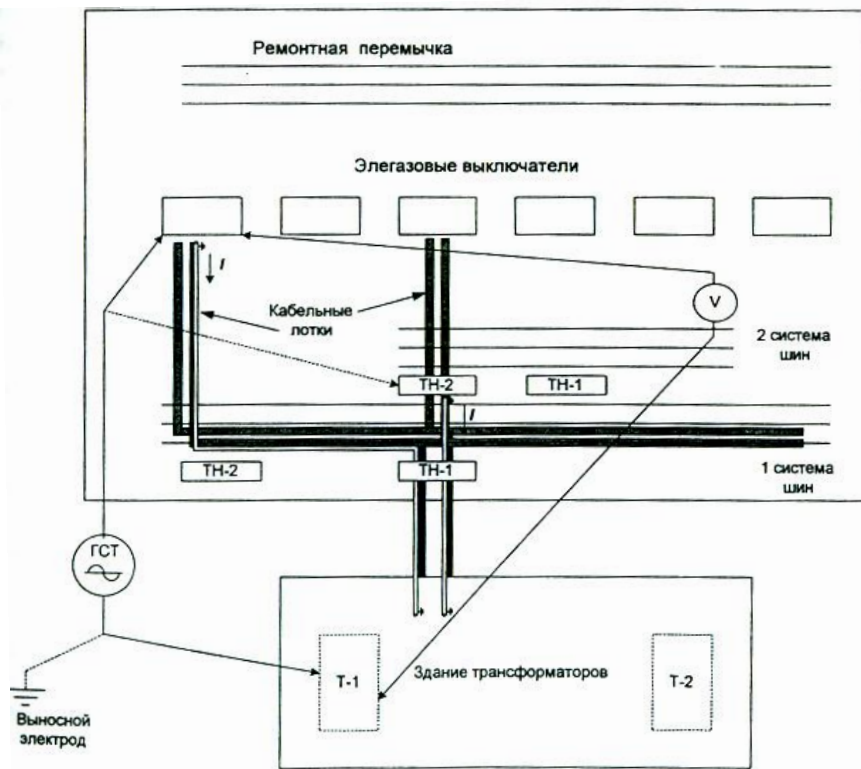


Рис. 4.3. Схема измерений на ОРУ 220 кВ при имитации однофазного короткого замыкания

Генератор переменного тока ГСТ, входящий в комплект КДЗ-1, подключается к заземляющему устройству силового оборудования и к заземлению нейтрали трансформатора (автотрансформатора) или к выносному токовому электроду. Имитируется растекание тока однофазного короткого замыкания на землю через контур заземления вне

энергообъекта и через нейтраль трансформатора. При этом измеряют токи, проходящие от оборудования в заземлитель и по кабелям (оболочка, броня, экран) (см. рис. 4.3).

Измеряют также разности потенциалов между местом короткого замыкания и заземляющим устройством релейного щита. Результаты измерений пересчитывают на реальные токи короткого замыкания.

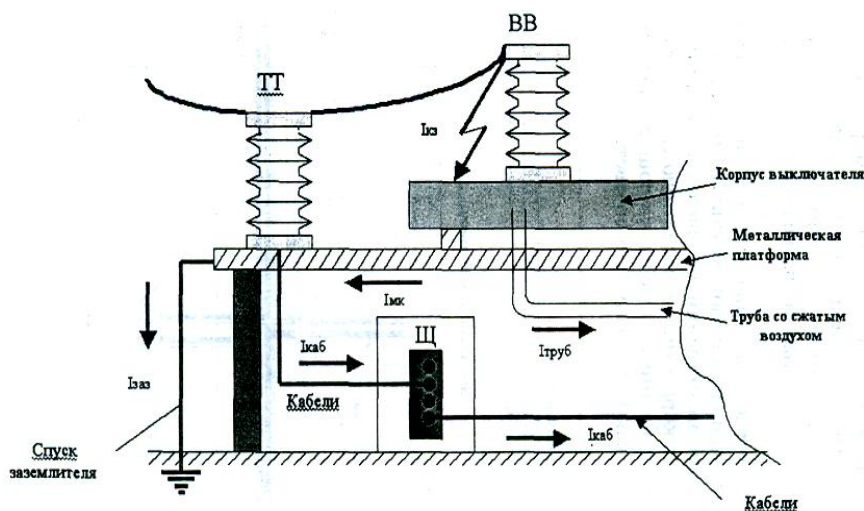


Рис. 4.4. Схема растекания тока при имитации однофазного короткого замыкания на землю на воздушном выключателе (ВВ): $I_{кз}$ – ток короткого замыкания; $I_{мк}$ – ток по металлоконструкциям; $I_{труб}$ – ток по трубам; $I_{заз}$ – ток по заземляющему проводнику; $I_{каб}$ – ток по оболочкам кабелей

Проводят расчеты распределения токов и потенциалов при аналогичных режимах и сравнивают результаты расчетов и измерений. При наличии расхождений определяют их причины и вносят коррективы в расчетную схему. При необходимости проводят дополнительные уточняющие измерения на объекте. После того как будет получено

соответствие расчетов и экспериментов, рассчитывают распределения токов и потенциалов при коротких замыканиях в различных точках на шинах высокого напряжения.

По результатам расчетов определяют максимальные значения напряжений и токов промышленной частоты, воздействующих на системы релейной защиты и технологического управления при однофазных коротких замыканиях.

4.4.3. Электромагнитные поля радиочастотного диапазона

Измерения полей радиочастотного диапазона проводят в местах установки устройств автоматических и автоматизированных систем технологического управления в частотном диапазоне от 1 до 1000 МГц. Измеряют также напряженности электромагнитного поля от переносных и стационарных радиопередающих станций, которые используются персоналом энергообъекта. Измеряют зависимость напряженности поля от расстояния до источника электромагнитного излучения и ослабление поля искусственными преградами (стены, экраны, корпуса шкафов и т.д.).

Для измерения помех в радиочастотном диапазоне обычно используют перестраиваемые селективные высокочастотные вольтметры с соответствующим набором антенн. Для сигналов вертикальной поляризации в диапазоне 26...300 МГц возможно использование биконических антенн с круговой диаграммой направленности и входным сопротивлением 50 Ом. Для сигналов с горизонтальной поляризацией следует использовать дипольные антенны с входным сопротивлением 50 Ом. Существенным для правильных измерений является хорошее согласование антенно-фидерного тракта с вольтметром во всем диапазоне измеряемых частот.

Для измерения сигналов в диапазоне частот 300...1000 МГц возможно использование рупорной измерительной антенны П-6-33 с входным сопротивлением 50 Ом. Эта антенна позволяет принимать сигналы любой линейной поляризации, но обладает ограниченной диаграммой направленности ($\pm 45^\circ$). Для сигналов с горизонтальной поляризацией можно также использовать калиброванную широкополосную антенну в виде конического диполя ДП-3 из измерительного комплекса FSM-8,5. Этот диполь также имеет входное сопротивление 50 Ом. Описанные антенны предназначены для измерения напряженности электрического компонента электромагнитного поля. Магнитный компонент поля H , мкА/м, определяют пересчетом по формуле

$$H = E - 52,$$

где E – напряженность электрического поля, мкВ/м.

С целью быстрого графического представления частотного спектра помех, для измерений радиочастотных сигналов применяются спектроанализаторы, которые состоят из измерителя помех и встроенного осциллографа. Простейшим прибором этого класса является переносной спектроанализатор Protok3200. Динамический диапазон прибора составляет 80 дБ. Диапазон измерения сигналов 1мкВ...1В. Общим недостатком спектроанализаторов с усилителями сигналов является появление ложных интермодуляционных сигналов, идентификация которых требует определенных манипуляций с антеннами и промежуточными ослабителями.

Раздел 5. Способы и средства снижения помех

Тема 5.1. Пассивные помехозащитные устройства

Помехоподавляющие (помехозащитные) устройства устанавливают как непосредственно у источника помех для уменьшения излучений (например, помехоподавляющие фильтры), так и непосредственно перед приемником для подавления входящих помех (помехозащитный фильтр, разрядник, экран).

5.1.1. Фильтры

Фильтры ослабляют распространение помех вдоль проводящих линий. Их применение предполагает, что спектр частот полезного сигнала отдален от спектра частот помехи на половину ширины пропускания или более. При правильном выборе граничных частот и

крутизны передаточной функции фильтра можно достигнуть затухания помехи без заметного ущерба для полезного сигнала.

Пассивные фильтрующие элементы образуют совместно с полными сопротивлениями источников и приемников делитель напряжения. Если малое внутреннее сопротивление источника помех на высоких частотах не позволяет получить заметного деления напряжения, то коэффициент деления можно увеличить путем последовательного включения катушек индуктивности. В соответствии с этим основными компонентами фильтров для рабочего тока являются последовательно включенные полные сопротивления, а для напряжений – параллельно соединенные с преобладанием реактивных составляющих (рис. 5.1).

При малых сопротивлениях источников устранение помех одними конденсаторами при определенных условиях потребовало бы чрезмерно больших емкостей. Чтобы обойти эту трудность, сопротивление источника может быть увеличено за счет последовательного включения индуктивностей (рис. 5.1, в).

Конденсаторы являются наиболее часто применяемыми средствами подавления помех. Вместе с внутренним сопротивлением источника помех они образуют делитель напряжения, который делит напряжение помех в соответствии с отношением обоих реактивных сопротивлений. Их действие тем лучше, чем меньше их собственная индуктивность и чем выше внутреннее сопротивление источника помех при высокой частоте. Собственная индуктивность зависит от длины выводов, от монтажа и конструкции конденсатора (рис. 5.2).

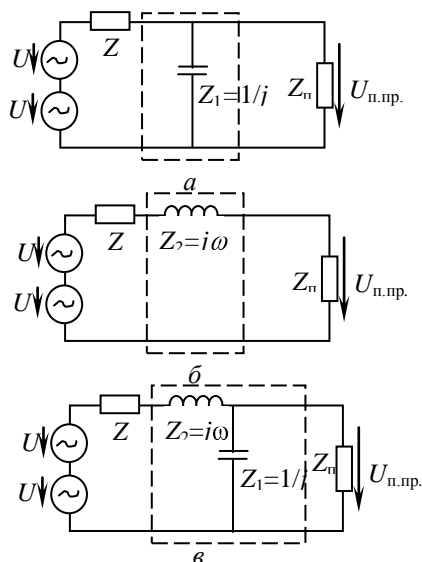


Рис. 5.1. Простые схемы включения фильтров: а – с параллельным полным сопротивлением Z_1 ;

б – с последовательным сопротивлением Z_2 ; в – LC-фильтр

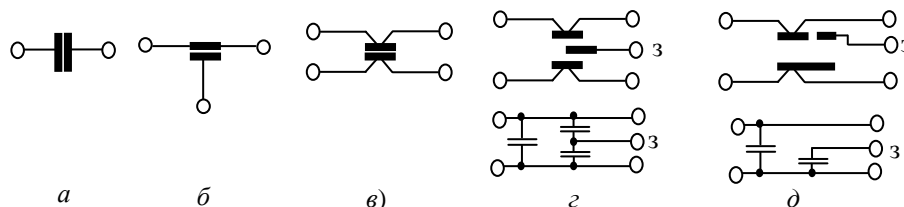


Рис. 5.2. Различные конструкции помехоподавляющих конденсаторов (с уменьшающейся собственной индуктивностью): а – двухполюсный конденсатор; б – трехполюсный конденсатор; в – четырехполюсный конденсатор; г – трехзвездный конденсатор; д – двухзвездный конденсатор

Катушки индуктивности применяются тогда, когда внутреннее сопротивление источника слишком мало, чтобы только при помощи конденсаторов достичь достаточного деления напряжения или подавления помех. Действие катушки тем лучше, чем меньше ее собственная емкость. При небольших токах маленькую емкость пытаются получить за счет разделения катушки на несколько секций, а при больших токах – за счет однослойных обмоток из плоской медной шины, намотанной так, чтобы ее широкая сторона находилась в плоскости витка (рис. 5.3).

Катушки индуктивности чаще всего имеют сердечник из ферромагнитного материала. Однако увеличение индуктивности повышает помехозащитные способности только тогда, когда материал не намагничивается рабочим током до насыщения. Для подавления асимметричных помех наиболее подходящими оказываются катушки индуктивности со скомпенсированными токами (см. рис. 5.3).

При одинаковом направлении намотки витков магнитные потоки рабочих токов в прямом и обратном проводах почти полностью компенсируются, так что намагничиванием сердечника рабочим током можно пренебречь. Для одновременного демпфирования симметричных, несимметричных и асимметричных помех, для помехоподавления в широком диапазоне применяются LC-фильтры, которые выполняют из нескольких конденсаторов и катушек.

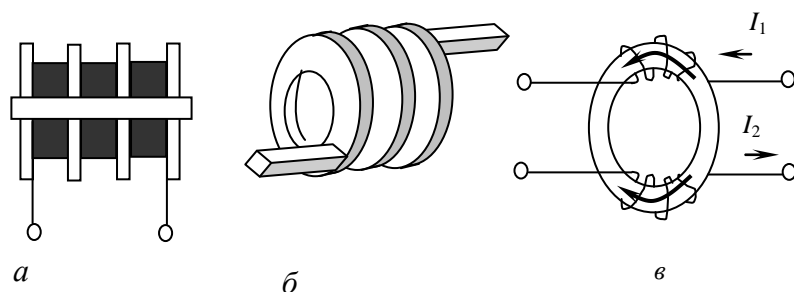


Рис. 5.3. Катушки индуктивности: а – секционированная обмотка; б – обмотка из плоской медной шины; в – компенсационная катушка

Для помехоподавления и помехозащиты однофазных и трехфазных приборов, например источников питания ПК, канцелярских устройств и т.д., применяются сетевые фильтры. В сетях низкого напряжения 220/380 В используют фильтры низких частот, которые беспрепятственно пропускают только полезный сигнал частотой 50 Гц. Типичный пример однофазного сетевого фильтра показан на рис. 5.4. Он включает в свой состав: Dp_1 – катушку индуктивности для асимметричных помех, Dp_2 – катушку индуктивности для симметричных помех.

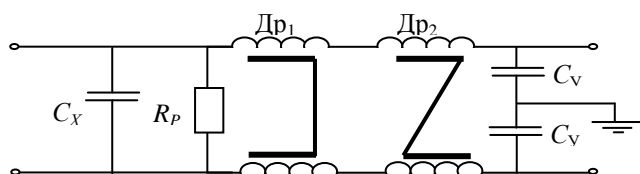


Рис. 5.4. Однофазный сетевой фильтр

Следует отметить, что совместное включение реактивных компонентов (катушки индуктивности и конденсатора) в одном фильтре представляет собой колебательную систему, которая вблизи своих собственных резонансных частот может привести к отрицательному коэффициенту затухания фильтра, т.е. к усилению помехи. Таким же образом явление резонанса могут вызывать реактивные сопротивления передатчиков и приемников вместе с реактивными компонентами фильтра. Эти проблемы решаются путем смещения собственных резонансных частот в безопасный диапазон (использование

многоступенчатых фильтров) либо демпфированием резонансных колебаний при помощи сопротивлений или обладающих потерями диссипативных диэлектриков или магнетиков.

Диссипативные диэлектрики – это электроизоляционные материалы, которые наряду с остаточной активной проводимостью при переменном напряжении обладают дополнительными потерями, обусловленными колебаниями ионов и диполей в переменном электрическом поле. Эти поляризационные потери могут многократно превышать потери за счет электропроводности. На схемах замещения диссипативные конденсаторы изображают как параллельно включенные идеальные емкости и активные сопротивления.

5.1.2. Разрядники для защиты от перенапряжений

Разрядники служат для ограничения переходных перенапряжений, вызванных молнией, отключением индуктивного потребителя, разрядом статического электричества, электромагнитным импульсом ядерного взрыва и т.д. Они являются нелинейными резисторами, которые в пределах рабочего напряжения обладают высоким сопротивлением, а при перенапряжениях сопротивление снижается.

Существуют три группы разрядников, заметно различающихся по напряжениям срабатывания, устойчивости к импульсам тока, сопротивлениям при рабочем напряжении, остаточному сопротивлению при включении, динамическими характеристиками и другими свойствами. К *первой группе* относятся ОПН и вентильные разрядники.

ОПН – нелинейные резисторы, изготовленные из ZnO. Они имеют нелинейную вольтамперную характеристику (ВАХ) (рис. 5.6).

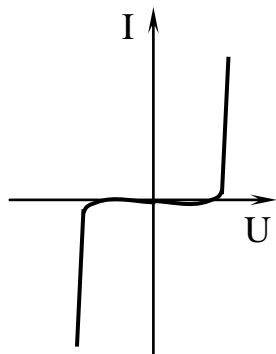


Рис. 5.6. Вольтамперная характеристика ОПН

Вентильные разрядники – нелинейные сопротивления, изготавливаемые из карбида кремния. Они обладают ВАХ с меньшей нелинейностью по сравнению с ОПН.

К *второй группе* относятся кремниевые лавинные диоды.

Кремниевые лавинные диоды по сравнению с обычными полупроводниковыми диодами обладают тем преимуществом, что при превышении напряжения пробоя *p-n*-переход не разрушается, а пропускает большой ток в обратном направлении. Такие диоды применяются для защиты от перенапряжений в электронных схемах. Они являются однополярными, поэтому в схемах включаются попарно, встречно, последовательно.

Третью группу составляют искровые разрядники (ИР).

Искровые разрядники – имеют по сравнению с другими разрядниками наибольший диапазон срабатывания. Они защищают как ЭЭС от грозовых перенапряжений (напряжение срабатывания до мегавольтного диапазона), так и телекоммуникационные сети (напряжение срабатывания до 80 В).

ИР имеют два недостатка по сравнению с ограничителями первой группы: при большой крутизне напряжение перед срабатыванием может на короткое время принимать очень большие значения, которые в некоторых случаях недопустимы для защищаемого объекта.

5.1.3. Гибридные разрядные цепи

Высокая работоспособность ИР, а также высокое быстродействие и отсутствие сопровождающего тока у нелинейных резисторов и диодов определяют целесообразность создания гибридных схем из их комбинаций. Возможной комбинацией является последовательное или параллельное включение всех видов защитных устройств (рис. 5.9).

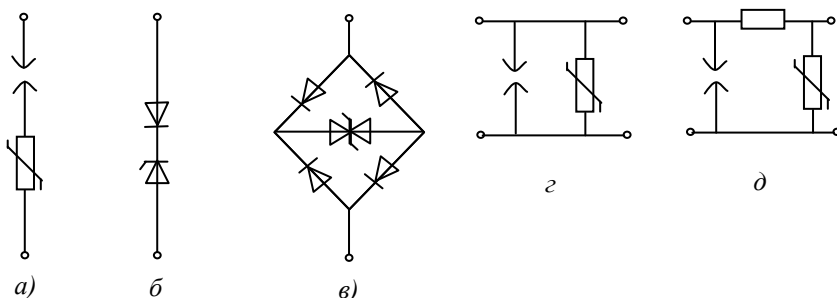


Рис. 5.9. Гибридные разрядные цепи: а – последовательное включение ИП и ОПН; б – последовательное включение помехоподавляющего и обычного полупроводникового диодов; в – мостовая схема с использованием помехоподавляющих и обычных диодов; г – прямое параллельное включение; д – косвенное параллельное включение

Самой совершенной схемой для подавления помех считается ступенчатая (рис. 5.10).

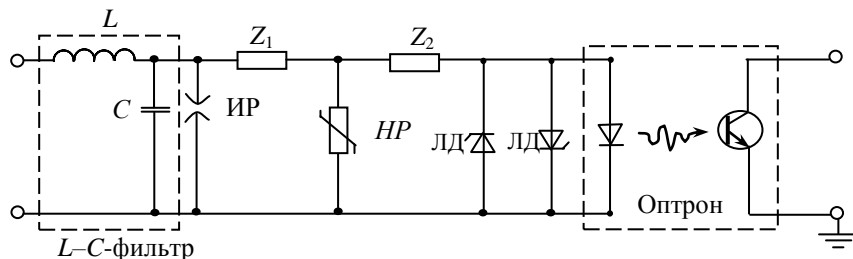


Рис. 5.10. Ступенчатая защита

Тема 5.2. Электромагнитные экраны

Поля, образуемые излучениями, можно разделить на постоянные и переменные, при этом последние подразделяются на квазистатические (медленно меняющиеся) и электромагнитные (быстро меняющиеся) (рис. 5.11).

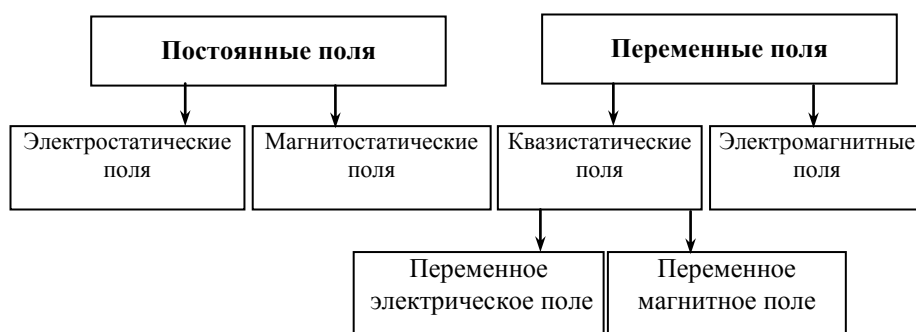


Рис. 5.11. Классификация электрических и магнитных полей

Если приемник находится в непосредственной близости от источника излучения (антенны), т.е. в ближней зоне, то он воспринимает стационарное квазистатическое поле. При этом штыревая антенна создает квазистатическое электрическое поле, а рамочная антенна – магнитное.

На большом расстоянии от источника приемник находится в так называемой дальней зоне. Независимо от конструкции антенны в дальней зоне господствует электромагнитное волновое поле.

Для ограничения зоны распространения полей применяют защитное экранирование.

Действие электромагнитного экрана заключается в следующем: 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 (рис. 5.12).

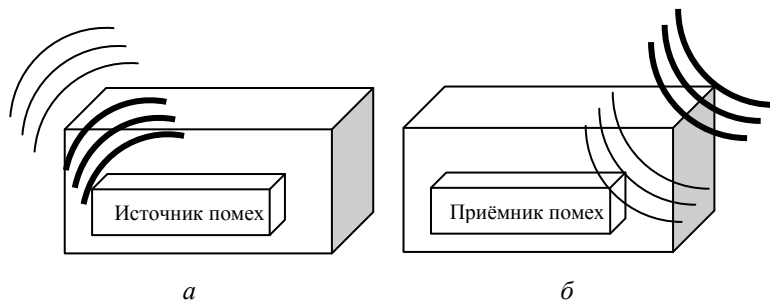


Рис. 5.12. Экранирующее действие: а – ослабление излучения источника помех; б – защита поглотителя помех от излучения

Мерой экранирующего действия является коэффициент экранирования $k_э$, который определяется отношением напряженности поля внутри экрана к напряженности внешнего поля, которое имеет место в отсутствии экрана. Например, для магнитного поля

$$k_э = \frac{H_{\text{внутр}}}{H_{\text{внеш}}}$$

На практике также часто используют термин «коэффициент затухания» $a_э$, дБ, который определяют по формуле

$$a_э = 20 \lg \frac{1}{k_э}$$

Тема 5.3. Влияние ЭМП на биоорганизмы

За последние десятилетия резко увеличилось число источников электромагнитного поля (ЭМП) как в производственных, так и в бытовых условиях.

Домашняя электросеть, бытовые электроприборы, видеодисплейные терминалы, ВЛЭП, телевизионные и радиосредства связи и информации, радиолокационные и навигационные станции – это только частичный перечень источников, которые излучают ЭМП самой разной частоты, модуляции и интенсивности. Большинство населения фактически живет в весьма сложном электромагнитном поле, интенсивность которого в миллионы раз превосходит уровень естественного ЭМП Земли.

Электромагнитный спектр простирается от постоянных электрических и магнитных полей, полей частотой 50 Гц до радиоволн и видимого света, ионизирующего излучения. В зависимости от интенсивности и частоты электромагнитное поле и волны оказываются для биоорганизмов полезными или вредными.

Механизм отрицательного биологического воздействия ЭМП промышленной частоты заключается в следующем:

- ✓ поле воздействует на заряженные частицы и токи, при этом его энергия преобразуется в другие виды энергии;
- ✓ атомы и молекулы человеческого тела в электрическом поле поляризуются; полярные молекулы (например, воды) ориентируются по направлению ЭМП;
- ✓ в электролитах, каковыми являются жидкие составляющие тканей, крови и др., после воздействия внешнего ЭМП появляются ионные токи;
- ✓ переменное ЭМП вызывает нагрев тканей человека как за счет переменной поляризации диэлектрика (сухожилий, хрящей, костей), так и за счет появления токов проводимости. То есть наблюдаются диэлектрические потери, сопровождаемые выделением теплоты. Чем больше напряженность ЭМП и чем выше его частота, тем сильнее проявляются указанные эффекты. До величины $J = 10$ мВт/м, условно принятой за тепловой порог, избыточное тепло отводится за счет механизма терморегуляции. Наиболее чувствительными к перегреву являются: органы зрения, мозг, почки, желчный и мочевой пузырь;
- ✓ магнитные поля индуцируют в живых тканях паразитные токи.

Считается, что кратковременное воздействие МП промышленной частоты не вызывает в организме человека отрицательных последствий. Однако при длительном воздействии при

определенных условиях магнитное поле может способствовать развитию онкологических заболеваний крови и мозга.

В диапазоне ультрафиолетового света и выше энергия электромагнитных волн достаточно велика, чтобы освободить электроны из электронной оболочки атомов, т.е. ионизировать атомы и тем самым производить химические и другие изменения. У человека эти изменения простираются с растущей частотой от эффекта загара до рака кожи и глубже расположенных тканей.

Диапазон видимого света, без которого жизнь на Земле была бы совершенно невозможна, ведет к инфракрасному и тепловому излучению и микроволнам. Действие микроволн на биоорганизмы основано на их силовом воздействии на заряженные частицы. Вследствие этого воздействия электроны и ионы колеблются в микроволновом переменном поле, диполи вибрируют относительно состояния равновесия. Сообщенную им кинетическую колебательную энергию частицы за счет столкновения отдают другим частицам и повышают их среднюю кинетическую энергию. Этот подвод энергии макроскопически проявляется в разогреве, или повышении температуры облученного материала.

Наряду с силовым воздействием ЭМП и волн на электрические заряды и диполи существует аналогичное воздействие на магнитные диполи, вызывающее контурные токи. Однако из-за недостатка магнитных диполей тепловые эффекты в этом случае не возникают.

Развиваемая в переменном электрическом поле удельная тепловая мощность пропорциональна частоте, следовательно, быстро убывает при переходе к меньшим частотам. На основе этой частотной зависимости ранее пришли к выводу, что напряженности поля, обычно встречающиеся в технике связи и энергоснабжении, для населения в целом безопасны. При кратковременных опытах в лаборатории также не было установлено их непосредственное влияние. Лишь при значительно более высоких напряженностях поля обнаруживались определенные эффекты, такие как высокочастотные ожоги, мерцание в глазах и т.д. Одновременно с этим были опубликованы отдельные работы, в которых сообщалось о нарушениях поведения, иммунной системы, о головных болях, усталости, увеличении случаев рака и т.д. Подобные зависимости, если они действительно существуют, могут быть выявлены только при безупречном проведении долговременных эпидемиологических исследований. А осуществить подобные эксперименты достаточно сложно. Условия воздействия ЭМП на различные контингенты лиц весьма разнообразны: воздействие может быть непрерывное и прерывное, общее или местное, комбинированное от нескольких источников и сочетаемое с другими неблагоприятными факторами среды и т.д. Однако в настоящее время накоплено большое число данных, указывающих на неблагоприятное влияние электромагнитных полей на биоорганизмы.

Все вышесказанное определяет актуальность проблемы оценки опасности биологического воздействия на человека электромагнитного излучения в рамках проблемы биоэлектромагнитной совместимости, проведения профилактических и защитных мероприятий, разработки нормативных документов.

Раздел 6. Проблема наведенных напряжений от высоковольтных ЛЭП

Тема 6.1. Магнитные влияния

Электромагнитная составляющая (продольная ЭДС) наводится в проводах подверженной влиянию ВЛ за счет электромагнитной связи с проводами действующих ВЛ. Величину продольной ЭДС с учетом заданного количества влияющих ВЛ определяют по формуле

$$E_{jkimn} = \omega n M_{jkimn} I_{jkn} l_c S_{\text{общ.м}}, \quad (6.1)$$

где M_{jkimn} – коэффициент взаимной индукции между m -м проводом i -й действующей ВЛ и k -м проводником подверженной влиянию j -го смежного устройства на частоте n -й гармоники, Гн/км; I_{jkn} – величина n -й гармоники тока в фазе m i -й действующей ВЛ, А; l_c – длина

параллельного сближения, км; $S_{\text{общ.м}}$ – общий коэффициент защитного действия при магнитном влиянии.

Используя данную методику, можно определить величину электромагнитной составляющей наведенного напряжения (ЭМН) в любом месте подверженного влиянию провода, а по величине допустимого напряжения прикосновения – зону безопасного прикосновения к проводу при одновременном влиянии на него нескольких ВЛ, работающих в несинусоидальном и несимметричном режимах.

Выражение (6.1) справедливо при постоянной взаимной индуктивности между влияющими и подверженными влиянию однопроводными цепями, т.е. при *параллельном сближении*, когда кратчайшее расстояние между проводниками отличается от среднего не более чем на 10 %. При сложной трассе сближения – *косом сближении* – однопроводную цепь, подверженную влиянию, разделяют на n участков с таким расчетом, чтобы кратчайшие расстояния между влияющей цепью и подверженной влиянию по концам каждого такого участка (a_1 и a_2 , м) не превышали бы друг друга более чем в три раза. При этом – эквивалентную ширину сближения параллельного участка (a_3 , м) находят по формуле

$$a_3 = \sqrt{a_1 a_2} . \quad (6.2)$$

Тогда выражение для индуцированной ЭДС в однопроводной цепи, при косом сближении с влияющей линией на i -м участке сближения длиной l_i , км, примет вид

$$E_m = -j\omega I \sum_{i=1}^n M_i l_i . \quad (6.3)$$

Для частоты 50 Гц коэффициент взаимной индукции можно рассчитать по выражению

$$M = \left[1 + 2 \ln \frac{10^4}{1,78 a_3 \sqrt{10 \pi \omega \gamma_3}} - j \frac{\pi}{2} \right] 10^{-4} , \quad (6.4)$$

где γ_3 – удельная проводимость земли, См/м.

Следует отметить, что реальный грунт в большинстве случаев характеризуется неоднородной структурой. Так, например, вечномерзлотный грунт, распространенный в большинстве регионов Сибири, имеет четырехслойную структуру. Как показали многочисленные исследования, выполненные на территории Восточной Сибири и Красноярского края, толщина верхнего, так называемого «активного» (деятельного), слоя грунта, в пределах которого имеют место существенные сезонные изменения температуры и влажности, составляет 0,7...1,5 м. Далее следует аккумуляционный слой толщиной 10...20 м, температура которого всегда отрицательна, хотя и испытывает сезонные колебания. Слой постоянной температуры – основная часть вечномерзлого грунта – простирается на глубину до нескольких сотен метров и круглогодично сохраняет температуру от -2 до -7 °С. И, наконец, подстилающий слой, сохраняющий положительную температуру в течение всего года. При этом неоднородность грунта резко увеличивается в морозные зимние и засушливые летние месяцы, а также при сезонных изменениях уровня грунтовых вод. Все вышеизложенное приводит к тому, что коэффициент взаимной индукции, зависящий от удельной проводимости грунта γ_3 , будет изменяться в зависимости от погодных условий (времени года) и глубины проникания магнитного поля.

Тема 6.2. Электрические влияния

Электростатическая составляющая наведенного напряжения U , обусловлена электрическими потенциалами проводов (см. рис. 6.2). Её величина зависит от рабочего напряжения действующей ВЛ, поперечных геометрических размеров и взаимного расположения влияющих ВЛ и подверженных влияниям смежных устройств и определяется емкостными связями системы проводов.

Для учета схемно-режимных особенностей сложных электрических сетей с пониженным качеством электроэнергии целесообразно значение электростатической составляющей (ЭСН) находить отдельно для каждой гармоники. При этом первоначально рассчитывают величину электростатической составляющей в k -м проводнике подверженного влиянию j -го смежного устройства от m -го провода i -й действующей ВЛ на частоте n -й гармоники:

$$U_{jkimn} = U_{imn} \frac{\omega n C_{jkim} l_c S_3}{\sqrt{1/R_{\text{заз}}^2 + \omega^2 n^2 (C_{jkim} l_c + C_{jk-k} l_j)^2}}, \quad (6.5)$$

где U_{imn} – напряжение n -й гармоники в проводе m i -й действующей ВЛ; ω – круговая частота, рад/с; n – номер гармоники; C_{jkim} – частичная емкость между k -м проводником подверженного влиянию j -го смежного устройства и m -м проводом i -й действующей ВЛ, Ф/км; $R_{\text{заз}}$ – сопротивление, включенное между проводником k j -го подверженного влиянию смежного устройства и землей, Ом; C_{jk-k} – погонная емкость подверженного влиянию проводника по отношению к земле, Ф/км; l_c – длина параллельного сближения, км; l_j – длина подверженного влиянию проводника, км; S_3 – коэффициент экранирования при электростатическом влиянии.

Определение ЭСН становится очень важным в тех случаях, когда проводник, подверженный электрическому влиянию со стороны действующей ВЛ, заземлен на достаточно большое по величине сопротивление заземления $R_{\text{заз}}$ или совсем не имеет контакта с землей. При таких условиях электростатическая составляющая может достигать весьма больших значений. Если же отключенный провод заземлен на какое-либо конечное сопротивление (0,5; 5; 10; 30 Ом), то величина ЭСН значительно снижается и определяется как падение напряжения на данном сопротивлении $R_{\text{заз}}$ от протекания емкостного тока.

Тема 6.3. Результирующее значение наведенного напряжения

Результирующая величина УНН в каждой точке подверженного влиянию проводника складывается из электромагнитной и электростатической составляющих:

$$U_{\Sigma} = \sqrt{E_{jk}^2 + U_{jk}^2}. \quad (6.7)$$

При этом для коротких линий ЭМН изменяется при перемещении вдоль проводника, а ЭСН остается практически постоянной в любой его точке (рис. 6.3).

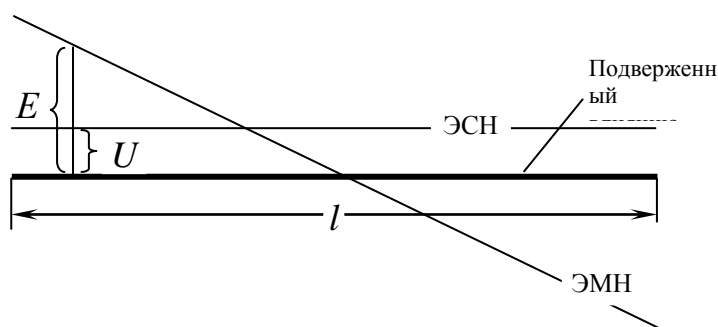


Рис. 6.3. Эюры распределения ЭСН и ЭМН вдоль подверженного влиянию проводника

Тема 6.4. Проблема наведенных напряжений в электрических сетях

При прикосновении к незаземленным металлическим предметам, сельскохозяйственным машинам и транспортным средствам, находящимся в зоне электромагнитного влияния действующих электроустановок высокого напряжения, человек может подвергнуться воздействию кратковременных разрядов. В этом случае он оказывается включенным в электрическую цепь и по нему начинает протекать электрический ток, величина которого зависит от множества различных факторов и в некоторых ситуациях

может превышать безопасные значения. Повышенную опасность представляют собой касания к металлическим конструкциям большой протяженности (проводам, металлическим ограждениям, трубопроводам и т.д.). Это обстоятельство объясняется прямой зависимостью уровня наведенного напряжения (УНН) от длины параллельного сближения подверженного влиянию проводника и действующей ВЛ. Наибольшей опасности, с этой точки зрения, подвергаются члены строительно-монтажных бригад и обслуживающий персонал, проводящие строительные, монтажные и ремонтные работы на смежных устройствах, находящихся под наведенным напряжением, т.к. большинство операций в этом случае связано с непосредственным прикосновением к металлическим проводникам.

Опыт эксплуатации ВЛ 35...750 кВ свидетельствует о том, что при определенных условиях на протяженных металлических конструкциях, находящихся вблизи действующей ВЛ, возможно появление опасных для жизни потенциалов даже при заземлении таких конструкций в полном соответствии с требованиями Правил техники безопасности. Так, например, на проводах (тросах) строящихся (отключенных) ВЛ 110...750 кВ в электрических сетях России и Украины даже при нормальных режимах работы электрической сети величина наведенного напряжения на отдельных ВЛ превышает допустимое значение напряжения прикосновения, принятое отечественным стандартом равным 25 В, и напряженность поля значительно превышает допустимую – 5 кВ/м (табл. 8.2). В связи с повышенной опасностью поражения персонала электрическим током такие ВЛ выделяются в отдельную группу и считаются находящимися в зоне *усиленного действия* наведенного напряжения.

Ряд несчастных случаев с летальным исходом, имевших место в отечественных электрических сетях при строительстве, ремонте и текущей эксплуатации ВЛ, находящихся в зоне наведенного напряжения, потребовал пересмотра отношения к проблеме обеспечения биоэлектромагнитной совместимости при производстве работ на таких ВЛ.

Эта проблема остается актуальной, несмотря на то что в последнее время в отечественных и зарубежных ЭЭС достаточно широко используется система ремонтов и технического обслуживания ВЛ 35...750 кВ без снятия напряжения. Она позволяет сохранять нормальный режим работы электрических сетей, обеспечивая при этом их высокую надежность. Однако применение данной, безусловно, прогрессивной системы в условиях реальной эксплуатации электрических сетей и в электросетевом строительстве сопряжено со значительными трудностями, обусловленными тем, что работы без снятия напряжения охватывают достаточно ограниченные технологические операции на проводах, изоляторах, арматуре и других элементах ВЛ. Кроме того, серьезным препятствием для использования этой системы являются и погодные условия. Работы на линиях электропередачи без снятия напряжения можно проводить лишь при таких метеорологических условиях, которые не создают опасности внезапного повышения напряжения.

Тема 6.5. Способы снижения наведенных напряжений

В связи с вышеизложенным перед отечественными и зарубежными энергетиками остро встает вопрос о необходимости достоверной оценки электромагнитных влияний воздушных линий высокого и сверхвысокого напряжения на смежные устройства с последующей разработкой безопасных для здоровья человека условий производства работ, а также с обеспечением нормального функционирования электрооборудования в реальной электрической сети.

Работы на смежных устройствах, находящихся в зоне наведенного напряжения и подверженных электромагнитному влиянию действующих высоковольтных ВЛ, требуют эффективного заземления этих устройств, что позволит обеспечить безопасные условия для производства работ на данных объектах. Наиболее остро эта проблема встает при строительстве и ремонте воздушных линий, особенно в тех ситуациях, когда отключенная цепь находится на одной опоре с действующей цепью, а также при прокладке кабеля волоконно-оптической связи по грозозащитному тросу действующей ВЛ. В таких случаях

отключенные проводники ближе всего находятся от проводов ВЛ, по которым протекает переменный ток.

При заземлении отключенного провода ВЛ, находящегося под наведенным напряжением, на отдельные заземлители происходит перенос потенциала с провода на вход заземлителя. Возникающая при стекании тока в землю разность потенциалов между отдельными точками зоны его растекания может достигать значений, представляющих опасность для человека. В связи с этим при работе на отключенных (строящихся) ВЛ, находящихся в зоне электромагнитного влияния, снижение УНН на рабочем месте до допустимой величины 25 В обеспечивается по схемам заземления ВЛ, которые осуществляются с помощью подстанционного или базового заземления, а в ряде случаев – специального заземления. Помимо указанных заземлений на рабочих местах на ЛЭП могут устанавливаться также линейные заземлители.

В соответствии с этим, согласно Правилам по охране труда, при работах на ВЛ под наведенным напряжением принимаются следующие схемы заземления.

Схема № 1: ВЛ заземлена с обоих концов на подстанционное заземление (рис. 6.5).

Заземление линии на её концах жестко фиксирует потенциальную характеристику, и положение точки нулевого потенциала зависит от значений сопротивлений заземляющих устройств на подстанции I (ПС_I) и подстанции II (ПС_{II}) и определяется по формуле

$$X'_0 = \frac{l_c R_{31}}{R_{31} + R_{32}} . \quad (6.8)$$

При этом точка нулевого потенциала смещается в сторону меньшего из сопротивлений заземляющих устройств (см. рис. 6.5, б).

Схема № 2: ВЛ на одном конце разземлена, а на другом конце заземлена на подстанционное заземление (см. рис. 6.5, в).

Схема № 3: ВЛ разземлена с обоих концов и заземлена на рабочем месте на базовое заземление. Это освобождает потенциальную характеристику от жесткой связи с землей на подстанциях. Точка нулевого потенциала совпадает с местом установки заземления. При смещении точки заземления по линии от *a* к *x* потенциалы точек *a* и *x* изменяются (рис. 8.5, з):

$$U_a = \frac{E l_1}{l_1 + l_2} ; \quad U_x = E - E \frac{l_1}{l_1 + l_2} . \quad (6.9)$$

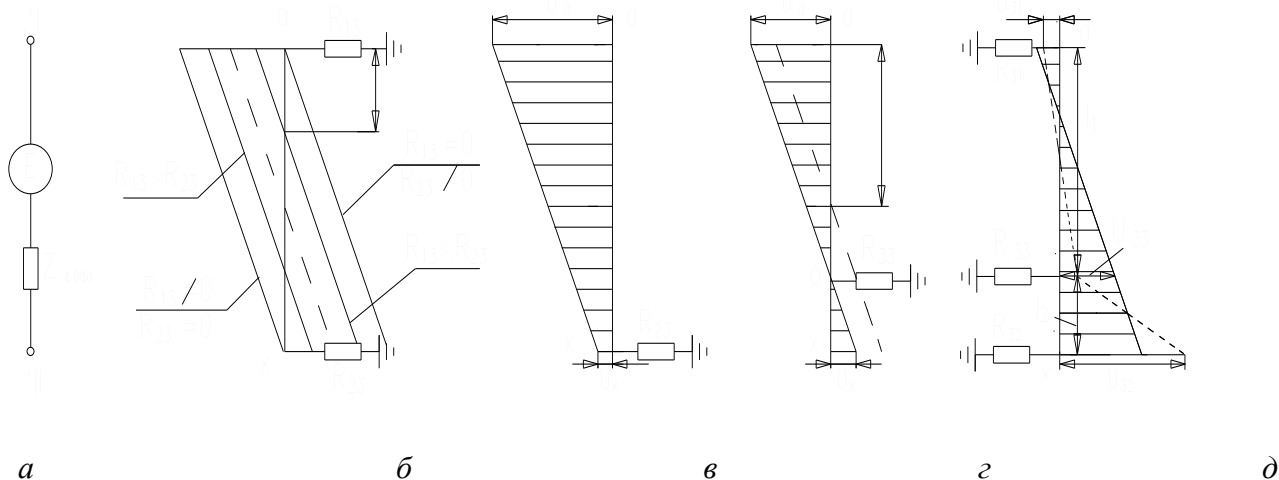


Рис. 6.5. Потенциальные характеристики провода отключенной ВЛ, находящейся в зоне электромагнитного влияния действующей ЛЭП

Основным недостатком схемы № 3 является проблема заземления ВЛ на базовый заземлитель, связанная с переходом от одного рабочего места к другому, а также с надежностью базового заземления: выход его из строя переводит линию в режим разземленной ВЛ, в результате чего значение наведенного напряжения за счет электростатической составляющей может достигать нескольких кВ.

Еще один вариант заземления ВЛ, находящейся под наведенным напряжением, – *схема № 4*: ВЛ заземляется по схеме № 1 или № 2 и в одном или нескольких местах заземляется на специальное заземление (см. рис. 6.5, д).

В данном случае потенциалы точек a и x относительно земли определяют как падение напряжения на заземлителях R_{31} и R_{32} от протекания тока, циркулирующего в контуре:

$$U_{31} = \frac{E R_{31}}{\sqrt{R_0 l + R_{31} + R_{32}}^2 + X_0 l^2}; \quad (6.10)$$

$$U_{32} = \frac{E R_{32}}{\sqrt{R_0 l + R_{31} + R_{32}}^2 + X_0 l^2}, \quad (6.11)$$

где R_0 и X_0 – соответственно активное и реактивное сопротивление на единицу длины провода.

Положение точки нулевого потенциала находят по формуле

$$X_0 = \frac{R_{31} \left(l + l_1 \frac{R_{32}}{R_{33}} \right)}{R_{31} + R_{32} + \frac{R_{31} R_{32}}{R_{33}}}, \quad (6.12)$$

где l_1 – расстояние до рабочего места от ПСИ; R_{33} – сопротивление заземляющего устройства на месте работ.

Применение схемы заземления № 4 позволяет существенно расширить области применения схем № 1 и № 2 и одновременно ограничить применение схемы № 3. Предлагаемая схема № 4 позволяет снизить УНН до безопасного значения по всей длине линии или по меньшей мере на отдельных её участках. В этом случае работы могут производиться с применением обычных средств защиты. В практическом отношении использование схемы № 4 не представляет особых затруднений. Специальное заземление ВЛ 110 кВ и выше осуществляется на систему «трос-опора», а ВЛ с изолированным тросом – на заземляющее устройство одной или нескольких опор с предварительным шунтированием искровых промежутков.

Если вышеприведенные схемы заземления не позволяют снизить УНН до безопасной величины, то определенным выходом является способ, связанный с сокращением длины параллельного сближения l_c . Как видно из расчетных формул (6.1) и (6.5), электромагнитная и электростатическая составляющие наведенного напряжения зависят прямо пропорционально от длины параллельного сближения. Таким образом, уменьшая l_c , мы снижаем УНН.

В практической деятельности, например, при ремонте отключенных ВЛ сокращение длины параллельного сближения может достигаться путем разрыва проводов в шлейфах анкерных опор. Применение этого способа позволяет в большинстве случаев значительно снизить УНН и достичь его безопасного значения.

Тема 6.6. Способы и средства оценки наведенных напряжений

6.6.1. Определение УНН с помощью прямых измерений

Наведённое напряжение на проводе определяют с помощью измерительного прибора, заземлённого на опоре (спуске, заземлителе), относительно точки нулевого потенциала, расположенной на расстоянии 15...20 м от места заземления провода (рис. 6.6).

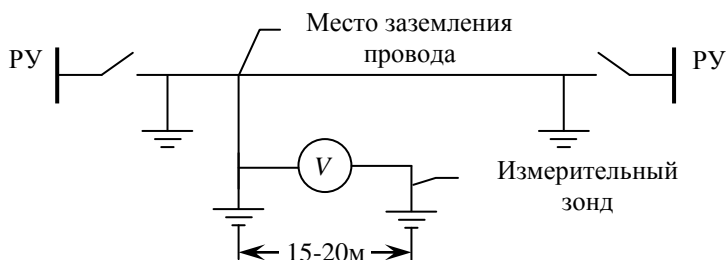


Рис. 6.6. Схема измерения наведенного напряжения на проводе отключенной ВЛ

Измерения производят на земле, без подъёма на высоту, два работника с группой по электробезопасности не ниже IV, один из которых обеспечивает присоединение измерительного прибора к месту заземления провода (к опоре, спуску, заземлителю), другой производит отсчёт показаний прибора и при необходимости переключения на нём пределов измерений. Оба работника должны работать в диэлектрических перчатках и диэлектрических ботах (для защиты от шагового напряжения).

Измерения в каждом месте их проведения выполняют в следующем порядке.

На расстоянии 15...20 м от места заземления провода устанавливают измерительный зонд (в точке нулевого потенциала). Он может быть размещён в любом направлении относительно опоры (спуска, заземлителя). Глубина его погружения в грунт – не менее 0,5 м.

К измерительному зонду с помощью изолированного провода присоединяют измерительный прибор. Для этого используют гибкий медный провод сечением не менее 1 мм² с изоляцией, рассчитанной на напряжение 2,5 кВ. На приборе устанавливают верхний предел измерения.

К измерительному прибору также с помощью изолированного провода с изоляцией, рассчитанной на напряжение не менее 2,5 кВ, присоединяют изолирующую штангу, предназначенную для работы в электроустановках напряжением 2...15 кВ. В качестве изолирующей штанги могут быть использованы: штанга для наложения заземления, оперативная штанга и другие типы изолирующих штанг.

Один из работников, выполняющих измерения, производит касание изолирующей штангой опоры (спуска, заземлителя), на которой заземлён провод (рис. 10.7). Место касания штангой элемента опоры должно быть предварительно, еще до заземления провода в месте измерения, очищено от краски.

Другой работник в этот же момент фиксирует по измерительному прибору факт превышения или не превышения установленного диапазона измерения.

В случае если стрелка прибора зашкаливает, необходимо незамедлительно отсоединить изолирующую штангу от заземленной опоры (спуска, заземлителя), затем заменить измерительный прибор другим прибором, с большим пределом измерения, после чего снова коснуться изолирующей штангой опоры (спуска, заземлителя) и убедиться в том, что показание находится в диапазоне измерения прибора.

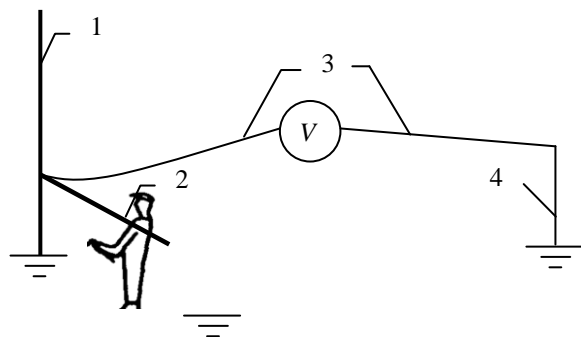


Рис. 6.7. Схема подсоединения измерительного прибора к месту заземления провода ВЛ:

- 1 – опора (заземлитель); 2 – изолирующая штанга;
- 3 – изолированные провода; 4 – измерительный зонд

Снятие показаний по измерительному прибору должно производиться при устойчивом касании измерительной штангой опоры (спуска, заземлителя). При необходимости переключения предела измерения прибора следует сначала отсоединить изолирующую штангу (а следовательно, и прибор) от заземлённого элемента и лишь затем переключить предел измерения.

Отсоединение измерительного прибора производится после отсоединения изолирующей штанги от места заземления провода.

По окончании измерения в одном месте ВЛ и переезде на другое место заземление в месте произведённого измерения должно быть снято и установлено на новом месте измерения.

6.6.2. Расчетный способ оценки УНН

Данные многочисленных исследований свидетельствуют о том, что определение УНН путем прямых измерений в реальных электрических сетях провести достаточно сложно, а в ряде случаев и невозможно. Объясняется это как трудностью проведения самих измерений в полевых условиях, так и сложностью пересчета результатов измерения наведенного напряжения к режиму наибольших нагрузок влияющих ВЛ. Тем более, что при двух и большем количестве влияющих ВЛ такой пересчет сделать крайне затруднительно, так как для этого необходимо знать доленое участие каждой влияющей ВЛ в формировании измеренного значения наведенного напряжения. Кроме того, в электросетевом строительстве часто значения ожидаемых УНН необходимо знать еще до начала строительства – на стадии проектирования. Поэтому для получения достоверной информации о величине наведенного напряжения на смежном устройстве, подверженном электростатическому и электромагнитному влиянию от одной или нескольких действующих ВЛ, проходящих в непосредственной близости от него, необходимы эффективные методики и алгоритмы расчета УНН, которые бы достаточно полно учитывали особенности сложных электрических сетей.

В настоящее время для оценки УНН от высоковольтных ВЛ применяются несколько известных программно-вычислительных комплексов: «Расчет наведенных напряжений на линиях электропередачи» (г. Киев); «Sky-EF», «L-Field», «Field» Московского энергетического института; ПВК «NAVODKA-2002» БрГУ; «Программа расчёта магнитных полей высоковольтных ЛЭП» (г. Суздаль).

ПВК «NAVODKA-2002», разработанный на кафедре систем электроснабжения Братского государственного университета, позволяет рассчитать значения УНН на смежных ВЛ при электромагнитном влиянии действующих ВЛ любого класса напряжения с учетом несинусоидальных и несимметричных режимов работы электрических сетей.

ПВК реализует возможность проведения массовых расчетов для всех возможных схем взаимного расположения влияющих ВЛ и подверженных влиянию устройств:

- смежное устройство расположено между действующими ВЛ;
- смежное устройство расположено между действующими ВЛ, часть из которых отключена;
- смежное устройство расположено вне коридора действующих ВЛ.

4.3. Лабораторные работы

Учебным планом не предусмотрено

4.4. Практические занятия

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Наименование тем практических занятий</i>	<i>Объем (час.)</i>	<i>Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах (час.)</i>
1	2.	Оценка уровней излучения от сотовых телефонов	2	-
2	2.	Оценка электромагнитных влияний сверхвысоких частот	2	-
3	5.	Изучение приборов для оценки электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики	4	-
4	6.	Оценка электрических и магнитных полей, создаваемых воздушными линиями высокого и сверхвысокого напряжения	13	разбор конкретных ситуаций (2час.)
5	6.	Расчет уровней наведенных напряжений от высоковольтных линий электропередач на смежные устройства	13	разбор конкретных ситуаций (2час.)
ИТОГО			34	4

4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат

Учебным планом не предусмотрено.

5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

<i>№, наименование разделов дисциплины</i>	<i>Кол-во часов</i>	<i>Компетенции</i>		<i>Σ комп.</i>	<i>t_{ср}, час</i>	<i>Вид учебных занятий</i>	<i>Оценка результатов</i>
		<i>ОПК</i>	<i>ПК</i>				
		2	13				
1	2	3	4	5	6	7	8
1.Основные понятия и определения	11	+	+	2	5,5	Лк, СРС	зачет
2.Источники электромагнитных помех	16	+	+	2	8	Лк, ПЗ, СРС	зачет
3.Виды связей и способы их ослабления	13	+	+	2	6,5	Лк, СРС	зачет
4.Методика определения электромагнитной обстановки на объектах связи	11	+	+	2	5,5	Лк, СРС	зачет
5.Способы и средства снижения помех	15	+	+	2	7,5	Лк, ПЗ, СРС	зачет
6.Проблема наведенных напряжений от высоковольтных ЛЭП	42	+	+	2	21	Лк, ПЗ, СРС	зачет
всего часов	108	54	54	2	54		

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Яковкина, Т. Н. Электромагнитная совместимость электросилового оборудования систем электроснабжения: учебное пособие / Т. Н. Яковкина, А. В. Струмеляк. - Братск : БрГУ, 2015. - 103 с.

7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	Наименование издания	Вид занятия	Количество экземпляров в библиотеке, шт.	Обеспеченность, (экз./ чел.)
1	2	3	4	5
Основная литература				
1.	Яковкина, Т. Н. Электромагнитная совместимость электросилового оборудования систем электроснабжения : учебное пособие / Т. Н. Яковкина, А. В. Струмеляк. - Братск : БрГУ, 2015. - 103 с.	Лк, ПЗ	23	1
Дополнительная литература				
2.	Яковкина, Т. Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: учебное пособие / Т. Н. Яковкина, А. В. Струмеляк. - Братск : БрГУ, 2014. - 152 с..	Лк, ПЗ	47	1
3.	Артюхов, И. И. Электромагнитная совместимость и качество электроэнергии [Электронный ресурс]: учебное пособие / И. И. Артюхов. - Волгоград: ВолгГТУ, 2015. - 124 с. - ISBN 978-5-9948-1738-4 Режим доступа: http://ecat.brstu.ru/catalog/Ресурсы%20свободного%20до%20ста/Артюхов%20И.И.Электромагнитная%20совместимость%20и%20качество%20электроэнергии.Уч.пособие.2015.pdf	Лк, ПЗ	1+ЭР	1
4.	Курбацкий, В. Г. Качество электроэнергии и электромагнитная совместимость технических средств в электрических сетях : учебное пособие / В. Г. Курбацкий. - Братск : БрГТУ, 1999. - 219 с.	Лк, ПЗ	45	1

8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО - ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Электронный каталог библиотеки БрГУ http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r_15/cgiirbis_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=.
2. Электронная библиотека БрГУ <http://ecat.brstu.ru/catalog> .
3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online» <http://biblioclub.ru> .
4. Электронно-библиотечная система «Издательство «Лань» <http://e.lanbook.com> .
5. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" <http://window.edu.ru> .
6. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <http://elibrary.ru> .
7. Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ) <https://uisrussia.msu.ru/> .
8. Национальная электронная библиотека НЭБ <http://xn--90ax2c.xn--p1ai/how-to-search/> .

9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ/практическим работам

Практическое занятие № 1 Оценка уровней излучения от сотовых телефонов

Цель работы:

Измерение плотности потока энергии сотовых телефонов различных марок.

Задание:

1. Изучить технические характеристики и принцип действия измерителя электромагнитного поля Актаком АТТ-2593;
2. Измерить плотность потока энергии своего сотового телефона

Порядок выполнения:

1. Ознакомиться с принципом действия прибора Актаком АТТ-2593 и методикой измерения высокочастотных излучений.
2. Измерить плотность потока энергии своего сотового телефона (ППЭ), мкВт/см² для трех случаев:
 - режим ожидания (непосредственно около телефона и на расстоянии 30 см от телефона);
 - режим вызова (непосредственно около телефона);
 - режим разговора (непосредственно около телефона).
3. Сравнить полученные результаты с требованиями СанПиН (табл.).

Таблица

Предельно допустимые уровни электрической напряженности и уровни плотности потока энергии

Продолжительность воздействия, Т, ч	Диапазон частот / Единица измерения	
	50 МГц-300 МГц /Е _{ПДУ} , В/м	300 МГц-300 ГГц /ППЭ _{ПДУ} , мкВт/см ²
1	2	3
8,0 и более	10	25
7,5	10	27
7,0	11	29
6,5	11	31
6,0	12	33
5,5	12	36
5,0	13	40
4,5	13	44
4,0	14	50
1	2	3
3,5	15	57
3,0	16	67
2,5	18	80
2,0	20	100
1,5	23	133
1,0	28	200
0,5	40	400
1	2	3
0,25	57	800
0,125 (для Е _{ПДУ})/0,2 (для ППЭ _{ПДУ}) и менее	80	1000

4. На основании сравнения показаний прибора и значений, приведенных в таблице, определить, сколько времени безопасно находиться в месте, где проводятся измерения.
5. Сделать выводы.

Форма отчетности:

Результаты измерений оформляются в форме отчета.

В отчет по практическому занятию вносится:

1. Краткая характеристика прибора Актаком АТТ-2593, модель исследуемого сотового телефона;
2. Результаты измерений;
3. Выводы и анализ полученных результатов.

Задания для самостоятельной работы:

Изучить теоретический материал по темам раздела 3.

Основная литература: [1]

Дополнительная литература: [2, 3].

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Пояснить принцип действия измерителя электромагнитного поля Актаком АТТ-2593;
2. Как изменяется электромагнитное излучение сотового телефона в зависимости от режима работы (режимы ожидания, дозвона, разговора)?
3. Какие нормы существуют для плотности потока энергии, излучаемой сотовыми телефонами?
4. Какое влияние на человека оказывают электромагнитные излучения сотовых телефонов?

Практическое занятие № 2

Оценка электромагнитных влияний сверхвысоких частот

Цель работы:

Изучение характеристик ЭМП СВЧ и УВЧ, а также методики проведения измерения напряженностей СВЧ и УВЧ поля в производственных помещениях.

Задание:

1. Изучить технические характеристики и принцип действия измерителя электромагнитного поля Актаком АТТ-2593;
2. Измерить напряженность электромагнитного поля в местах, указанных преподавателем.

Порядок выполнения:

1. Измерить напряженность электромагнитного поля без экрана в местах, указанных преподавателем.
2. Измерить напряженность электромагнитного поля за сетчатым экраном.
3. Измерить напряженность электромагнитного поля за экраном из стального листа.
4. С помощью формулы:

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E_2}$$

где ε - эффективность экранирования; E_0 - напряженность поля до экранирования; E_2 - напряженность поля после экранирования;

оценить эффективность экранирования рассмотренных видов экранов.

5. Сделать выводы по работе.

Форма отчетности:

Результаты измерений оформляются в форме отчета.

В отчет по практическому занятию вносится:

1. Краткая характеристика прибора Актаком АТТ-2593,
2. Результаты измерений;
3. Выводы и анализ полученных результатов.

Задания для самостоятельной работы:

Изучить теоретический материал по темам разделов 2 и 3.

Основная литература: [1]

Дополнительная литература: [2, 3].

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Привести основные диапазоны электромагнитных излучений.
2. От чего зависит степень облучения работников?
3. Каковы предельно-допустимые уровни электромагнитных излучений УВЧ и СВЧ полей на рабочих местах?
4. Как определить эффективность экранирования электромагнитных излучений?
5. Привести методику проведения измерения напряженностей СВЧ и УВЧ поля в производственных помещениях.

Практическое занятие № 3

Изучение приборов для оценки электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики

Цель работы:

Ознакомление с отечественными приборами, используемыми для оценки электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики

Задание:

Изучить технические характеристики и принцип действия основных приборов отечественного производства, которые позволяют произвести оценку ЭМО:

- измерительного комплекса (ИК) «ПЗ-50В»;
- измерителя электромагнитного поля Актаком АТТ-2593;
- измерительного комплекса «ВЕ-МЕТР-АТ-002»;
- комплекса Циклон-05М.

Порядок выполнения:

1. Изучить особенности и принцип действия ИК «ПЗ-50», ИК «Циклон-05М» и измерителя электромагнитного поля Актаком АТТ-2593 .
2. С помощью изученных приборов измерить уровни напряженности электрических и магнитных полей, создаваемых электрооборудованием в лаборатории «Техника высоких напряжений».
3. Проанализировать полученные результаты.

Форма отчетности:

Результаты измерений оформляются в форме отчета.

В отчет по практическому занятию вносится:

1. Краткие характеристики приборов;
2. Результаты измерений;
3. Вывод и анализ полученных результатов.

Задания для самостоятельной работы:

Изучить теоретический материал по теме 2.1 раздела 2.

Основная литература: [1]

Дополнительная литература: [2, 3].

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Пояснить принцип действия измерительного комплекса (ИК) «ПЗ-50В»;
2. Пояснить принцип действия измерителя электромагнитного поля Актаком АТТ-2593;
3. Пояснить принцип действия измерительного комплекса «ВЕ-МЕТР-АТ-002»;
4. Пояснить принцип действия комплекса Циклон-05М.

Практическое занятие № 4

Оценка электрических и магнитных полей, создаваемых воздушными линиями высокого и сверхвысокого напряжения

Цель работы:

Изучение электромагнитных полей, создаваемых действующим электрооборудованием высокого и сверхвысокого напряжения; оценка их уровней, механизма и степени их

негативного влияния на биологические организмы и смежные технические объекты.

Задание:

3. Изучить технические характеристики и принцип действия измерительного комплекса ИК «ПЗ-50»;
4. Произвести измерения электромагнитных полей действующих ВЛ 220, 500кВ филиала ОАО «ИЭСК» СЭС;
5. Изучить нормативы по электромагнитным полям (ГОСТы и СанПиН);
6. Проанализировать полученные результаты;
7. Сделать соответствующие результатам выводы по возможности и продолжительности пребывания человека в зоне ЭМП исследуемых ВЛ.

Порядок выполнения:

1. Ознакомиться с принципом действия ИК «ПЗ-50В» и методикой измерения.
2. С помощью прибора «ПЗ-50В» произвести измерения напряженностей ЭП и МП промышленной частоты под проводами действующих ВЛ 220кВ и 500кВ филиала ОАО «ИЭСК» СЭС в точках указанных преподавателем. Отсчет напряженностей электрического и магнитного полей производится в положении измерительной антенны на высоте 1м и 1,8 м над уровнем земли. В местах пересечения автомобильных дорог с ВЛ измерения проводятся на высоте 1,8 и на высоте 3 м от поверхности земли. Измерения напряженности производятся в трех проекциях.
3. Заполнить таблицы результатов измерений

Таблица 4.1

Протокол измерения электрического поля промышленной частоты

Напряжение действующей ВЛ, кВ	№ точки измерения	Расстояние от оси ВЛ, м	Высота точки измерения, м	Предел измерения	Показания прибора			Измеренная напряженность E , кВ/м
					E_x	E_y	E_z	
	1	0	1					
			1.8					
	2	3	1.8					
	3	6	1					
			1.8					
	4	9	1.8					
	5	12	1					
			1.8					
	6	15	1.8					
	7	18	1					
			1.8					
	8	21	1.8					
	9	24	1					
			1.8					

Таблица 4.2

Протокол измерения магнитного поля промышленной частоты

Напряжение действующей ВЛ, кВ	№ точки измерения	Расстояние от оси ВЛ, м	Высота точки измерения, м	Предел измерения	Показания прибора			Измеренная напряженность H , кВ/м
					H_x	H_y	H_z	
	1	0	1					
			1.8					
	2	3	1.8					
	3	6	1					
			1.8					
	4	9	1.8					
	5	12	1					
			1.8					

	6	15	1.8					
	7	18	1					
			1.8					
	8	21	1.8					
	9	24	1					
			1.8					

4. Произвести расчет напряженностей ЭП для всех контрольных точек.
5. Произвести расчет напряженностей МП для всех контрольных точек.
6. Построить эпюры распределения напряженностей измеренных ЭП для двух высот (1м и 1,8 м) на одной системе координат.
7. Построить эпюры распределения напряженностей измеренных МП для двух высот (1м и 1,8 м) на одной системе координат.
8. Сравнить результаты с требованиями ГОСТ 12.1.002-84 ССТБ «Система стандартов безопасности труда. Электрические поля промышленной частоты. Сделать соответствующие выводы.

Форма отчетности:

Результаты измерений оформляются в форме отчета.

В отчет по практическому занятию вносится:

1. Краткие теоретические сведения;
2. Результаты измерений;
3. Эпюры распределения напряженностей измеренных ЭП и МП для двух высот (1м и 1,8 м)
4. Выводы и анализ полученных результатов.

Задания для самостоятельной работы:

Изучить теоретический материал по теме 2.1 раздела 2, теме 4.1 раздела 4.

Основная литература: [1]

Дополнительная литература: [2, 3, 4].

Контрольные вопросы для самопроверки

1. От чего зависит электромагнитная обстановка на объектах электроэнергетики?
2. Каковы признаки неблагоприятной электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики?
3. Как распределяются ЭМП под проводами действующих ВЛ в зависимости от типа опор?
4. Какие существуют требования по производству измерений ЭМП действующих электроустановок?
5. Какие предельно допустимые уровни ЭМП приняты для условий профессионального облучения?
6. Как определяется продолжительность пребывания человека в зоне ЭМП действующих электроустановок?

Практическое занятие № 5

Расчет уровней наведенных напряжений от высоковольтных линий электропередач на смежные устройства

Цель работы:

Изучить методики и средства оценки уровней наведенных напряжений от действующих ВЛ

Задание:

В соответствии с исходными данными, указанными преподавателем, произвести анализ УНН на проводах отключенной ВЛ, проходящей в непосредственной близости от действующей ВЛ, и разработать мероприятия по обеспечению безопасных условий производства работ под наведенным напряжением. В рамках этого задания необходимо:

1. Рассчитать величины электростатической, электромагнитной составляющих наведенного напряжения и их результирующую величину с помощью ПК «NAVODKA-2002». Сделать выводы по результатам расчетов.
2. Построить эпюры распределения ЭМН и ЭСН вдоль проводов отключенной ВЛ.
3. С помощью расчетов на ПК «NAVODKA-2002» проанализировать влияние величины сопротивления заземления на УНН. Подобрать величину сопротивления заземления, обеспечивающую безопасный уровень наведенных напряжений на месте производства работ.

4. С помощью расчетов на ПВК «NAVODKA-2002» проанализировать влияние длины параллельного сближения ВЛ на УНН. Подобрать длину параллельного сближения ВЛ, обеспечивающую безопасный уровень наведенных напряжений на месте производства работ.

5. Сделать выводы по всем результатам работы.

Порядок выполнения:

6. Изобразить в масштабе заданные преподавателем опоры отключенной и действующей ВЛ;

7. Определить габаритные размеры трассы параллельного сближения;

8. Рассчитать величины электростатической, электромагнитной составляющих наведенного напряжения и их результирующую величину с помощью ПВК «NAVODKA-2002».

9. Построить эпюры распределения ЭМН и ЭСН вдоль проводов отключенной ВЛ.

10. С помощью расчетов на ПВК «NAVODKA-2002» проанализировать влияние величины сопротивления заземления на УНН. Подобрать величину сопротивления заземления, обеспечивающую безопасный уровень наведенных напряжений на месте производства работ.

11. С помощью расчетов на ПВК «NAVODKA-2002» проанализировать влияние длины параллельного сближения ВЛ на УНН. Подобрать длину параллельного сближения ВЛ, обеспечивающую безопасный уровень наведенных напряжений на месте производства работ.

12. Сделать выводы по всем результатам работы

Форма отчетности:

Результаты работы оформляются в форме отчета.

Отчет по практическому занятию должен содержать:

1. Цель работы;

2. Краткие теоретические сведения;

3. Исходные данные для выполнения работы (задает преподаватель);

4. Рисунок с изображенными в масштабе опорами отключенной и действующей ВЛ;

5. Результаты расчетов;

6. Эпюры распределения ЭМН и ЭСН вдоль проводов отключенной ВЛ;

7. Выводы по работе.

Задания для самостоятельной работы:

Изучить теоретический материал по темам разделов 2,3,4.

Основная литература: [1]

Дополнительная литература: [2, 4] .

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Каков механизм возникновения наведенных напряжений от высоковольтных ЛЭП?

2. Чем обусловлено возникновение электромагнитной составляющей наведенного напряжения?

3. От чего зависит величина электромагнитной составляющей наведенного напряжения?

4. Чем обусловлено возникновение электростатической составляющей наведенного напряжения?

5. От чего зависит величина электростатической составляющей наведенного напряжения?

6. Как определяется результирующая величина наведенного напряжения?

7. В каких местах наведенное напряжение на проводах отключенной ВЛ будет максимальным?

8. В чем заключается проблема наведенных напряжений в электрических сетях?

9. Какие способы применяются для снижения наведенных напряжений на проводах отключенной ВЛ?

10. Какие вы знаете способы оценки наведенных напряжений? Перечислите их достоинства и недостатки.

10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. ОС Windows 7 Professional;
2. Microsoft Imagine Premium;
3. Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level;
4. Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Security;

11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

<i>ид занятия</i>	<i>Наименование аудитории</i>	<i>Перечень основного оборудования</i>	<i>№ ПЗ , №Лк</i>
1	2	3	4
Лк	Лекционная аудитория (1218)	Меловая или маркерная доска	-
ПЗ	Лекционная аудитория (1218)	Меловая или маркерная доска	-
СР	ЧЗ 3	Оборудование 15 ПК- CPU 5000/RAM 2Gb/HDD (Монитор TFT 19 LG 1953S-SF);принтер HP LaserJet P3005	-

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
ОПК-2	Способность решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением инфокоммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности	1. Основные понятия и определения	1.1. Электромагнитная обстановка на объектах связи	Вопросы к зачету 1-4
			1.2. Общая характеристика схем сетей связи	
			1.3. Технологические системы	
			1.4. Системы безопасности	
		2. Источники электромагнитных помех	2.1. Классификация источников помех	Вопросы к зачету 5-8
			2.2. Источники узкополосных помех	
			2.3. Источники широкополосных импульсных помех	
			2.4. Источники широкополосных переходных помех	
		3. Виды связей и способы их ослабления	3.1. Гальваническая связь	Вопросы к зачету 9-16
			3.2. Емкостная связь	
			3.3. Индуктивная связь	
			3.4. Электромагнитная связь длинных линий	
3.5. Помехи в кабелях связи, обусловленные электромагнитными воздействиями				
3.6. Типы ИБП и их структура				
3.7. Энергетические массивы				
3.8. Технические характеристики ИБП				
4. Методика определения электромагнитной обстановки на объектах связи	4.1. Нормирование электромагнитных полей для условий профессионального облучения	Вопросы к зачету 17-20		
	4.2. Нормирование электромагнитных полей для населения			
	4.3. Общие положения методики			
	4.4. Основные этапы проведения работ по определению электромагнитной обстановки			
5. Способы и средства снижения	5.1. Пассивные помехозащитные устройства	Вопросы к зачету 21-23		
	5.2. Электромагнитные экраны			
ПК-13	Способность осуществлять подготовку типовых технических проектов на различные инфокоммуникационные объекты			

		помех	5.3.Влияние электромагнитных полей на биоорганизмы	
		6. Проблема наведенных напряжений от высоковольтных ЛЭП	6.1.Магнитные влияния	Вопросы к зачету 24-29
			6.2.Электрические влияния	
			6.3.Результирующее значение наведенного напряжения	
			6.4.Проблема наведенных напряжений в электрических сетях	
			6.5.Способы снижения наведенных напряжений	
			6.6.Способы и средства оценки наведенных напряжений	

2. Вопросы к зачету

№ п/п	Компетенции		ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ	№ и наименование раздела
	Код	Определение		
1	2	3	4	5
1	ОПК-2	Способность решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационно й и библиографической культуры с применением инфокоммуникационных технологий и с учетом основных требований информационно й безопасности	1.Электромагнитная обстановка на объектах связи	1. Основные понятия и определения
			2.Общая характеристика схем сетей связи	
			3.Технологические системы	
			4.Системы безопасности	2. Источники электромагнитных помех
			5.Классификация источников помех	
			6.Источники узкополосных помех	
			7.Источники широкополосных импульсных помех	
			8.Источники широкополосных переходных помех	
			9.Гальваническая связь	
			10.Емкостная связь	3.Виды связей и способы их ослабления
	11.Индуктивная связь			
	12.Электромагнитная связь длинных линий			
	13.Помехи в кабелях связи, обусловленные электромагнитными воздействиями			
	14.Типы ИБП и их структура			
	15.Энергетические массивы			
	16.Технические характеристики ИБП			
	17.Нормирование электромагнитных полей для условий профессионального облучения	4 Методика определения электромагнитной обстановки на		
	18.Нормирование электромагнитных			
2	ПК-13	Способность осуществлять подготовку типовых технических проектов на различные инфокоммуникационные объекты		

		полей для населения	объектах связи
		19.Общие положения методики	
		20.Основные этапы проведения работ по определению электромагнитной обстановки	
		21.Пассивные помехозащитные устройства	5 Способы и средства снижения помех
		22.Электромагнитные экраны	
		23.Влияние электромагнитных полей на биоорганизмы	
		24.Магнитные влияния	6. Проблема наведенных напряжений от высоковольтных ЛЭП
		25.Электрические влияния	
		26.Результатирующее значение наведенного напряжения	
		27.Проблема наведенных напряжений в электрических сетях	
		28.Способы снижения наведенных напряжений	
		29.Способы и средства оценки наведенных напряжений	

3. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p>Знать (ОПК-2): - виды влияния сильноточных цепей на слаботочные цепи; методы расчёта электрических, магнитных и гальванических влияний; (ПК-13): - основные закономерности передачи информации в инфокоммуникационных системах, основные виды сигналов, используемых в телекоммуникационных системах, особенности передачи различных сигналов по каналам и трактам телекоммуникационных систем.</p> <p>Уметь (ОПК-2): – на основании теоретического и экспериментального исследования разрабатывать мероприятия по уменьшению опасных и мешающих влияний; (ПК-13): - формулировать основные технические требования к телекоммуникационным сетям и системам, оценивать основные</p>	зачтено	Студент должен показать знания основ электромагнитной совместимости предприятий отрасли инфокоммуникаций и систем электроснабжения.
	не зачтено	На вопросы студент отвечает неубедительно. На дополнительные вопросы преподавателя также не может ответить.

<p>проблемы, связанные с эксплуатацией и внедрением новой телекоммуникационной техники.</p> <p>Владеть (ОПК-2):</p> <p>– навыками применения физико-математического аппарата для оценки опасного и мешающего магнитного, электрического и гальванического влияний сильноточных цепей на смежные устройства;</p> <p>(ПК-13):</p> <p>- навыками компьютерного проектирования и расчета аналоговых, цифровых и микропроцессорных телекоммуникационных устройств.</p>		
--	--	--

4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности

Дисциплина Электромагнитная совместимость и управление частотным спектром направлена на формирование у студентов целостного представления об использовании радиочастотного спектра (РЧС), о методах электромагнитной совместимости (ЭМС) радиосистем фиксированной, подвижной и вещательной служб, радиосистем, расположенных на одном объекте, а также методах частотного планирования сетей подвижной связи и вещания. Дисциплина должна обеспечивать формирование фундамента подготовки будущих специалистов в области инфокоммуникационных технологий и систем связи.

Изучение дисциплины Электромагнитная совместимость и управление частотным спектром предусматривает:

- лекции,
- практические занятия,,
- самостоятельную работу студента,
- зачет.

В ходе освоения раздела 1 «Основные понятия и определения» студенты должны изучить следующие вопросы: электромагнитная обстановка на объектах связи, общая характеристика схем сетей связи, технологические системы, системы безопасности.

В ходе освоения раздела 2 «Источники электромагнитных помех» студенты должны изучить следующие вопросы: классификация источников помех, источники узкополосных помех, источники широкополосных импульсных помех.

В ходе освоения раздела 3 «Виды связей и способы их ослабления» студенты должны изучить следующие темы: гальваническая связь. емкостная связь. индуктивная связь, электромагнитная связь длинных линий., помехи в кабелях связи, обусловленные электромагнитными воздействиями.

В ходе освоения раздела 4 «Система общего электроснабжения» студенты должны изучить следующие вопросы: общие сведения о СГЭ, дизель-генераторные установки, устройства автоматического включения резерва, схема системы гарантированного электроснабжения здания.

В ходе освоения раздела 5 «Методика определения электромагнитной обстановки на объектах связи» студенты должны изучить следующие вопросы: нормирование

электромагнитных полей для условий профессионального облучения, нормирование электромагнитных полей для населения.

В ходе освоения раздела 6 «Проблема наведенных напряжений от высоковольтных ЛЭП» студенты должны изучить следующие вопросы: результирующее значение наведенного напряжения, способы снижения наведенных напряжений.

В процессе проведения практических работ происходит закрепление знаний, формирование умений и навыков расчета различных параметров электрических сетей.

Работа с литературой является важнейшим элементом в получении знаний по дисциплине. Прежде всего, необходимо воспользоваться списком рекомендуемой по данной дисциплине литературой. Дополнительные сведения по изучаемым темам можно найти в периодической печати и Интернете.

АННОТАЦИЯ
рабочей программы дисциплины
Электромагнитная совместимость и управление частотным спектром

1. Цель и задачи дисциплины

Дать студентам знания, необходимые для осуществления профессиональной деятельности в области технологий, средств и способов передачи и обмена информацией на расстоянии с помощью систем и устройств радиосвязи.

Задачами дисциплины является обеспечение целостного представления об использовании радиочастотного спектра (РЧС), о методах электромагнитной совместимости (ЭМС) радиосистем фиксированной, подвижной и вещательной служб, радиосистем, расположенных на одном объекте, а также методах частотного планирования сетей подвижной связи и вещания.

2. Структура дисциплины

2.1 Распределение трудоемкости по отдельным видам учебных занятий, включая самостоятельную работу: Лк – 17 часов, ПЗ – 34 часа, СРС – 57 часов.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 108 часов, 3 зачетные единицы.

2.2 Основные разделы дисциплины:

1. Основные понятия и определения
2. Источники электромагнитных помех
3. Виды связей и способы их ослабления
4. Методика определения электромагнитной обстановки на объектах связи
5. Способы и средства снижения помех
6. Проблема наведенных напряжений от высоковольтных ЛЭП

3. Планируемые результаты обучения (перечень компетенций)

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:
ОПК-2 - способность решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением инфокоммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности;

ПК-13 - способность осуществлять подготовку типовых технических проектов на различные инфокоммуникационные объекты.

4. Вид промежуточной аттестации: зачет.

**Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе
на 201__-201__ учебный год**

1. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие дополнения:

2. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие изменения:

Протокол заседания кафедры № _____ от « ____ » _____ 201__ г.,
(разработчик)

Заведующий кафедрой _____
(подпись)

(Ф.И.О.)

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО
КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
ОПК-2	Способность решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением инфокоммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности	1. Основные понятия и определения	1.1. Электромагнитная обстановка на объектах связи	Собеседование.
			1.2. Общая характеристика схем сетей связи	
			1.3. Технологические системы	
			1.4. Системы безопасности	
		2. Источники электромагнитных помех	2.1. Классификация источников помех	Собеседование.
			2.2. Источники узкополосных помех	
			2.3. Источники широкополосных импульсных помех	
			2.4. Источники широкополосных переходных помех	
		3. Виды связей и способы их ослабления	3.1. Гальваническая связь	Собеседование.
			3.2. Емкостная связь	
			3.3. Индуктивная связь	
			3.4. Электромагнитная связь длинных линий	
			3.5. Помехи в кабелях связи, обусловленные электромагнитными воздействиями	
			3.6. Типы ИБП и их структура	
			3.7. Энергетические массивы	
			3.8. Технические характеристики ИБП	
4. Методика определения электромагнитной обстановки на объектах связи	4.1. Нормирование электромагнитных полей для условий профессионального облучения	Собеседование		
	4.2. Нормирование электромагнитных полей для населения			
	4.3. Общие положения методики			
	4.4. Основные этапы проведения работ по определению электромагнитной обстановки			
5. Способы и средства снижения	5.1. Пассивные помехозащитные устройства	Собеседование.		
	5.2. Электромагнитные экраны			
ПК-13	Способность осуществлять подготовку типовых технических проектов на различные инфокоммуникационные объекты			

		помех	5.3.Влияние электромагнитных полей на биоорганизмы	
		6. Проблема наведенных напряжений от высоковольтных ЛЭП	6.1.Магнитные влияния	Собеседование.
			6.2.Электрические влияния	
			6.3.Результирующее значение наведенного напряжения	
			6.4.Проблема наведенных напряжений в электрических сетях	
			6.5.Способы снижения наведенных напряжений	
			6.6.Способы и средства оценки наведенных напряжений	

Вопросы для собеседования

Раздел 1. Основные понятия и определения

- 1.Электромагнитная обстановка на объектах связи
- 2.Общая характеристика схем сетей связи
- 3.Технологические системы
- 4.Системы безопасности

Раздел 2. Источники электромагнитных помех

- 1.Классификация источников помех
- 2.Источники узкополосных помех
- 3.Источники широкополосных импульсных помех
- 4.Источники широкополосных переходных помех

Раздел 3. Виды связей и способы их ослабления

- 1.Гальваническая связь
- 2.Емкостная связь
- 3.Индуктивная связь
- 4.Электромагнитная связь длинных линий
- 5.Помехи в кабелях связи, обусловленные электромагнитными воздействиями
- 6.Типы ИБП и их структура
- 7.Энергетические массивы
- 8.Технические характеристики ИБП

Раздел 4. Методика определения электромагнитной обстановки на объектах связи

- 1.Нормирование электромагнитных полей для условий профессионального облучения
- 2.Нормирование электромагнитных полей для населения
- 3.Общие положения методики
- 4.Основные этапы проведения работ по определению электромагнитной обстановки

Раздел 5. Способы и средства снижения помех

- 1.Пассивные помехозащитные устройства
- 2.Электромагнитные экраны
- 3.Влияние электромагнитных полей на биоорганизмы

Раздел 6. Проблема наведенных напряжений от высоковольтных ЛЭП

- 1.Магнитные влияния
- 2.Электрические влияния
- 3.Результирующее значение наведенного напряжения
- 4.Проблема наведенных напряжений в электрических сетях
- 5.Способы снижения наведенных напряжений
- 6.Способы и средства оценки наведенных напряжений

Программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки

11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи. Профиль Многоканальные телекоммуникационные системы от «б» марта 2015 г. №174

для набора 2018 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «12» марта 2018г. №130

Программу составил:

Игнатъев И.В. заведующий кафедрой УТС, доцент, к.т.н. _____

Рабочая программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры УТС

от «28» декабря 2018 г., протокол № 6

Заведующий кафедрой _____ И.В. Игнатъев

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий выпускающей кафедрой _____ И.В. Игнатъев

Директор библиотеки _____ Т.Ф. Сотник

Рабочая программа одобрена методической комиссией факультета ЭиА

от «28» декабря 2018 г., протокол № 5

Председатель методической комиссии факультета _____ А.Д.Ульянов

СОГЛАСОВАНО:

Начальник
учебно-методического управления _____ Г.П. Нежевец

Регистрационный № _____