

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра электроэнергетики и электротехники**

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной части

\_\_\_\_\_ Е.И. Луковникова

« \_\_\_\_\_ » декабря 2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ**

**Б1.В.ДВ.04.01**

**НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ**

**13.03.02 Электроэнергетика и электротехника**

**ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ  
Электроснабжение**

Программа академического бакалавриата

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

<b>1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>	<b>3</b>
<b>2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>	<b>4</b>
<b>3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ</b>	
3.1 Распределение объема дисциплины по формам обучения.....	4
3.2 Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости .....	5
<b>4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>5</b>
4.1 Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий .....	5
4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам .....	10
4.3 Лабораторные работы.....	84
4.4 Практические занятия.....	84
4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат.....	84
<b>5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>84</b>
<b>6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ</b>	<b>85</b>
<b>7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>85</b>
<b>8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО – ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>85</b>
<b>9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>86</b>
9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению практических занятий .....	86
<b>10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>	<b>89</b>
<b>11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>	<b>89</b>
<b>Приложение 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.....</b>	<b>90</b>
<b>Приложение 2. Аннотация рабочей программы дисциплины .....</b>	<b>96</b>
<b>Приложение 3. Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе .....</b>	<b>97</b>

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

## Вид деятельности выпускника

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

## Цель дисциплины

Целью изучения дисциплины является формирование знаний об электромагнитной совместимости различных устройств, применяемых на объектах электроэнергетики, влиянии силовых цепей на смежные устройства, в том числе на слаботочные цепи, к которым относятся линии связи и автоматики.

## Задачи дисциплины

Освоение методов оценки параметров электромагнитной совместимости технических средств в электрических сетях высокого и сверхвысокого напряжения, методов обеспечения электромагнитной совместимости.

Код компетенции	Содержание компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
1	2	3
ОПК-2	способность применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении экспериментальных задач	<b>знать:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- виды влияния силовоточных цепей на слаботочные цепи;</li><li>- методы расчёта электрических, магнитных и гальванических влияний;</li></ul> <b>уметь:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- на основании теоретического и экспериментального исследования разрабатывать мероприятия по уменьшению опасных и мешающих влияний;</li></ul> <b>владеть:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- навыками применения физико-математического аппарата для оценки опасного и мешающего магнитного, электрического и гальванического влияний силовоточных цепей на смежные устройства</li></ul>
ПК-7	готовность обеспечивать требуемые режимы и заданные параметры технологического процесса по заданной методике	<b>знать:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- нормы допустимых опасных и мешающих влияний;</li><li>- особенности экранирующего действия тросов, оболочек кабелей;</li><li>- механизм возникновения и воздействия электромагнитного импульса ядерного взрыва;</li><li>- принципы защиты от электромагнитных импульсов силовых и слаботочных цепей на объектах электроэнергетики;</li></ul> <b>уметь:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- обеспечить защиту от электромагнитных влияний на объектах электроэнергетики;</li></ul> <b>владеть:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- навыками расчёта режимов работы технологического оборудования, обеспечивающих электромагнитную совместимость</li></ul>

1	2	3
ПК-10	способность использовать правила техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда	<p><b>знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– основные правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок;</li> <li>– технические требования и нормы по охране труда;</li> </ul> <p><b>уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– формировать законченное представление об организации безопасного проведения работ в зоне электромагнитных влияний;</li> <li>– осуществлять непосредственное руководство работами в электроустановках любого напряжения,</li> <li>– чётко обозначать и излагать требования о мерах безопасности;</li> </ul> <p><b>владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками безопасного проведения работ в электроустановках, находящихся в зоне электромагнитных влияний;</li> <li>- навыками практического применения электротехнических средств при работе в зоне электромагнитных влияний действующих электроустановок.</li> </ul>

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина Б1.В.ДВ.04.01 Электромагнитная совместимость относится к элективной.

Дисциплина Электромагнитная совместимость базируется на знаниях, полученных при изучении таких учебных дисциплин, как: Теоретические основы электротехники, Электрические станции и подстанции, Техника высоких напряжений, Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах, Электрические и электронные аппараты, Приемники и потребители электрической энергии систем электроснабжения.

Основываясь на изучении перечисленных дисциплин, Электромагнитная совместимость представляет основу для преддипломной практики и подготовки к государственной итоговой аттестации

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 (проект), контрольная работа, реферат, РГР	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	8	108	60	48	-	12	48	-	зачет
Заочная	5	-	108	16	12	-	4	88	-	зачет
Заочная (ускоренное обучение)	3	-	108	16	12	-	4	88	-	зачет
Очно-заочная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

### 3.2. Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости

Вид учебных занятий	Трудо- емкость (час.)	в т.ч. в интерак- тивной, активной, иннова- ционной формах, (час.)	Распределение по семестрам, час
			8
<b>I. Контактная работа обучающихся с пре- подавателем (всего)</b>	60	15	60
Лекции (Лк)	48	15	48
Практические занятия (ПЗ)	12	-	12
<b>II. Самостоятельная работа обучающихся (СР)</b>	48	-	48
Подготовка к практическим занятиям	18	-	18
Подготовка к зачету	30	-	30
<b>III. Промежуточная аттестация зачет</b>	+	-	+
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	Трудоем- кость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и тру- доемкость; (час.)		
			учебные занятия		самостоя- тельная работа обучаю- щихся*
			лекции	практические занятия	
1	2	3	4	5	6
<b>1.</b>	<b>Основные понятия и определения</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>1</b>
1.1.	Электромагнитная обстановка на объектах электроэнергетики	1.5	1	-	0.5
1.2.	Общая характеристика схем сетей электроснабжения	1.5	1	-	0.5
<b>2.</b>	<b>Источники электромагнитных помех</b>	<b>11</b>	<b>6</b>	<b>-</b>	<b>5</b>
2.1.	Классификация источников помех	1.5	0,5	-	1
2.2.	Источники узкополосных помех	3	2	-	1
2.3.	Источники широкополосных импульсных помех	2.5	1,5	-	1
2.4.	Источники широкополосных переходных помех	4	2	-	2
<b>3.</b>	<b>Виды связей и способы их ослабления</b>	<b>15</b>	<b>9</b>	<b>-</b>	<b>6</b>
3.1.	Гальваническая связь	3	2	-	1
3.2.	Емкостная связь	3	2	-	1

1	2	3	4	5	6
3.3.	Индуктивная связь	3	2	-	1
3.4.	Электромагнитная связь длинных линий	2	1	-	1
3.5.	Помехи в кабелях связи, обусловленные электромагнитными воздействиями	4	2	-	2
<b>4</b>	<b>Нормирование электромагнитных полей</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>-</b>	<b>4</b>
4.1.	Нормирование электромагнитных полей для условий профессионального облучения	4	2	-	2
4.2.	Нормирование электромагнитных полей для населения	3	1	-	2
<b>5.</b>	<b>Методика определения электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики</b>	<b>14</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
5.1.	Общие положения	2	1	-	1
5.2.	Основные этапы проведения работ по определению электромагнитной обстановки	12	4	4	4
<b>6.</b>	<b>Способы и средства снижения помех</b>	<b>13</b>	<b>7</b>	<b>-</b>	<b>6</b>
6.1.	Пассивные помехозащитные устройства	8	5	-	3
6.2.	Электромагнитные экраны	5	2	-	3
<b>7.</b>	<b>Биоэлектромагнитная совместимость</b>	<b>9</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
7.1.	Влияние электромагнитных полей на биоорганизмы	6	2	2	2
7.2.	Защита человека от биологического действия электромагнитных полей	3	2	-	1
<b>8.</b>	<b>Проблема наведенных напряжений от высоковольтных ЛЭП</b>	<b>36</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>18</b>
8.1.	Магнитные влияния	8	2	2	4
8.2.	Электрические влияния	8	2	2	4
8.3.	Результирующее значение наведенного напряжения	1,5	0,5	-	1
8.4.	Проблема наведенных напряжений в электрических сетях	2	1	-	1
8.5.	Способы снижения наведенных напряжений	8	2	2	4
8.6.	Способы и средства оценки наведенных напряжений	2	1	-	1
8.7.	Работы на отключенной многоцепной ВЛ, находящейся под наведенным напряжением	6,5	3,5	-	3
	<b>ИТОГО</b>	<b>108</b>	<b>48</b>	<b>12</b>	<b>48</b>

- для заочной формы обучения:

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоёмкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоёмкость; (час.)		
			учебные занятия		самостоятельная работа обучающихся*
			лекции	практические занятия	
1	2	3	4	5	6
<b>1.</b>	<b>Основные понятия и определения</b>	<b>4.5</b>	<b>0.5</b>	-	<b>4</b>
1.1.	Электромагнитная обстановка на объектах электроэнергетики	2.25	0.25	-	2
1.2.	Общая характеристика схем сетей электроснабжения	2.25	0.25	-	2
<b>2.</b>	<b>Источники электромагнитных помех</b>	<b>15</b>	<b>1</b>	-	<b>14</b>
2.1.	Классификация источников помех	2.25	0.25	-	2
2.2.	Источники узкополосных помех	4.25	0.25	-	4
2.3.	Источники широкополосных импульсных помех	4.25	0.25	-	4
2.4.	Источники широкополосных переходных помех	4.25	0.25	-	4
<b>3.</b>	<b>Виды связей и способы их ослабления</b>	<b>12</b>	<b>1</b>	-	<b>11</b>
3.1.	Гальваническая связь	2.25	0.25	-	2
3.2.	Емкостная связь	2.25	0.25	-	2
3.3.	Индуктивная связь	2.25	0.25	-	2
3.4.	Электромагнитная связь длинных линий	2.25	0.25	-	2
3.5.	Помехи в кабелях связи, обусловленные электромагнитными воздействиями	3	-	-	3
<b>4</b>	<b>Нормирование электромагнитных полей</b>	<b>6.5</b>	<b>0.5</b>	-	<b>6</b>
4.1.	Нормирование электромагнитных полей для условий профессионального облучения	4.25	0.25	-	4
4.2.	Нормирование электромагнитных полей для населения	2.25	0.25	-	2
<b>5.</b>	<b>Методика определения электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики</b>	<b>13</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>10</b>
5.1.	Общие положения	2.25	0.25	-	2
5.2.	Основные этапы проведения работ по определению электромагнитной обстановки	10.75	0.75	2	8
<b>6.</b>	<b>Способы и средства снижения помех</b>	<b>11.5</b>	<b>1.5</b>	-	<b>10</b>
6.1.	Пассивные помехозащитные устройства	8	1	-	7
6.2.	Электромагнитные экраны	3.5	0.5	-	3
<b>7.</b>	<b>Биоэлектромагнитная совместимость</b>	<b>12</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>8</b>

1	2	3	4	5	6
7.1.	Влияние электромагнитных полей на биоорганизмы	5	1	-	4
7.2.	Защита человека от биологического действия электромагнитных полей	7	1	2	4
<b>8.</b>	<b>Проблема наведенных напряжений от высоковольтных ЛЭП</b>	<b>29.5</b>	<b>4.5</b>	<b>-</b>	<b>25</b>
8.1.	Магнитные влияния	4.5	0.5	-	4
8.2.	Электрические влияния	4.5	0.5	-	4
8.3.	Результирующее значение наведенного напряжения	1	-	-	1
8.4.	Проблема наведенных напряжений в электрических сетях	2.5	0.5	-	2
8.5.	Способы снижения наведенных напряжений	4.5	0.5	-	4
8.6.	Способы и средства оценки наведенных напряжений	2.5	0.5	-	2
8.7.	Работы на отключенной многоцепной ВЛ, находящейся под наведенным напряжением	10	2	-	8
	<b>ИТОГО</b>	<b>104</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>88</b>

- для заочной формы обучения (ускоренное обучение):

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)		
			учебные занятия		самостоятельная работа обучающихся*
			лекции	практические занятия	
1	2	3	4	5	6
<b>1.</b>	<b>Основные понятия и определения</b>	<b>4.5</b>	<b>0.5</b>	<b>-</b>	<b>4</b>
1.1.	Электромагнитная обстановка на объектах электроэнергетики	2.25	0.25	-	2
1.2.	Общая характеристика схем сетей электроснабжения	2.25	0.25	-	2
<b>2.</b>	<b>Источники электромагнитных помех</b>	<b>15</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>14</b>
2.1.	Классификация источников помех	2.25	0.25	-	2
2.2.	Источники узкополосных помех	4.25	0.25	-	4
2.3.	Источники широкополосных импульсных помех	4.25	0.25	-	4
2.4.	Источники широкополосных переходных помех	4.25	0.25	-	4
<b>3.</b>	<b>Виды связей и способы их ослабления</b>	<b>12</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>11</b>
3.1.	Гальваническая связь	2.25	0.25	-	2
3.2.	Емкостная связь	2.25	0.25	-	2
3.3.	Индуктивная связь	2.25	0.25	-	2

3.4.	Электромагнитная связь длинных линий	2.25	0.25	-	2
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
3.5.	Помехи в кабелях связи, обусловленные электромагнитными воздействиями	3	-	-	3
<b>4</b>	<b>Нормирование электромагнитных полей</b>	<b>6.5</b>	<b>0.5</b>	<b>-</b>	<b>6</b>
4.1.	Нормирование электромагнитных полей для условий профессионального облучения	4.25	0.25	-	4
4.2.	Нормирование электромагнитных полей для населения	2.25	0.25	-	2
<b>5.</b>	<b>Методика определения электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики</b>	<b>13</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>10</b>
5.1.	Общие положения	2.25	0.25	-	2
5.2.	Основные этапы проведения работ по определению электромагнитной обстановки	10.75	0.75	2	8
<b>6.</b>	<b>Способы и средства снижения помех</b>	<b>11.5</b>	<b>1.5</b>	<b>-</b>	<b>10</b>
6.1.	Пассивные помехозащитные устройства	8	1	-	7
6.2.	Электромагнитные экраны	3.5	0.5	-	3
<b>7.</b>	<b>Биоэлектромагнитная совместимость</b>	<b>12</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>8</b>
7.1.	Влияние электромагнитных полей на биоорганизмы	5	1	-	4
7.2.	Защита человека от биологического действия электромагнитных полей	7	1	2	4
<b>8.</b>	<b>Проблема наведенных напряжений от высоковольтных ЛЭП</b>	<b>29.5</b>	<b>4.5</b>	<b>-</b>	<b>25</b>
8.1.	Магнитные влияния	4.5	0.5	-	4
8.2.	Электрические влияния	4.5	0.5	-	4
8.3.	Результирующее значение наведенного напряжения	1	-	-	1
8.4.	Проблема наведенных напряжений в электрических сетях	2.5	0.5	-	2
8.5.	Способы снижения наведенных напряжений	4.5	0.5	-	4
8.6.	Способы и средства оценки наведенных напряжений	2.5	0.5	-	2
8.7.	Работы на отключенной многоцепной ВЛ, находящейся под наведенным напряжением	10	2	-	8
	<b>ИТОГО</b>	<b>104</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>88</b>

## 4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам

### Раздел 1. Основные понятия и определения

#### Тема 1.1. Электромагнитная обстановка на объектах электроэнергетики

Лекция проводится в интерактивной форме: лекция-беседа, лекция с разбором конкретных ситуаций (1 час).

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.

Таблица 1.1

Примеры повреждений и неправильной работы релейной защиты и автоматики из-за воздействия электромагнитных помех

События	Последствия	Причины
Коммутации в первичных цепях		
Коммутация разъединителем на ПС с элегазовым РУ	Повреждение электронного реле	Высокий уровень импульсных помех. Низкая помехоустойчивость реле
	Сбой в работе автоматики контроля плотности элегаза. Заблокировано управление выключателями 110кВ	Низкая помехоустойчивость аппаратуры
Коммутация выключателем 110 кВ на ПС с открытым РУ	Ложное отключение выключателя 220 кВ	Импульсные помехи в цепях оперативного тока

Окончание таблицы 1.1

События	Последствия	Причины
Короткие замыкания на землю в цепях высокого напряжения		
КЗ на землю на шинах 110 кВ ПС с открытым РУ	Повреждение аппаратуры РЗА коммутационных аппаратов в сети постоянного тока. Отключились 6 линий 110 кВ	Неисправно ЗУ. Перекрытие с ЗУ на цепи постоянного тока
Ближнее КЗ на землю ПС с открытым РУ	Возгорание кабелей в кабельном канале	Неисправно ЗУ
КЗ на шинах ПС с закрытым РУ	Ложная работа РЗА. Отключилась линия 110 кВ	Неисправно ЗУ

КЗ на шинах ОРУ-110 кВ открытой ПС с открытым РУ	Ложно отключается блок генераторов на ТЭЦ	Неисправно ЗУ
Удары молнии в территорию подстанции		
Удар молнии в молниеприемник на ОРУ ПС	Повреждение устройств системы автоматического управления. Загорелось реле на распределительном щите	Неправильно выполнена молниезащита
Стационарные режимы		
Нормальный режим на ТЭЦ	Ложно работает микропроцессорная защита генератора. Отключился блок генератора	Помехи в цепях дискретных сигналов, неэкранированный кабель

## Тема 1.2. Общая характеристика схем сетей электроснабжения

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).

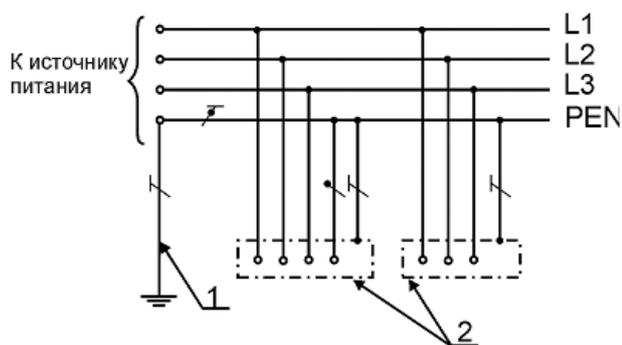


Рис. 1.1. Система заземления TN-C

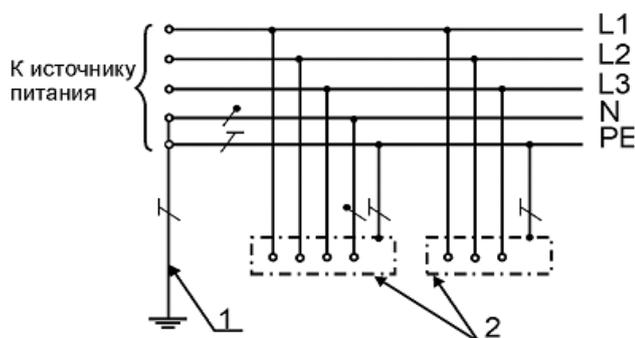


Рис. 1.2. Система заземления TN-S

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.

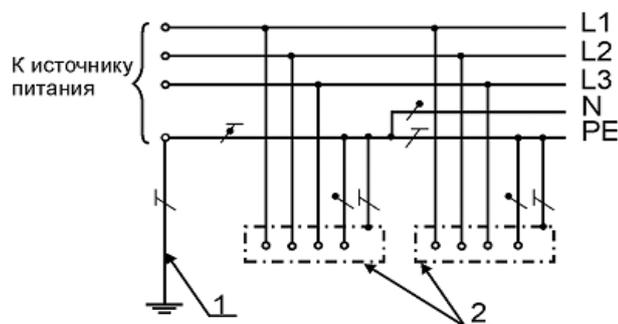


Рис. 1.3. Система заземления TN-C-S

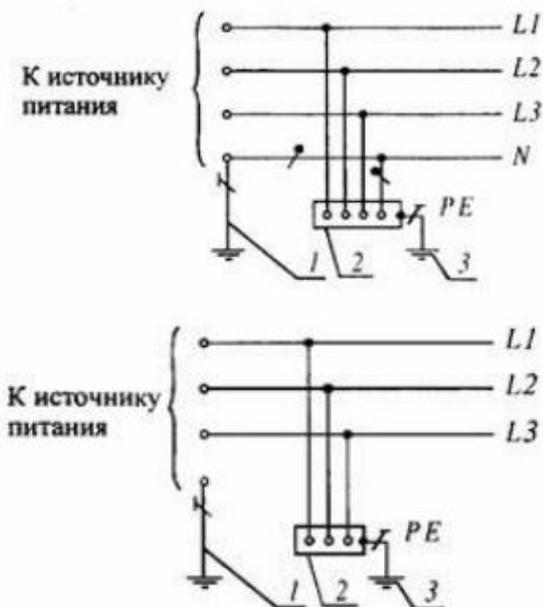


Рис. 1.4. Система заземления TT

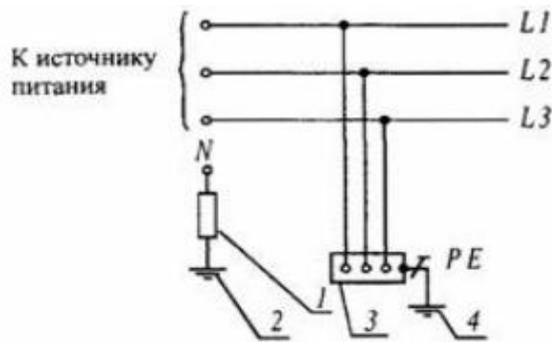


Рис. 1.5. Система заземления IT

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.

## РАЗДЕЛ 2. Источники электромагнитных помех

Источники электромагнитных помех могут быть естественного и искусственного происхождения.

К природным источникам относятся электрическое и магнитное поле Земли, космические источники радиоволн (идущие от Солнца и других звезд), процессы, происходящие в атмосфере Земли (например, грозовые разряды, колебания в ионосфере). Кроме того, сам человек является источником слабого электромагнитного поля.

Искусственные источники ЭМП делятся на две большие группы: функциональные и нефункциональные.

**Функциональные источники** – устройства, которые специально созданы для излучения электромагнитной энергии: радио- и телевизионные вещательные станции, радиолокационные станции, различные системы радиосвязи, распространяющие электромагнитные волны через передающие антенны в окружающую среду в целях передачи информации. К этой группе относятся также все устройства, которые излучают электромагнитные волны не для коммуникационных целей, например, физиотерапевтические аппараты, генераторы высокой частоты для промышленного применения, микроволновые печи, устройства радиоуправления и т.д.

**Нефункциональные источники** – это устройства, которые не предназначены для излучения электромагнитной энергии. Однако в процессе эксплуатации они находятся под напряжением, по ним протекает ток, за счет чего в окружающем пространстве образуются паразитные электромагнитные поля. Это в основном системы передачи и распределения электроэнергии (ЛЭП, трансформаторные подстанции) и приборы, потребляющие электроэнергию (электроплиты, электронагреватели, холодильники, телевизоры, ПК). К этой группе также относятся автомобильные устройства зажигания, люминесцентные лампы, сварочное оборудование, релейные и защитные катушки, электрический транспорт, выпрямители тока, контактные и бесконтактные полупроводниковые переключатели, переговорные устройства, коронные разряды, коммутационные процессы в сетях высокого напряжения, разряды статического электричества, быстроменяющиеся напряжения и токи в лабораториях ТВН.

Электромагнитные влияния наблюдаются во всем спектре электромагнитных колебаний, начиная с частоты 0 и до  $10^{22}$  Гц:

0 Гц – статическое электричество;

50 Гц – ЛЭП, подстанции, электробытовые приборы;

50...110 кГц – ПК;

450...1800 МГц – радиотелефоны;

50 Гц, 2450 МГц – микроволновые печи;

$10^4$  Гц – видимый свет;

$10^{15}$ ... $10^{22}$  Гц – ионизирующее излучение: рентгеновские лучи, гамма-лучи.

К этому добавляются влияния многочисленных переходных процессов в электрических цепях высокого и низкого напряжения, чьи широкополосные высокочастотные излучения охватывают большие участки спектра.

В то время как наблюдение ЭМС функциональных источников является сравнительно простой задачей, поскольку природа передатчиков известна с самого начала, то выявление нефункциональных источников оказывается более сложной проблемой. Их существование чаще всего проявляется в процессе поиска причины неожиданного аварийного поведения приемной системы. Поэтому выявление нефункциональных источников помех является основной задачей при обеспечении ЭМС.

Только когда установлены источники помех и их механизмы связи, обеспечить ЭМС оказывается сравнительно просто.

### 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).

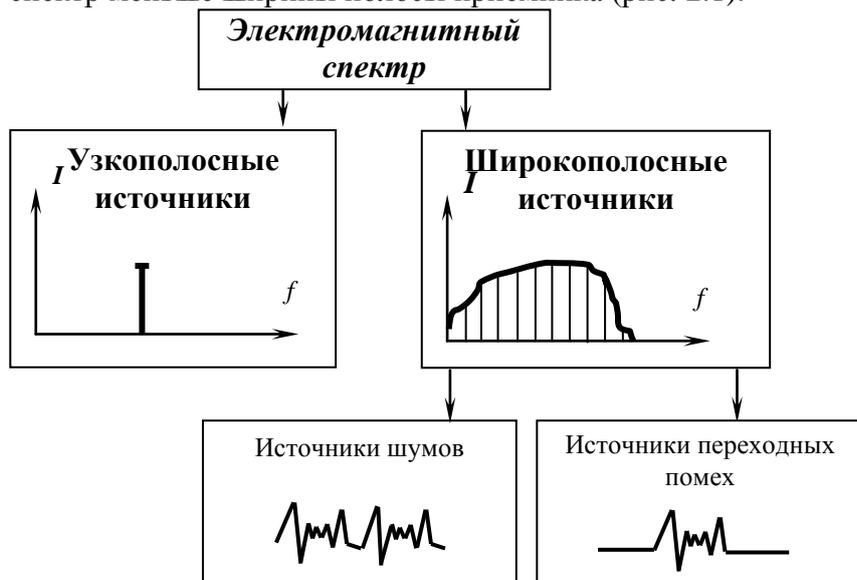


Рис. 2.1. Классификация источников помех

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 закалки, 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 дуговыми 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.

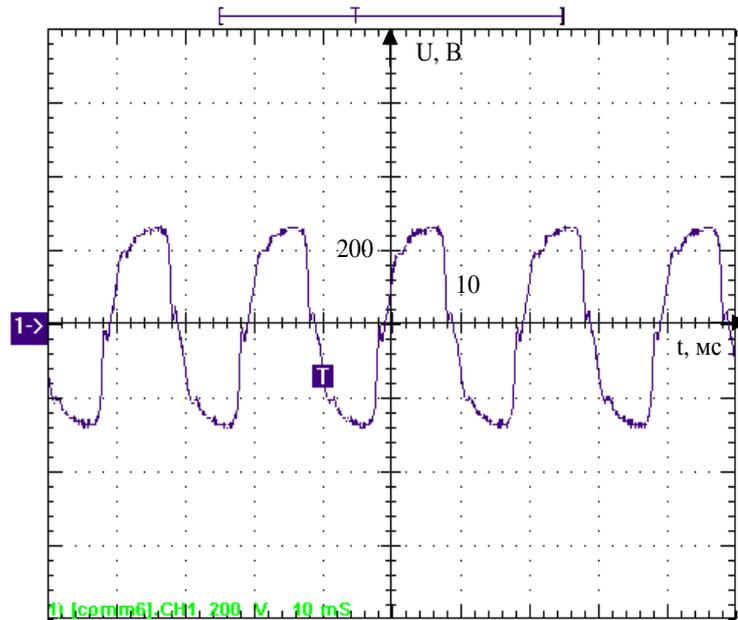


Рис. 2.2. Кривая питания от устаревшего дизель-генератора

**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.

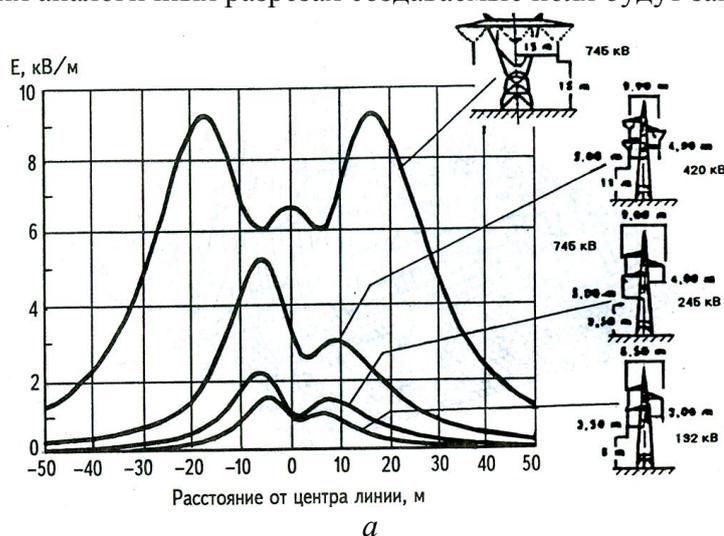
Проблемы влияния ВЛ до настоящего времени решались исключительно мерами со стороны ЛЭП (например, путем симметричного расположения проводов трехфазной ВЛ в виде равностороннего треугольника – в этом случае суммарная напряженность поля равна нулю; скручиванием несимметрично расположенных проводов, резонансным 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.



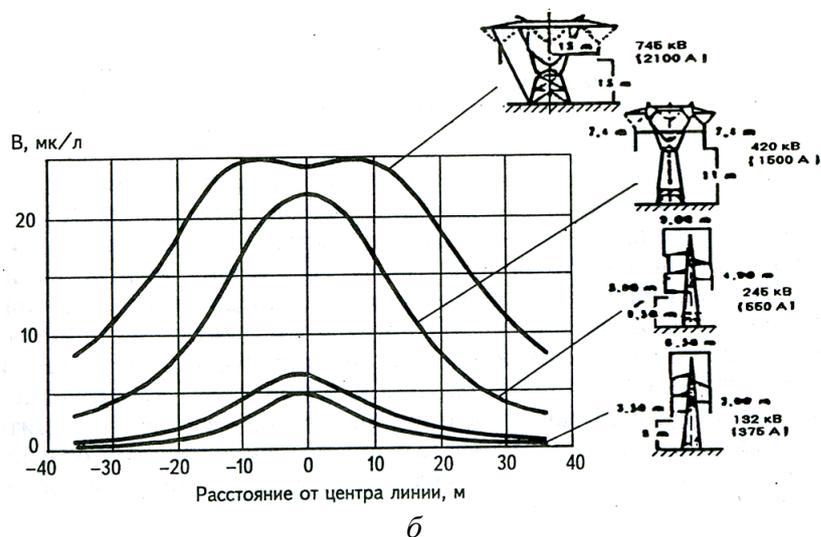


Рис. 2.3. Эюры напряженности электрического и индукции магнитного полей промышленной частоты, создаваемых на уровне поверхности земли под ЛЭП:

*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.

### 2.2.6. Протекание значительных токов по заземляющему устройству в нормальном режиме работы объекта

Длительность протекания токов КЗ промышленной частоты по заземляющему устройству ПС может составлять несколько десятых долей секунды.

Протекающий ток может достигать десятки кА (вплоть до 60 кА). Конкретное значение тока КЗ зависит от мощности питающей системы, структуры сети (степени взаимосвязи отдельных ветвей), удаленности и вида КЗ.

Под действием токов короткого замыкания на заземляющем устройстве подстанции может возникнуть опасное повышение потенциала для автоматизированной системы технологического управления электротехническими объектами. При этом появляются значительные разности потенциалов между двумя произвольными точками заземляющего устройства, которые могут быть источником опасных перенапряжений, например, для вторичных кабельных измерительных цепей напряжения и тока, управления и сигнализации, подключенных к терминалам на релейном щите. Разность потенциалов зависит от удельного сопротивления земли, конфигурации, сечения и материала заземлителя. Таким образом, кабели могут подвергаться воздействию значительных токов и напряжений.

Для многих объектов (например, тяговых подстанций) протекание значительных токов через систему заземления является нормой. Иногда такая же ситуация возникает вследствие

ошибок при проектировании системы собственных нужд объекта. Все это приводит к тому, что на заземляющем устройстве этих объектов постоянно присутствует значительный потенциал (рис. 2.4). Отмечаются случаи, когда его амплитуда достигает 100 В. Он оказывается приложенным к входам цепей связи с удаленными объектами. Воздействие такого потенциала на аппаратуру редко бывает разрушительным. Однако малейшее нарушение симметрии цепи связи и входов аппаратуры вызывает сильное повышение уровней шумов в каналах проводной связи.

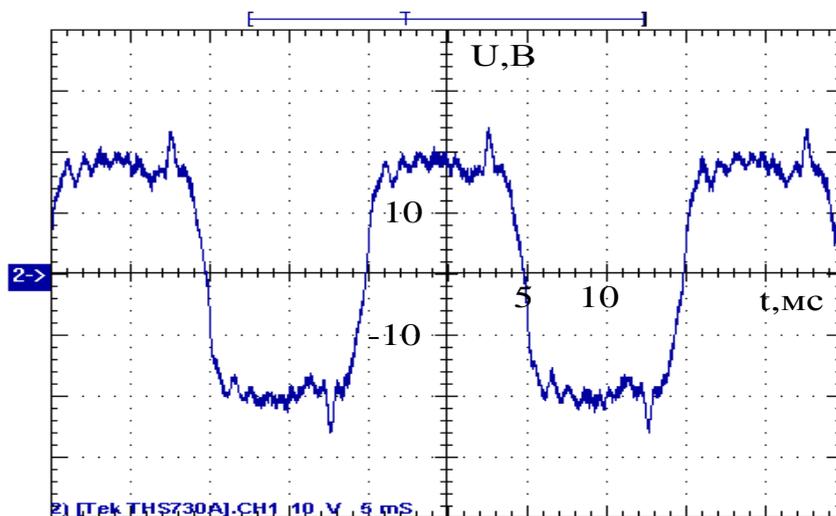


Рис. 2.4 Помеха на заземлении узла связи, связанном с заземляющим контуром тяговой подстанции

### 2.2.7. Низкочастотные магнитные поля при нормальной работе силового оборудования

При компактном расположении силового и электронного оборудования возможно постоянное воздействие на аппаратуру полей высокого уровня. Кроме того, часто приходится сталкиваться с повышением уровня магнитного поля промышленной частоты, обусловленным ошибочной конструкцией системы собственных нужд объекта. Амплитуда таких полей обычно слишком мала, для того чтобы вызвать сбои или отказы оборудования. Однако часто приходится сталкиваться с их негативным влиянием на дисплеи («дрожание» изображения). Это приводит к быстрой утомляемости оперативного персонала, имеющего автоматизированные рабочие места. Кроме того, оказываются превышенными требования Санитарных правил и норм (СанПиН).

### 2.2.8. Высокочастотные электромагнитные поля

Высокочастотные электромагнитные поля создаются радиосредствами, включая портативные рации. За последнее десятилетие были отмечены случаи сбоев в работе электронной аппаратуры на энергообъектах под действием полей радиочастотных источников.

Радиопередатчики относятся к классу функциональных источников преднамеренного излучения. Примерами такого излучения являются радиовещательные передатчики, навигационные средства и устройства дистанционного управления.

В табл. 2.1 приведена информация по некоторым официально разрешенным источникам преднамеренного излучения с указанием значений излучаемой мощности, типичных расстояний от радиопередатчика до приемника в населенной местности и расчетной напряженности электрического поля. Для всех диапазонов, кроме диапазона волн очень низких частот (ОНЧ) (0,014...0,5 МГц), напряженность электрического поля дана для расстояний, превышающих зону поля электромагнитной индукции.

Таблица 2.1

*Электрические поля, создаваемые некоторыми радиопередатчиками*

Источники	Частотный диапазон, МГц	Типичное максимальное эффективное значение излучаемой мощности, Вт	Типичное минимальное расстояние, м	Напряженность ЭП в определенной точке, В/м
Радиотрансляция в диапазоне ДВ	0,014...0,5	$2,5 \times 10^6$	$2 \times 10^3$	5,5
Радиотрансляция в диапазоне СВ	0,2...1,6	$800 \times 10^3$	500	12,5
Любительские КВ-радиостанции	1,8...30	$1 \times 10^3$	10	22
КВ связь, включая радиотрансляцию	1,6...30	$10 \times 10^3$	$1 \times 10^3$	0,1
Любительские радиостанции диапазона ОВЧ и УВЧ	50...52 144...146 432...438 1290...1300	$8 \times 10^3$ $8 \times 10^3$ $8 \times 10^3$ $8 \times 10^3$	10	65
Стационарные и мобильные средства связи	29...40 68...87 146...174 422...432 438...470 860...990	130 130 130 130 130 0,25	2	40
Портативные телефоны, включая сотовые и радиотелефоны	900...1900	5	0,5	30
Телевидение диапазона ОВЧ	48...68 174...230	$320 \times 10^3$ $320 \times 10^3$	500	8
Радиотрансляция в диапазоне ОВЧ	88...108	$100 \times 10^3$	250	9
Телевидение диапазона УВЧ	470...853	$10 \times 10^6$	500	10
Радарные установки	1000...30000	$500 \times 10^3$	200	110
Приемопередатчики (переносные)	27...1000	5	0,5	30

**Примечание:** ДВ – длинные волны; СВ – средние волны; КВ – короткие волны; ОВЧ – очень высокие частоты; УВЧ – ультравысокие частоты.

Кроме устройств, указанных в табл. 2.1, существуют и другие устройства излучения электромагнитной энергии (например, охранные сигнализации, дистанционные пульта управления гаражными воротами и др.). В таких устройствах, как правило, используют запрещенные радиодиапазоны с относительно малыми излучаемыми мощностями.

### 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 зажиганий 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, фиберглассе, 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, кофухи, 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 точной 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 индуцирует 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 бы-

стрее, 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 распредел-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).

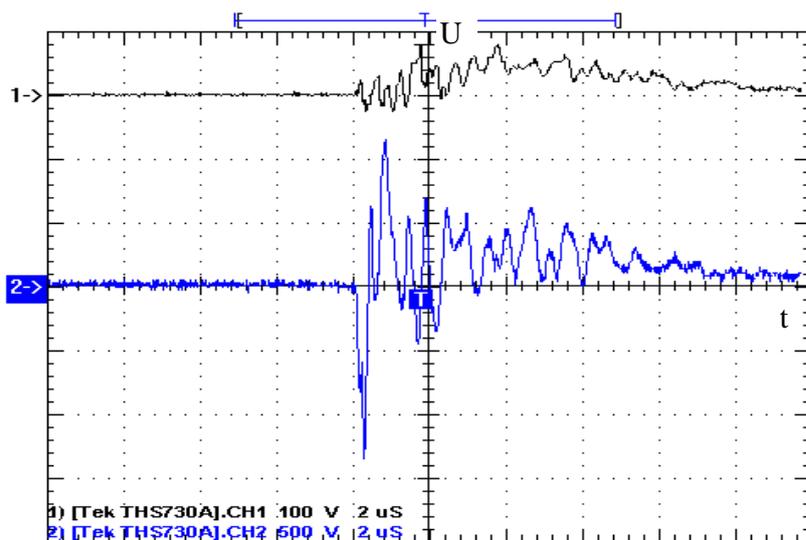


Рис. 2.5. Осциллограмма коммутационной помехи в цепях питания узла связи (верхняя кривая – импульсное напряжение между «нулем» и землей узла связи, нижняя – импульсное напряжение между фазой и нулем)

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 про-

водов  $i = C_{\text{пар}} \frac{dU}{dt}$ , максимальные значения которых могут достигать больших значений. Обусловленные током заряда линии и токами смещения магнитные поля индуктируют 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».

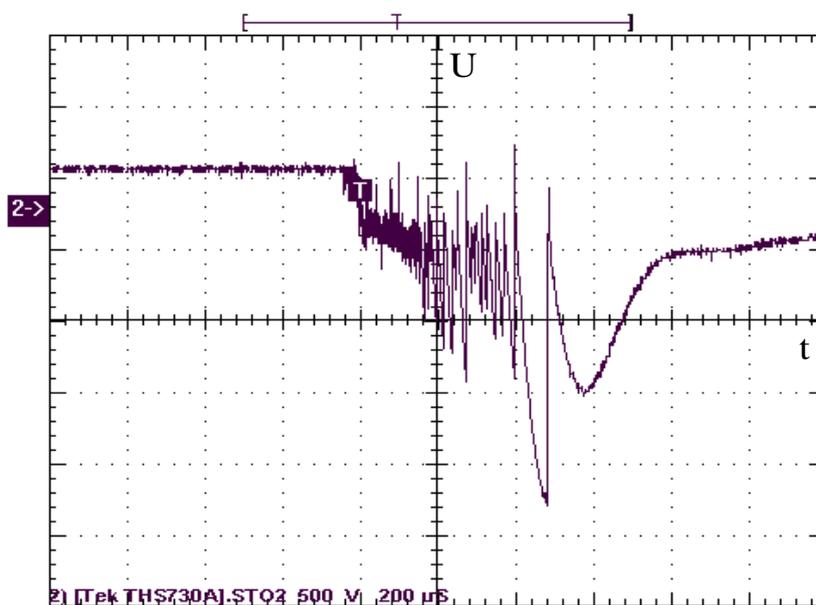


Рис. 2.6. Помехи при коммутации реле РП-16 (получено при лабораторных испытаниях)

#### 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

Выше мы рассмотрели источники возникновения электромагнитных влияний. В данном параграфе представлены пути их передачи.

#### 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).

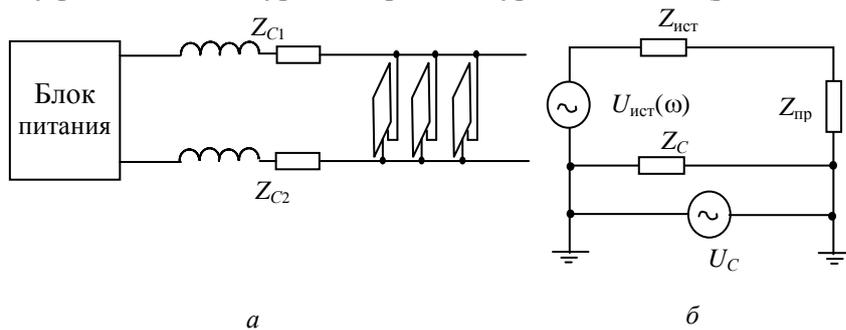


Рис. 3.1. Гальваническая связь через полное сопротивление связи,  $Z_C$ :

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;  $Z_{пр}$  – полные сопротивления приемников.

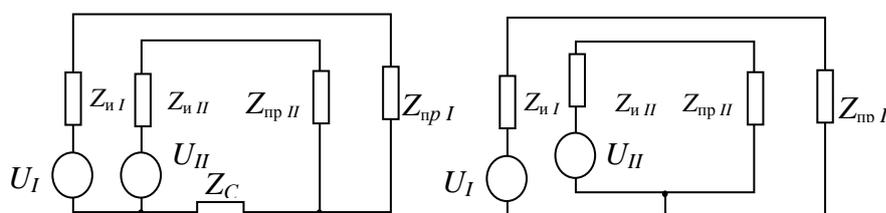


Рис. 3.2. Схемы замещения до и после устранения помех:  
*а* – возникновение помех в контурах с полным сопротивлением; *б* – устранение причины их возникновения

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):

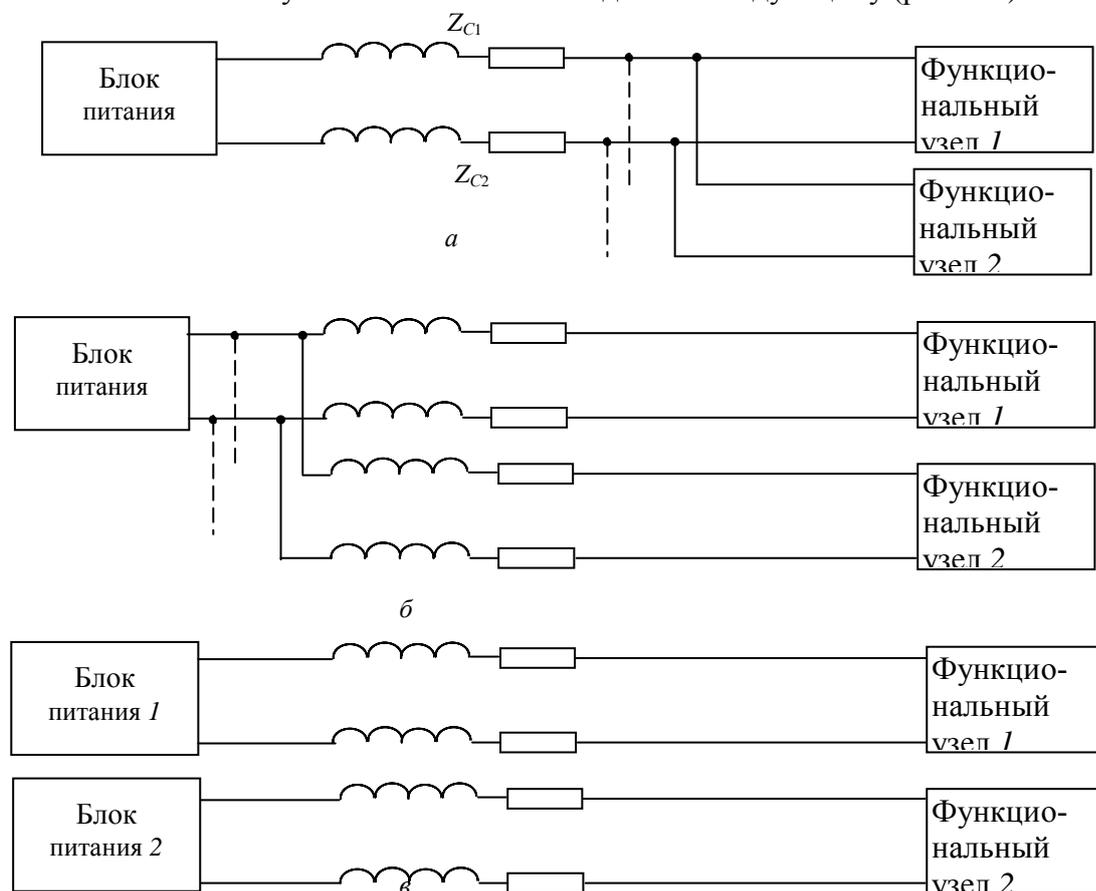


Рис.3.3. Гальваническая связь ФУ через общие сопротивления (*а*); способы противодействия (*б*, *в*)

– 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, б).

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).

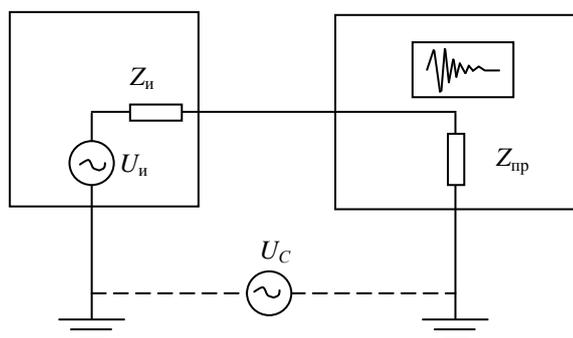


Рис. 3.4. Контур заземления, возникающий благодаря заземлению в нескольких точках

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.

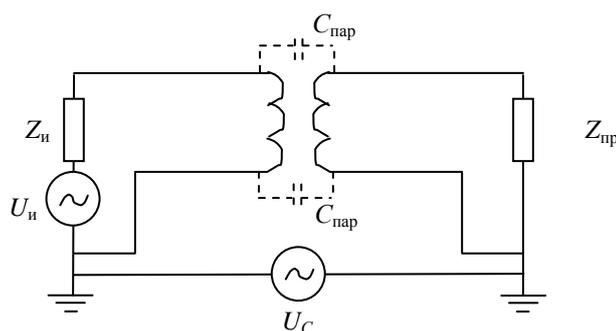


Рис. 3.5. Разделительный трансформатор для разрыва контура заземления

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.

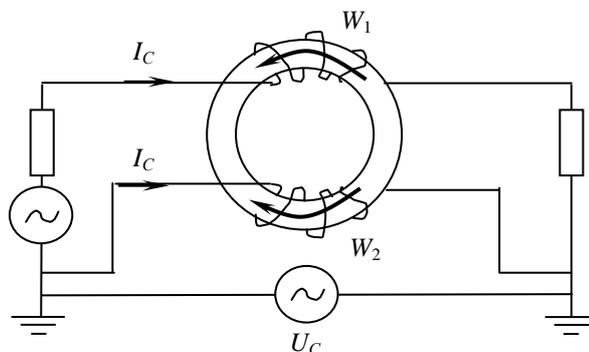


Рис. 3.6. Нейтрализующий трансформатор для разрыва контура заземления

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.

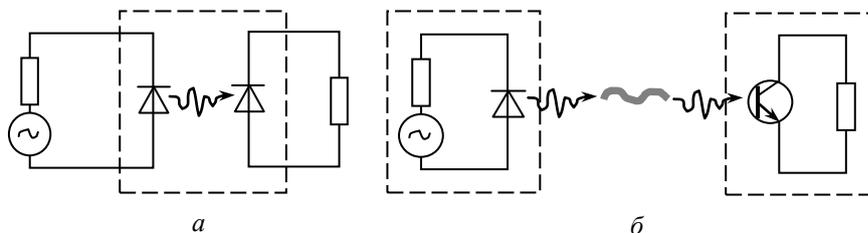


Рис. 3.7. Схема оптической передачи данных на оптроне (а); на участке линии со световодом (б)

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

**Опволоконные 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 оптоволокна (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 оптоволокну. 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. 4.8).

Напряжение емкостной помехи в этом случае рассчитывают так:

$$U_{\text{п}} = U_1 j\omega C_{1-2} R. \quad (4.1)$$

Из формулы (4.1) 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  $R_2$ .

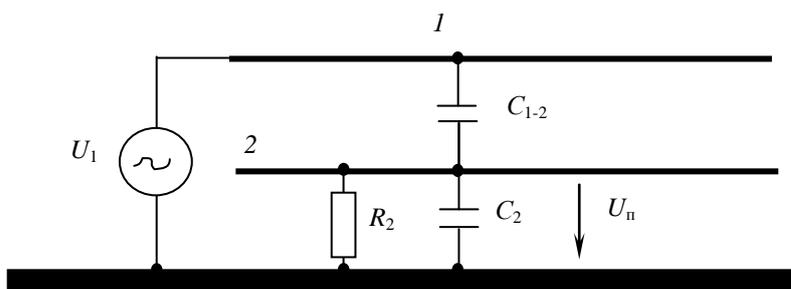


Рис. 4.8. Емкостная связь между неэкранированными системами проводов:

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

Действие экрана наглядно поясняет рис. 4.9. 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  $C_2$ .

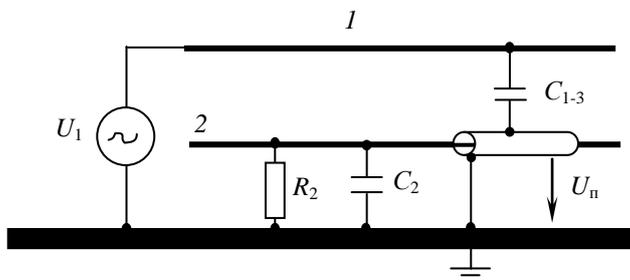


Рис. 4.9. Уменьшение емкостной помехи

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.

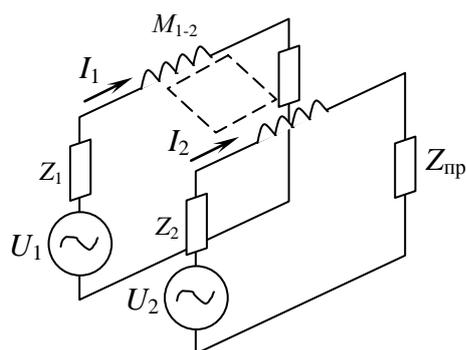


Рис. 4.10 Магнитная связь между двумя электрическими контурами

Если ток в системе 1 намного больше, чем в системе 2, то система 1 будет мешать системе 2, а не наоборот (рис. 4.10).

Для эквивалентной схемы индуцируемое напряжение рассчитывают по формуле

$$U_{\text{н}} = I_1 j\omega M_{1-2}. \quad (4.2)$$

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

Как следует из формулы (4.2) 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 некомпенсированный 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. 4.11). 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.

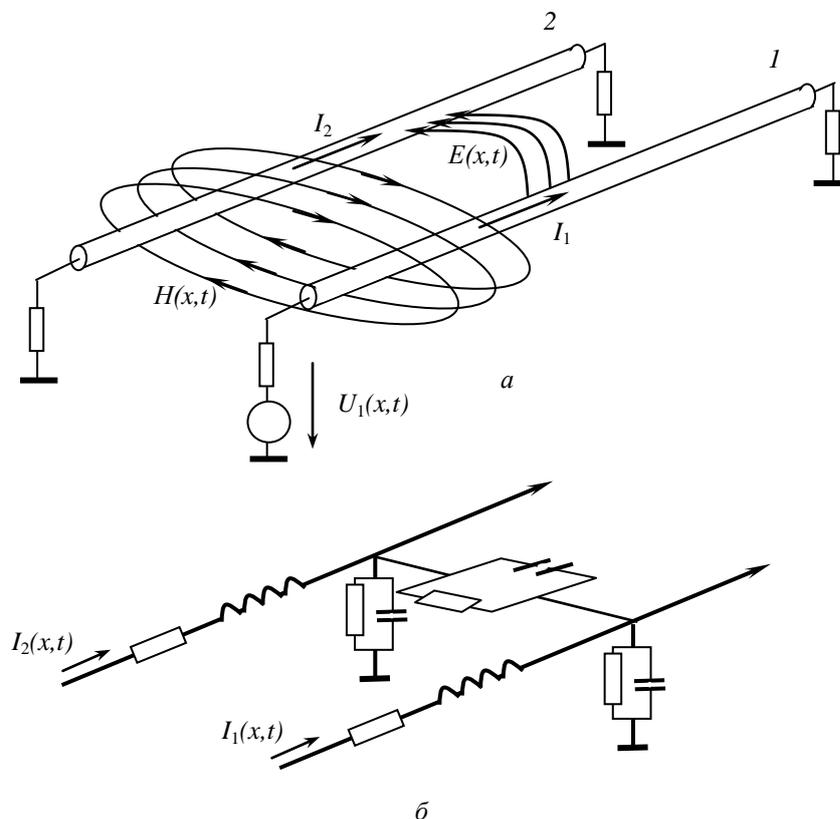


Рис. 4.11. Электромагнитная связь двухпроводной системы

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 ре-

зультате 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 неэкранированных 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 наводилось 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, несим-

метрии 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. 5.1 показана типичная оплетка с узором плетения елочкой.

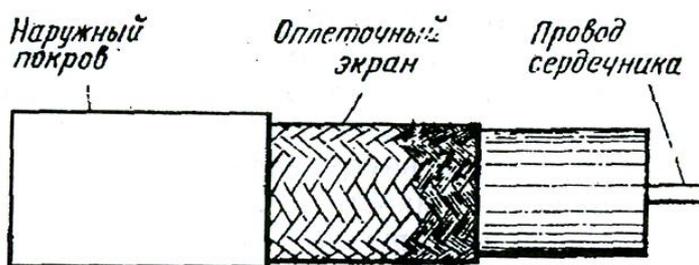


Рис. 5.1. Типовой оплеточный экран

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. 5.2). 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.

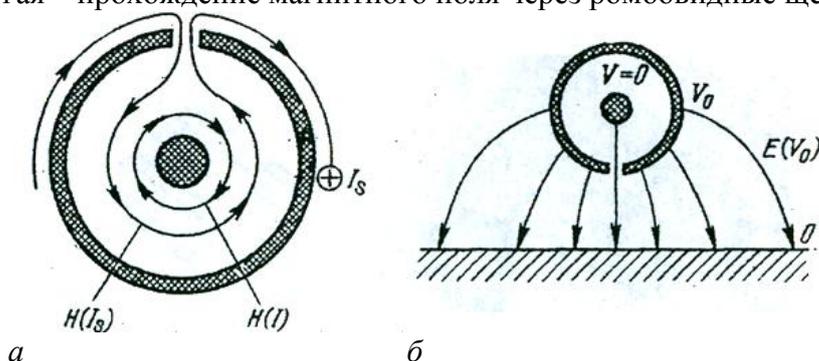


Рис. 5.2. Магнитный (а) и электрический (б) потоки, проникающие через щели в экран

#### Раздел 4. Нормирование электромагнитных полей

Исследованиями установлено, что биологическое действие идентичных по частоте ЭМП зависит от напряженности их составляющих (электрической и магнитной) или плотности потока мощности для диапазона более 300 МГц. Это является критерием для определения биологической активности электромагнитных излучений и для этого электромагнитные

излучения с частотой до 300 МГц разбиты на диапазоны. Системы стандартов включают нормативы, ограничивающие уровни электрических и магнитных полей и ЭМП различных частотных диапазонов путем введения предельно допустимых уровней (ПДУ) напряженности для различных условий облучения и разного контингента

В России система стандартов по электромагнитной безопасности складывается из Государственных стандартов (ГОСТ) и Санитарно-эпидемиологических правил и норм (СанПиН). Данные взаимосвязанные документы являются обязательными для исполнения на всей территории России.

Государственные стандарты Российской Федерации в области электромагнитной безопасности включают:

✓ ГОСТ 12.1.006–84 ССТБ «Система стандартов безопасности труда. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля»;

✓ ГОСТ 12.1.002–84 ССТБ «Система стандартов безопасности труда. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля»;

✓ ГОСТ 12.1.045–84 ССТБ «Система стандартов безопасности труда. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля».

Санитарные правила и нормы регламентируют гигиенические требования более подробно и в более конкретных ситуациях облучения.

В зависимости от отношения подвергающегося воздействию ЭМП человека к источнику излучения в условиях производства в стандартах России различаются два вида воздействия: профессиональное и непрофессиональное. Для условий профессионального воздействия характерно многообразие режимов генерации и возможных вариантов воздействия. В частности, для воздействия в ближней зоне характерно сочетание общего и местного облучения. Для непрофессионального воздействия типичным является общее облучение. ПДУ для профессионального и непрофессионального воздействия различны.

В качестве ПДУ ЭМП принимаются такие значения, которые при ежедневном облучении не вызывают у населения без ограничения пола и возраста заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследования, в период облучения или в отдаленные сроки после его прекращения. То есть облучение, находящееся в пределах нормы, не должно вызывать у человека даже временных нарушений здоровья.

В зависимости от места нахождения человека относительно источника ЭМП он может подвергаться воздействию его электрической или магнитной составляющей или их сочетанию, а в случае пребывания в волновой зоне – воздействию сформированной электромагнитной волны. В соответствии с этим контроль уровней электрического поля (ЭП) осуществляется по значению напряженности ЭП –  $E$ , В/м. Контроль уровней магнитного поля (МП) осуществляется по значению напряженности МП –  $H$ , А/м или значению магнитной индукции –  $B$ , Тл. В зоне электромагнитной волны контроль осуществляется по плотности потока энергии –  $\sigma$ , Вт/м<sup>2</sup>.

## **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 однократно 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  $60$  с  $\geq \tau_{\text{и}} \geq 1$  с,  $\tau_{\text{п}} > 2$  с;

В – прерывистое с  $1$  с  $\geq \tau_{\text{и}} \geq 0,02$  с,  $\tau_{\text{п}} > 2$  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	6,4	
2	0,80	3,2	
4	0,40	1,6	
8	0,08	0,8	
<b>Прерывистое воздействие</b>			
Время пребывания, ч	<i>H</i> , 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  $\sigma$  – плотность потока мощности излучения электромагнитной энергии, Вт/м<sup>2</sup>;  $S_{\text{эф}}$  – эффективная поглощающая поверхность тела человека, м<sup>2</sup>.

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.

Таблица 4.3

#### Нормы облучения УВЧ и СВЧ

Плотность потока мощности энергии, $\sigma$ , Вт/м <sup>2</sup>	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 <sup>2</sup>
1...10	Не более 10 мин	При условии пользования очками. В остальное время $\sigma \leq 0,1$ Вт/м <sup>2</sup>

### 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 <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup>
Облучение пользователей радиотелефонов	$\sigma = 100$ мкВт/см <sup>2</sup>

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).

Таблица 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 дос-

## Раздел 5. Методика определения электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики

### Тема 5.1. Общие положения

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 5.2. 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.

### ***5.2.1. 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  $\rho$  от глубины  $h$  (рис. 5.1).

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 геологической структуре 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.

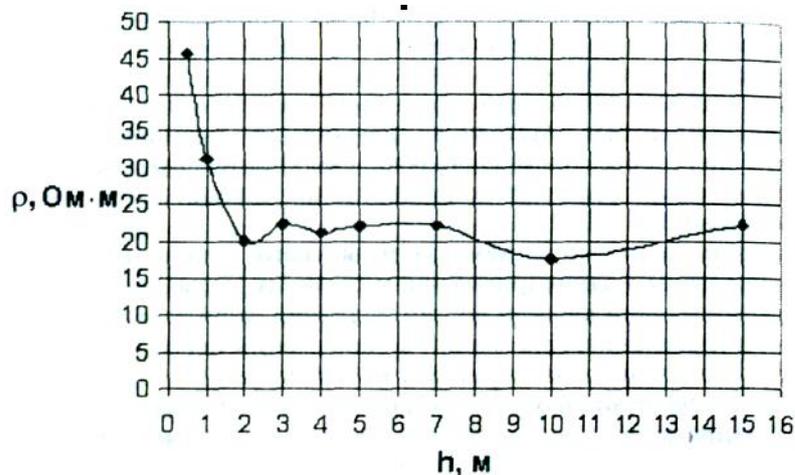


Рис. 5.1. Удельное сопротивление грунта

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.

### **5.2.2. 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. 5.2, а).

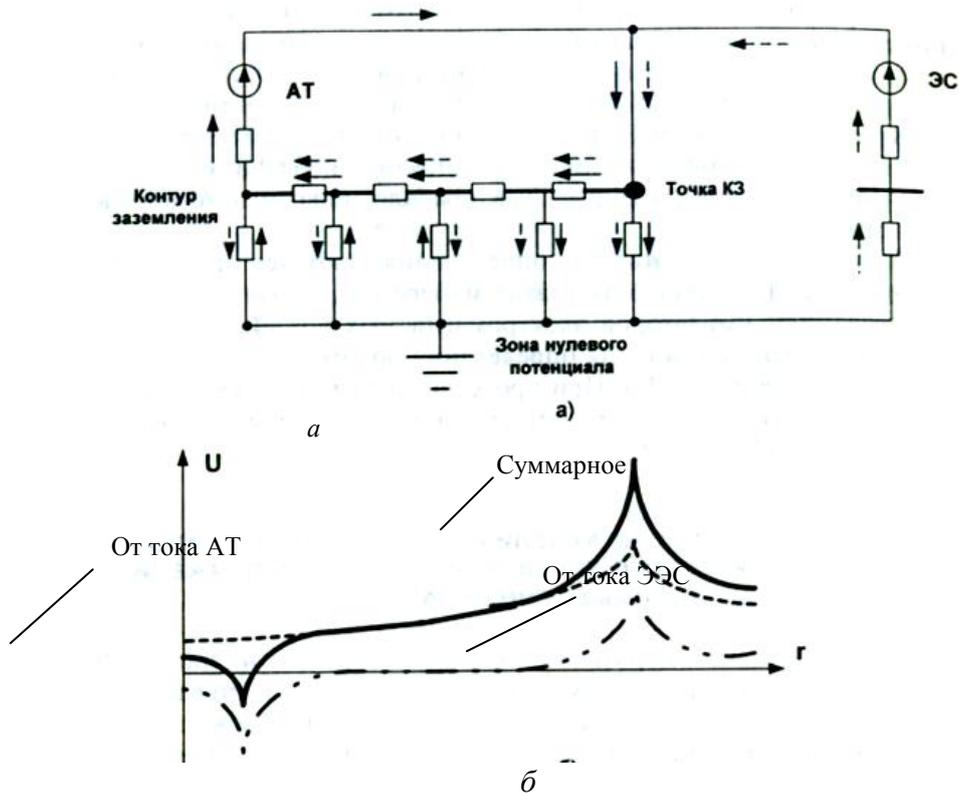


Рис. 5.2. Однофазное короткое замыкание на шинах ПС высокого напряжения:  
 а – схема растекания тока в контуре заземления ПС; б – распределение потенциалов на заземляющем устройстве ПС

Если наложить, в соответствии с методом суперпозиции, распределение потенциалов от АТ на распределение потенциалов от ЭС, то получим суммарное распределение потенциалов (рис. 5.2, 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. 5.3.

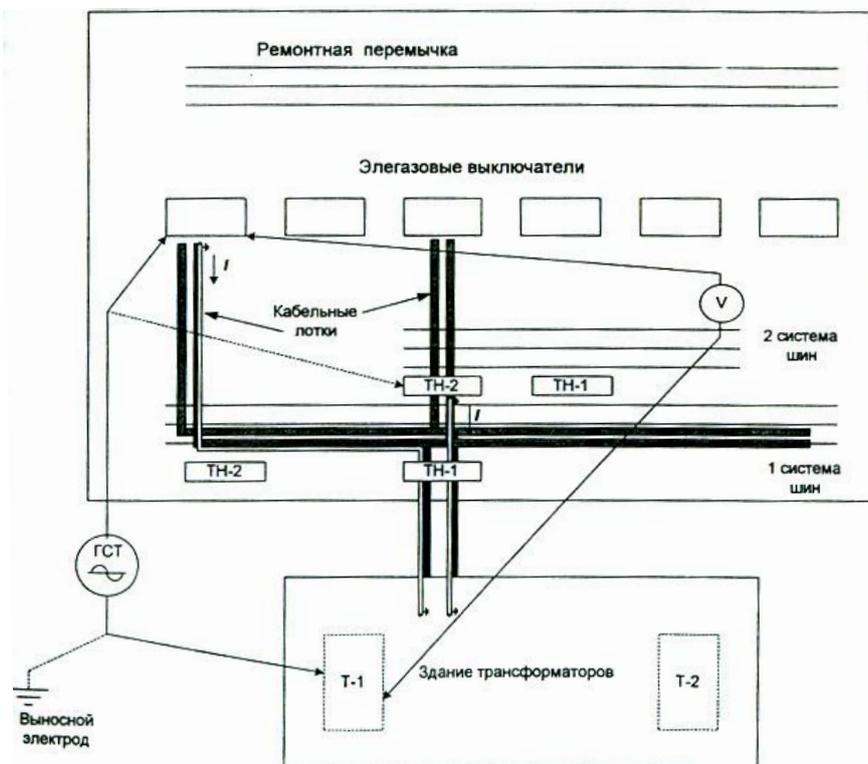


Рис. 5.3. Схема измерений на ОРУ 220 кВ при имитации однофазного короткого замыкания

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 электро-

ду. 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. 5.3).

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

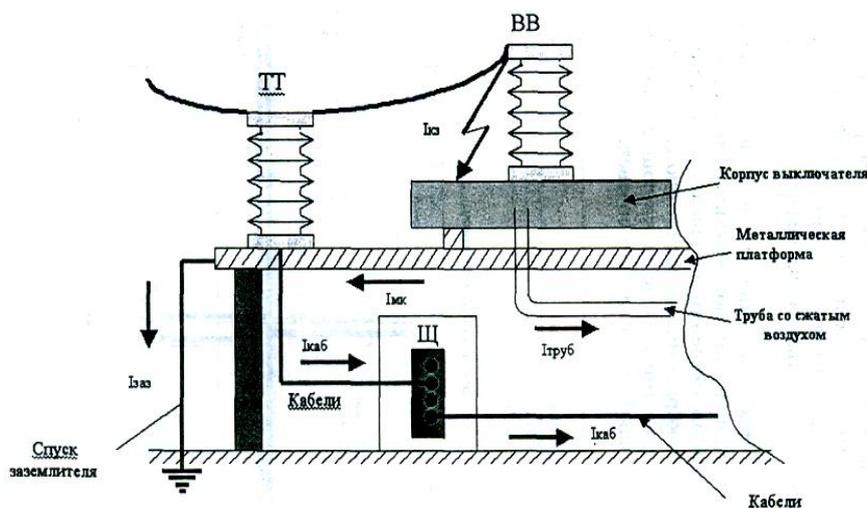


Рис. 5.4. Схема растекания тока при имитации однофазного короткого замыкания на землю на воздушном выключателе (ВВ):  $I_{кз}$  – ток короткого замыкания;  $I_{мк}$  – ток по металлоконструкциям;  $I_{труб}$  – ток по трубам;  $I_{заз}$  – ток по заземляющему проводнику;  $I_{каб}$  – ток по оболочкам 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.

### 5.2.3. Импульсные помехи, обусловленные переходными процессами в цепях высокого напряжения при коммутациях и коротких замыканиях

Возникновение импульсных помех в цепях вторичной коммутации связано со следующими видами возмущений в первичных цепях: короткие замыкания на землю в цепях высокого напряжения; коммутации разъединителями, короткозамыкателями и выключателями в цепях высокого напряжения; работа разрядников.

При коммутациях и коротких замыканиях на землю в результате переходного процесса в цепях высокого напряжения происходит разряд емкостей оборудования и шин на землю, в результате чего через заземлитель проходит импульсный ток высокой частоты. На заземляющем устройстве и в месте короткого замыкания происходит импульсный подъем потенциала. Этот потенциал с определенным коэффициентом ослабления передается по кабелям на вход устройств систем релейной защиты и технологического управления.

Для определения значений импульсных помех проводят имитационные испытания. Имитацию высокочастотной составляющей тока короткого замыкания осуществляют при помощи генератора высокочастотных импульсов, например ГВЧИ-4П. Схема эксперимента приведена на рис. 5.5.

Один вывод генератора подключают к заземляющему проводнику оборудования, к которому приходят кабели от устройств систем релейной защиты и технологического управления, а второй вывод генератора заземляют на расстоянии не менее 50 м от данного оборудования. В заземление оборудования подают импульсный ток (колебательный затухающий импульс амплитудой до 10 А с декрементом колебаний 3...5, частотой колебаний 0,5; 1,0 и 2,0 МГц). При этом проводят измерения импульсных помех на входах устройств автоматических и автоматизированных систем технологического управления. Также измеряют импульсный потенциал заземляющего устройства и определяют импульсное сопротивление заземления оборудования. Потенциал измеряют относительно точки, удаленной от места ввода тока на расстояние не менее 50 м в противоположном направлении от точки заземления генератора.

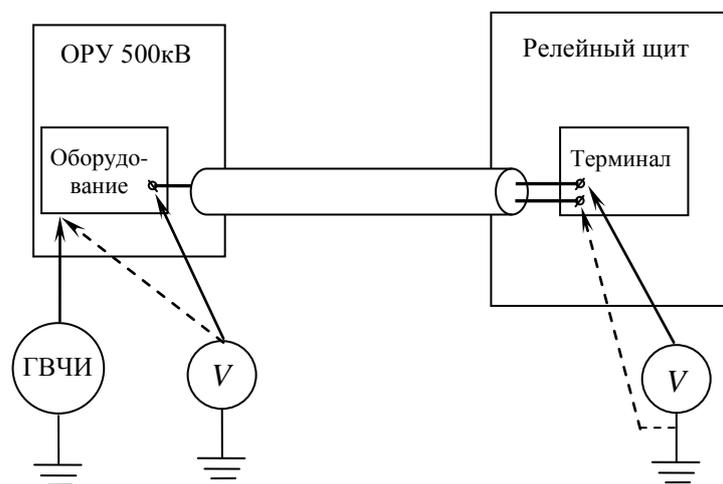


Рис. 5.5. Схема эксперимента по определению импульсных помех при протекании высокочастотной составляющей тока КЗ

Высокая частота обуславливает резко неравномерное распределение потенциала на заземляющем устройстве. Чем меньше удельное сопротивление грунта, тем быстрее спадает потенциал на заземляющем устройстве по мере удаления от места ввода тока, и на расстоянии 50 м от точки ввода потенциал падает более чем в 10 раз даже при сопротивлении грунта 500 Ом·м.

На реальных объектах частота колебаний импульсных помех может изменяться от десятков килогерц до десятков мегагерц. Измерения при трех указанных частотах позволяют установить зависимость уровня импульсных помех от частоты.

Результаты измерений при имитации импульсных помех приводятся к реальному значению высокочастотной составляющей тока короткого замыкания. Реальный ток определяют путем расчета переходного процесса на шинах распределительного устройства при коммутациях и КЗ на землю.

На действующем объекте измерения на клеммах устройств релейной защиты и системы технологического управления не всегда возможно провести в полном объеме. В этих случаях их дополняют расчетами. Определяют параметры высокочастотной составляющей тока КЗ (амплитуда и частота) и производят пересчет полученного импульсного сопротивления при реальной частоте. Затем рассчитывают синфазные напряжения на входе устройства РЗА в соответствии со схемой замещения (рис. 5.6).

При коммутациях первичного оборудования и при однофазном КЗ по ошиновке распределительного устройства протекают импульсные токи. Электромагнитные поля от них взаимодействуют с кабелями цепей вторичной коммутации и в результате этого взаимодействия в них наводятся импульсные помехи.

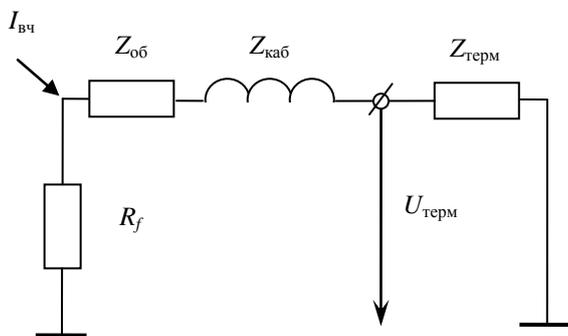


Рис. 5.6. Схема замещения для расчета синфазного напряжения на термине при однофазном КЗ на шинах низкого напряжения энергообъекта:  $I_{вч}$  – высокочастотная составляющая тока КЗ,

$R_{г}$  – импульсное сопротивление заземления;  $Z_{об}$  – входное сопротивление оборудования относительно земли,  $Z_{каб}$  – сопротивление контрольного кабеля,  $Z_{терм}$  – входное сопротивление терминала

Наибольший уровень полевых помех может быть при возникновении КЗ на шинах высокого напряжения. Определение импульсных полевых помех проводят следующим образом:

- расчетным путем находят наиболее опасные виды коммутаций;
- на объекте имитируют коммутационные процессы при помощи генератора высокочастотных импульсов и контрольного провода, проложенного по трассе прокладки вторичных кабелей;
- определяют реальный коэффициент экранирования помех  $K_{взаим}$  соседними кабелями;
- проводят измерения помех на кабелях защит и на контрольном проводе при реальных коммутациях и сопоставляют полученные результаты с результатами расчетов. При их расхождении вносят коррективы в расчетную схему.

После проведения расчетов окончательно определяют максимальные значения помех рассматриваемого типа.

Схема эксперимента по определению уровней импульсных полевых помех и коэффициентов экранирования приведена на рис. 5.7.

Контрольный провод прокладывают от оборудования до панелей релейного щита по земле рядом с кабельным каналом. К проводу, подвешенному на высоте 1 м от земли, подключают генератор высокочастотных импульсов. Этот провод, имитирующий шины высокого напряжения, должен подвешиваться параллельно им. Проводят измерения импульсных напряжений на контрольном проводе и кабелях цепей вторичной коммутации. Результаты измерений приводят к реальным значениям тока и расстояниям до шин высокого напряжения.

В общем случае на вход устройств автоматических и автоматизированных систем технологического управления приходит суммарная импульсная помеха, обусловленная скачком потенциала на земле и электромагнитным полем. Обычно на реальных объектах одна из этих составляющих существенно выше другой. Поэтому имитация импульсных помех, приходящих по земле и обусловленных электромагнитным полем, может проводиться отдельно. В тех случаях, когда эти помехи соизмеримы по амплитуде, имитируют импульсные помехи одновременно. Для этого один из концов провода, подвешенного на высоте 1 м, подключают к заземлению. Генератор высокочастотных импульсов подключают к другому концу этого провода. Таким образом, в кабелях цепей вторичной коммутации создают кондуктивные и полевые помехи одновременно.

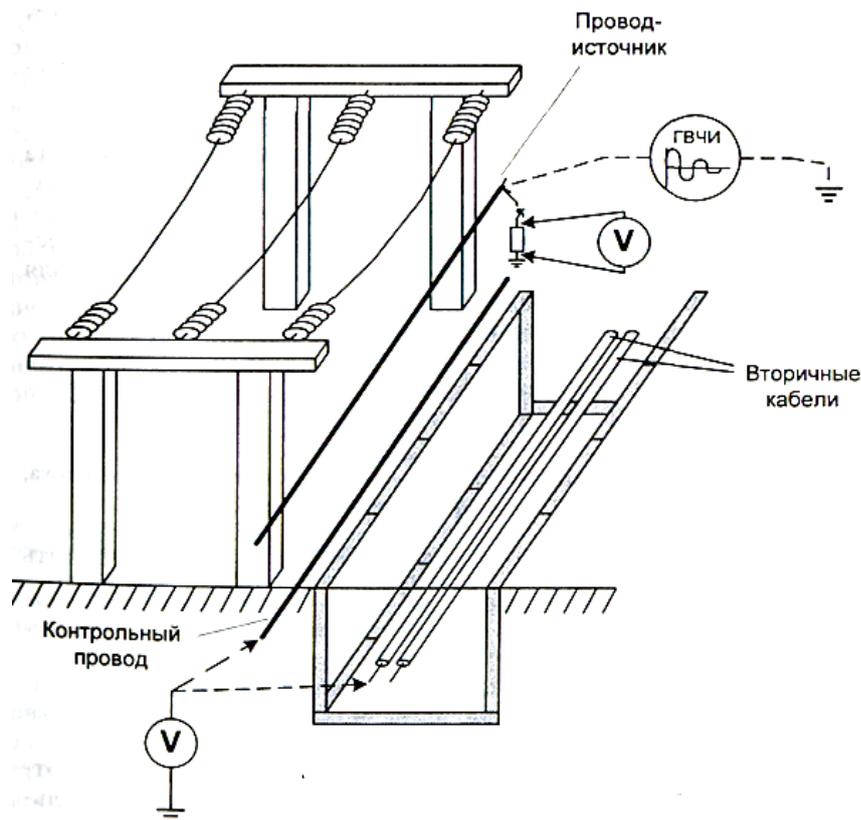


Рис. 5.7. Схема эксперимента по определению коэффициента взаимного экранирования

#### 5.2.4. Импульсные помехи при ударах молнии

Возможны следующие воздействия тока молнии при ее ударе в объект:

- полевые наводки на контрольных кабелях и воздействие импульсных магнитных полей на оборудование;
- термическое воздействие тока молнии на заземляющие проводники, оболочки и экраны кабелей;
- обратные перекрытия с земли на кабели.

Уровни полевых помех, наводимых в кабелях, определяют расчетным путем.

Параметры тока молнии для расчета выбирают в соответствии с рекомендациями МЭК 1312-1.

При расчетах распределения потенциала принимают максимальное значение импульса тока  $I_m = 100$  кА, длительность фронта импульса  $t_\phi = 10$  мкс; при расчетах наведенных напряжений на кабелях  $I_m = 25$  кА,  $t_\phi = 0,25$  мкс.

Полевые наводки можно предварительно оценить по мощности излучения источника наводки. Используем выражение для мощности излучения дипольных антенн:

$$P = \frac{(I \cdot l \cdot \omega)^2}{12\pi\epsilon_0 c^3},$$

где  $I$  – амплитуда тока;  $l$  – длина антенны;  $\omega$  – угловая частота;  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная;  $c$  – скорость света.

Для тока молнии эквивалентную частоту можно определить как

$$\omega \approx \frac{\pi}{2\tau},$$

где  $\tau$  – время нарастания тока молнии.

Положим, что  $I = 100$  кА, а параметры импульса тока молнии соответствуют нормативам МЭК. Тогда для импульса тока положительной молнии (100 кА; 10/350 мкс) имеем мощность  $P = 2,8 \cdot 10^7$  Вт, а для последующего импульса (25 кА; 0,25/100 мкс)  $P = 10^{10}$  Вт. При расчете полевых наводок импульс тока положительной молнии можно не рассматривать.

Для открытых распределительных устройств определяют напряжения, наводимые в кабелях вторичной коммутации при ударах молнии в молниеотводы, расположенные вблизи трасс прокладки кабелей. Для зданий и сооружений определяют напряжения, наводимые в кабелях при протекании тока молнии по токоотводам молниеприемника здания.

При расчетах необходимо учитывать коэффициент экранирования электромагнитного поля молнии, так как обычно используются экранированные кабели, проложенные в кабельных каналах или коробах.

Принцип действия экрана состоит в том, что электромагнитное поле индуцирует в экране ток, магнитное поле которого компенсирует воздействующее поле. В зависимости от соотношения длины кабеля  $l$  и длины электромагнитной волны  $\lambda$  этот ток замыкается по разным путям.

При  $\lambda > l$  ток в экране замыкается через заземления на концах экрана и грунт, а при  $\lambda < l$  – непосредственно в самом экране. Удар молнии генерирует наводки с частотой  $\sim 1$  МГц. Это соответствует длине волны  $\lambda \approx 300$  м. Протяженности большинства кабельных линий вторичных цепей не превышают этой величины, то есть ток в экране замыкается через проводники, заземляющие экран, и грунт. Методика расчета коэффициентов экранирования в этом случае состоит в следующем. Коэффициент экранирования  $k_3 \geq 1$  для линии с заземленным с обеих сторон экраном определяется из общего выражения

$$k_3 = \frac{R_G + R_3 + j\omega L_3}{Z_l l + j\omega L_g},$$

где  $l$  – протяженность системы;  $Z_l = (R_3 + j\omega L_l) / l$  – погонное передаточное сопротивление;  $R_3$  – активное сопротивление экрана;  $L_l = M_{13} - L_3$  – передаточная индуктивность;  $L_3$  – индуктивность экрана;  $M_{13}$  – взаимная индуктивность между экраном и жилой;  $R_G$  – сопротивление пути протекания тока в земле;  $L_g$  – собственная индуктивность заземляющих проводников экрана.

### 5.2.5. 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.

### 5.2.6. Разряды статического электричества

Оценку электростатического потенциала тела человека проводят путем непосредственных измерений. При этом определяют характеристики диэлектрического покрытия пола в помещении, где работает оператор.

Измерения удельных поверхностных сопротивлений полимерных диэлектриков осуществляют в соответствии с ГОСТ 64433.3–71 «Материалы электроизоляционные твердые. Методы определения электрических сопротивлений при постоянном напряжении». Для измерений поверхностного сопротивления  $C_S$  применяют тераомметр и стандартные электроды, схема подключения которых представлена на рис. 5.8.

Для расчёта удельного поверхностного сопротивления  $\rho_s$  используют следующее выражение:

$$\rho_s = \frac{\pi(D + g)R_s}{g},$$

где  $R_s$  – измеренное поверхностное сопротивление;  $D$  – диаметр потенциального электрода;  $g$  – зазор между потенциальным и измерительным электродами (см. рис. 5.8).

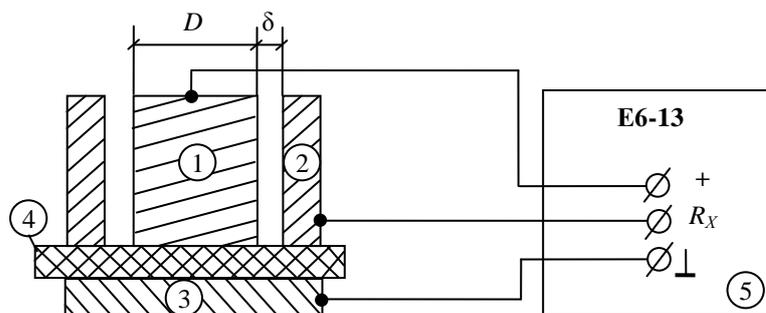


Рис. 5.8. Схема измерений поверхностного сопротивления полимерного диэлектрика: 1 – потенциальный электрод; 2 – измерительный электрод; 3 – охранный электрод; 4 – образец полимерного диэлектрика; 5 – тераомметр

По результатам измерений поверхностного сопротивления напольного покрытия делают приближенную оценку возможного потенциала тела человека, перемещающегося по полу при относительной влажности не менее 60 %:

Удельное поверхностное сопротивление, Ом	$10^{10}$	$2 \cdot 10^{10}$	$3 \cdot 10^{10}$	$4 \cdot 10^{10}$
Потенциал тела человека, кВ	2	4	6	8

Измерения потенциала тела человека проводят электростатическим вольтметром (например, типа С 502 с диапазоном измеряемого напряжения 0,4...3,0 кВ). Для расширения диапазона измерений используют ёмкостный делитель. Потенциал тела человека определяют по формуле

$$U_p = [(C_1 + C_2) / C_1] U_v,$$

где  $C_1$  – суммарная ёмкость вольтметра, соединительного кабеля и человека;  $C_2$  – ёмкость делителя;  $U_v$  – показания вольтметра.

Измеренные значения потенциала пересчитывают для наиболее неблагоприятного режима, соответствующего минимальному значению влажности воздуха в данном помещении.

### **5.2.7. Магнитные поля промышленной частоты**

Непосредственные измерения магнитных полей частотой 50 Гц проводят в нормальных режимах в местах установки устройств автоматических и автоматизированных систем технологического управления, на распределительном устройстве высокого напряжения вдоль трассы прокладки кабелей при помощи измерителя магнитного поля (например, с помощью ИПМ-50/200/400, входящего в комплект КДЗ-1).

Для режимов однофазного короткого замыкания на шинах высокого напряжения уровень напряженности магнитных полей определяют расчетным путем. Рассматривается режим однофазного короткого замыкания на шинах высокого напряжения вблизи места установки устройств систем релейной защиты и технологического управления. Для приближенной оценки используют формулу

$$H = I_{кз} / 2\pi r,$$

где  $r$  – расстояние до шин, по которым проходит ток однофазного короткого замыкания  $I_{кз}$ .

Точные расчеты проводят по специальной программе.

В тех случаях, когда вблизи места установки устройств автоматических и автоматизированных систем технологического управления размещены реакторы или трансформаторы, напряженность магнитного поля измеряют в нормальном режиме и пересчитывают на токи короткого замыкания. Приближенный расчет поля, создаваемого вдоль оси реактора, может быть выполнен по выражению

$$H = \frac{I n}{2} \frac{r^2}{(r^2 + x^2)^{1,5}},$$

где  $r$  – радиус реактора;  $x$  – расстояние по оси реактора от его центра до точки измерения;  $I$  – ток в реакторе;  $n$  – число витков в обмотке реактора.

Для нескольких реакторов искомое поле определяется методом суперпозиции полей от каждого реактора с учетом фазового сдвига токов. Расчеты могут быть выполнены при помощи программы MathCAD.

### **5.2.8. Помехи, связанные с возмущениями в цепях питания низкого напряжения**

К основным периодическим помехам в цепях постоянного тока относится переменная составляющая напряжения (пульсации) и кондуктивные помехи радиочастотного диапазона. К импульсным относятся помехи, возникающие при срабатывании реле, электромагнитов, приводов силовых выключателей, автоматических выключателей в цепях постоянного тока.

К основным периодическим помехам в цепях питания переменного тока относят гармонические составляющие напряжения. К импульсным относят помехи, возникающие при коммутациях автоматическими выключателями в этих цепях.

Измерительную аппаратуру в ходе определения помех подключают к цепям питания по противофазной схеме (провод-провод) и при необходимости по синфазной схеме (провод – земля). При этом проводят следующие виды измерений:

– кратковременные измерения (осциллографирование формы сигнала помехи);

– длительная регистрация (в том числе при коммутациях в цепях высокого напряжения).

Кратковременные измерения проводят в нормальных режимах (стационарные режимы работы силового оборудования, режим срабатывания реле аппаратуры автоматических и автоматизированных систем технологического управления; режим срабатывания автоматических выключателей в цепях питания; режим срабатывания электромагнитных приводов силовых выключателей 6...10 кВ).

При измерениях в стационарных режимах определяют характеристики пульсаций или коэффициент синусоидальности переменного напряжения.

Помехи, возникающие при срабатывании реле, измеряют при принудительном его срабатывании, например, при опробовании силовых выключателей, проверке защит. При этом помехи измеряют в тех панелях (шкафах), где срабатывает реле.

Измерения помех при срабатывании автоматических выключателей в цепях питания проводят при коммутациях в силовых сборках, на щите собственных нужд, щите постоянного тока. Помехи фиксируют в местах установки аппаратуры систем релейной защиты и технологического управления.

Измерения помех в цепях оперативного тока при срабатывании электромагнитных приводов силовых выключателей проводят в местах установки аппаратуры систем релейной защиты и технологического управления. При этом возможно проведение коммутаций выключателями на холостом ходу. Особое внимание следует уделять этому виду помех в том случае, когда питание аппаратуры релейной защиты и технологического управления и приводов выключателей осуществляется от одной системы шин.

Длительную регистрацию проводят с целью определения диапазона характеристик помех в длительно существующих режимах.

При данном типе измерений определяют амплитуду переменных и импульсных помех в цепях постоянного тока и гармонических составляющих и импульсных помех в цепях переменного тока.

Измерения проводят в тех же цепях, что и при кратковременной регистрации.

Продолжительность измерений не менее одной недели. Их проводят при помощи самописцев или специализированных регистраторов параметров качества электрической энергии.

Анализируют также аварийные режимы в сети питания и определяют возможные уровни пульсаций в сети постоянного тока и максимальное время провалов напряжения.

### **5.2.9. Импульсные магнитные поля**

Расчетные оценки напряженностей импульсных магнитных полей проводят для случаев протекания тока молнии по молниеотводам или токоотводам молниеприемников зданий и сооружений, расположенных вблизи места размещения устройств автоматических и автоматизированных систем технологического управления. Приближенные оценки проводят по формуле

$$H = I_m / 2\pi r ,$$

где  $r$  – расстояние до молниеприемника или токоотвода, по которому проходит весь ток молнии  $I_m$  или его часть.

По результатам измерений и расчетов составляют протокол, в котором уровни электромагнитных возмущений, воздействующих на устройства автоматических и автоматизированных систем технологического управления, сравнивают с испытательными значениями для указанных устройств и кабелей вторичной коммутации. На основании проведенных сравнений делают заключение об их помехоустойчивости систем.

## **Раздел 6. Способы и средства снижения помех**

### **Тема 6.1. Пассивные помехозащитные устройства**

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

### 6.1.1. 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. 6.1).

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. 6.1, 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. 6.2).

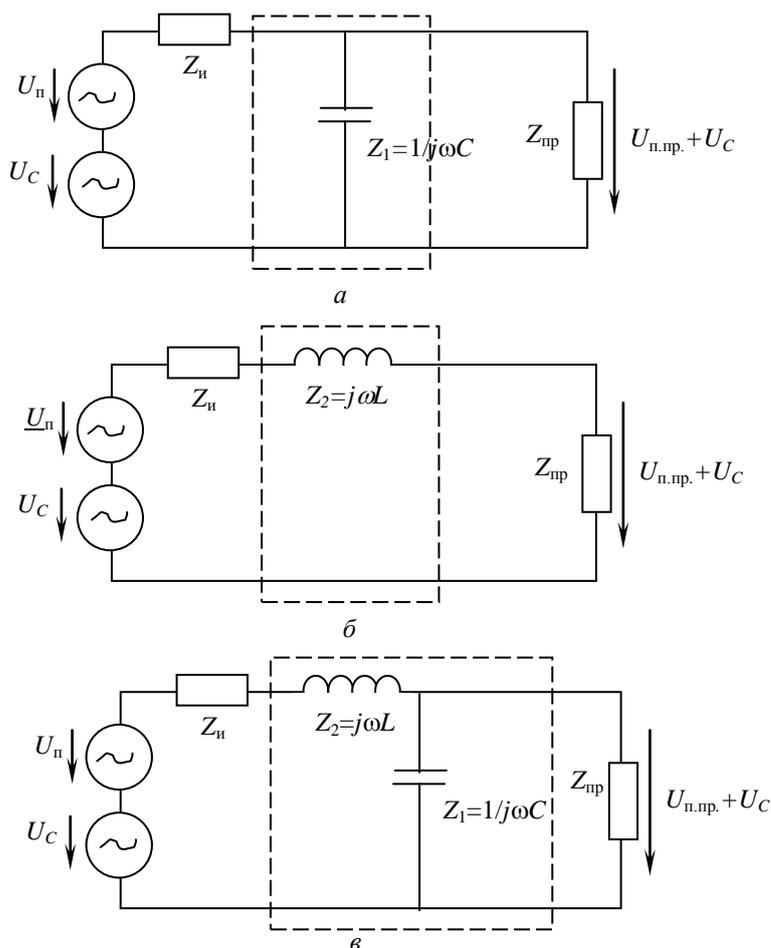


Рис. 6.1. Простые схемы включения фильтров: а – с параллельным полным сопротивлением  $Z_1$ ;

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

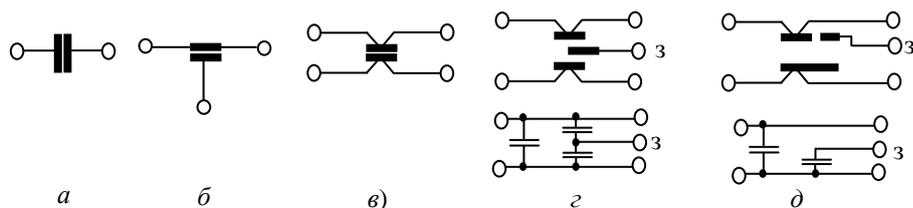


Рис. 6.2. Различные конструкции помехоподавляющих конденсаторов (с уменьшающейся собственной индуктивностью): а – двухполюсный конденсатор; б – трехполюсный конденсатор; в – четырехполюсный конденсатор; г – трехзвездный конденсатор; д – двухзвездный конденсатор

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. 6.3).

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. 6.3).

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.

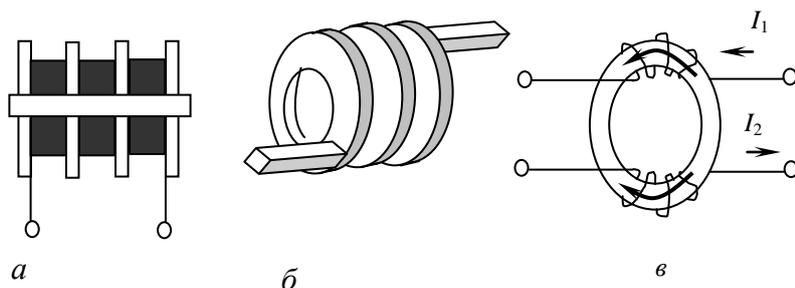


Рис. 6.3. Катушки индуктивности: а – секционированная обмотка; б – обмотка из плоской медной шины; в – компенсационная катушка

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. 6.4. Он включает в свой состав:  $Dp_1$  – катушку индуктивности для асимметричных помех,  $Dp_2$  – катушку индуктивности для симметричных помех.

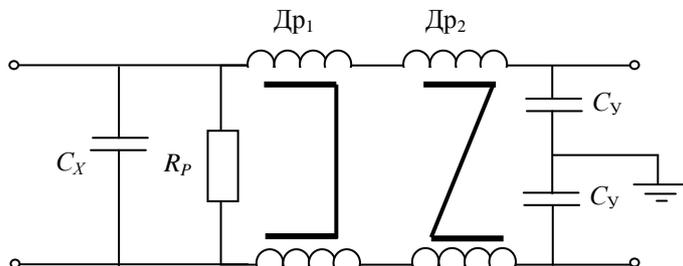


Рис. 6.4. Однофазный сетевой фильтр

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.

*Диссипативные магнетики* – это магнитные материалы, обладающие в переменном поле активными потерями, которые складываются из потерь, обусловленных вихревыми токами и перемагничиванием, и потерь на последствие. Эти потери в сердечнике могут намного превышать тепловые потери в обмотках катушек фильтра. Диссипативные индуктивности на схеме замещения изображают в виде последовательного соединения идеальной индуктивности и активного сопротивления потерь.

На основании вышеуказанных материалов изготавливают диссипативные фильтры. К ним относятся: фильтры с диссипативными компонентами; оболочки, подавляющие электромагнитные влияния, и демпфирующие линии (рис. 6.5).

Внутренний проводник демпфирующей линии состоит из одной хорошо проводящей металлической жилы, окруженной плохо проводящим диссипативным слоем. Этот проводник отделен от внешнего экрана диэлектриком. При высоких частотах ток внутреннего проводника проникает в плохо проводящую диссипативную оболочку. Дополнительные потери в диссипативном материале способствуют гашению колебаний и ограничивают область распространения помех.



Рис. 6.5. Демпфирующие линии: а – коаксиальный внутренний проводник; б – спиральный внутренний проводник

### 6.1.2. 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 перенапряжении 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 вольт-амперную характеристику (ВАХ) (рис. 6.6).

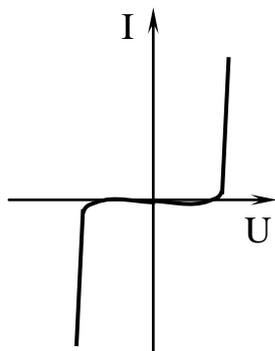


Рис. 6.6. Вольт-амперная характеристика ОПН

**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.

В цепях постоянного тока разрядник после прохождения перенапряжения при определенных обстоятельствах может не отключаться и приводить к устойчивому КЗ. Сам же ИР термически разрушается.

Первая проблема решается путем выбора ИР с нужной вольт-секундной характеристикой; вторая – путем последовательного подключения к ИР нелинейного резистора.

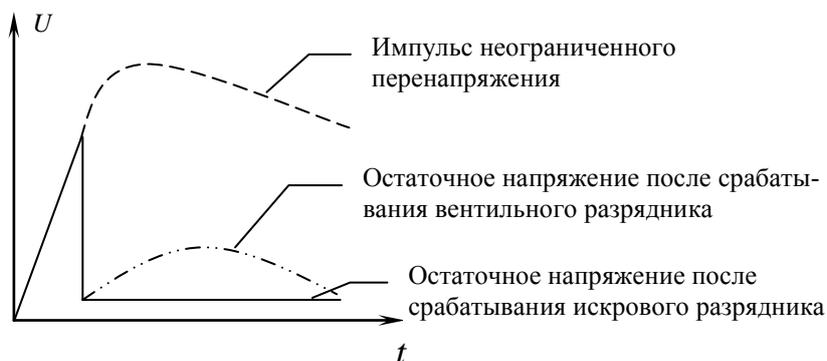


Рис. 6.7. Вольт-секундная характеристика

Широкое применение в сетях связи находят ИР, заполненные инертным газом (рис. 6.8).

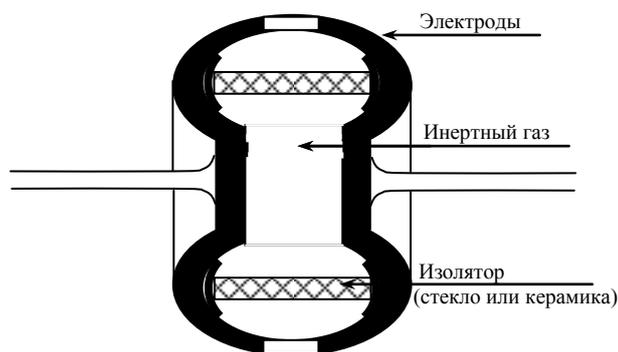


Рис. 6.8. ИР, заполненный инертным газом

### 6.1.3. 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. 6.9).

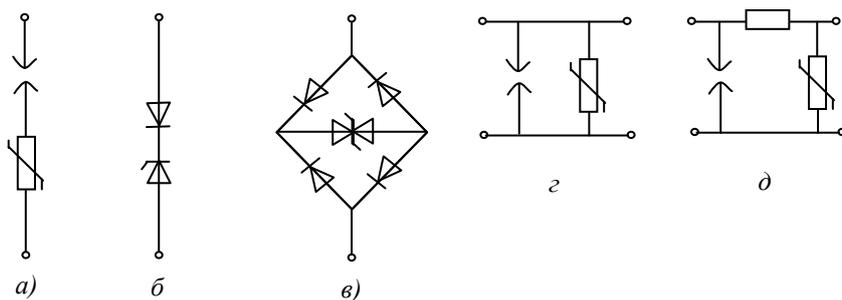


Рис. 6.9. Гибридные разрядные цепи: а – последовательное включение ИР и ОПН; б – последовательное включение помехоподавляющего и обычного полупроводникового диодов; в – мостовая схема с использованием помехоподавляющих и обычных диодов; г – прямое параллельное включение; д – косвенное параллельное включение

Самой совершенной схемой для подавления помех считается ступенчатая (рис. 6.10).

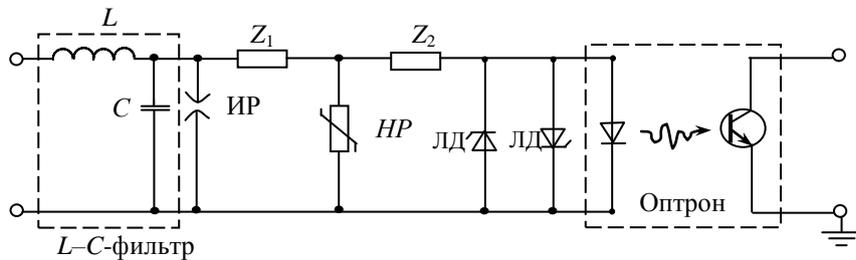


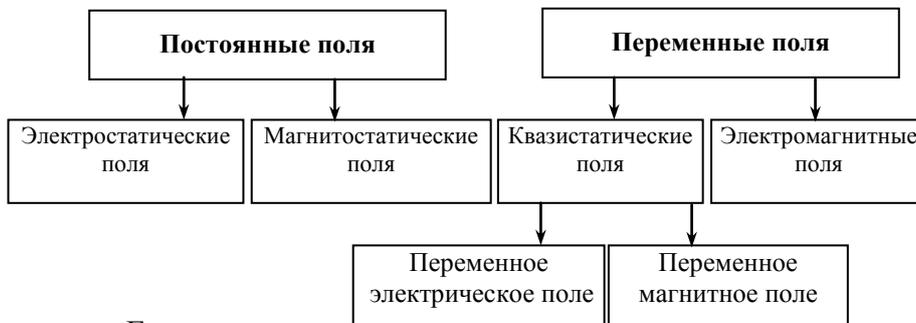
Рис. 6.10. Ступенчатая защита

#### 6.1.4. Оптроны и световодные линии

Схемы и принцип действия оптронов и световодов были рассмотрены ранее в п. 4.1.

### Тема 6.2. Электромагнитные экраны

Поля, образуемые излучениями, можно разделить на постоянные и переменные, при этом последние подразделяются на квазистатические (медленно меняющиеся) и электромагнитные (быстро меняющиеся) (рис. 6.11).



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. 6.12).

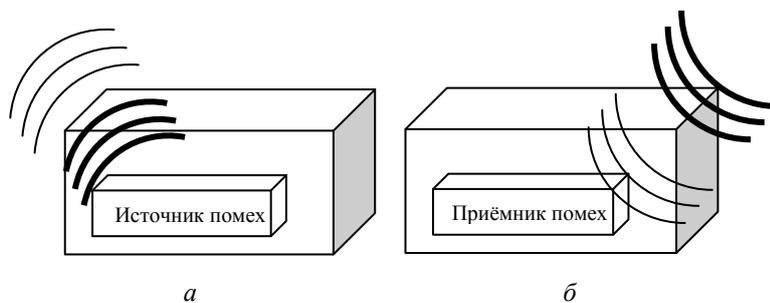


Рис. 6.12. Экранирующее действие: а – ослабление излучения источника помех; б – защита приёмника помех от излучения

Мерой экранирующего действия является коэффициент экранирования  $k_3$ , который определяется отношением напряженности поля внутри экрана к напряженности внешнего поля, которое имеет место в отсутствии экрана. Например, для магнитного поля

$$k_3 = \frac{H_{\text{внутр}}}{H_{\text{внеш}}}.$$

На практике также часто используют термин «коэффициент затухания»  $a_3$ , дБ, который определяют по формуле

$$a_3 = 20 \lg \frac{1}{k_3}.$$

Для качественного экранирования электрического поля экран должен быть изготовлен из высокопроводящего материала или из диэлектрика с высокой диэлектрической проницаемостью, магнитное поле можно экранировать при помощи ферромагнитных оболочек с большой магнитной проницаемостью. При этом экраны должны иметь гальванически замкнутые поверхности. Реальные экраны, например корпуса приборов, имеют зазоры, щели. Если отдельные стенки экрана электрически не связаны между собой, то между ними возникает разность потенциалов и экран практически не действует. При экранировании от электростатических полей необходимо прежде всего соединить экранирующие элементы между собой, по крайней мере в одной точке (рис. 6.13).

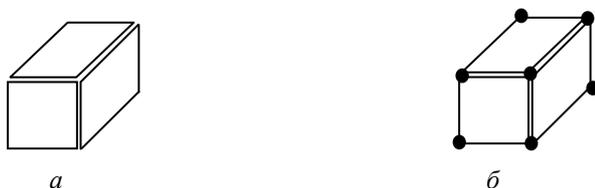


Рис. 6.13. Экранирование электрических полей: а – почти бездействующий экран с плавающими потенциалами; б – улучшение экранирования от электрических полей за счет соединений

Если в магнитное поле внести проводящую оболочку, то в ее стенках индуцируются напряжения и вследствие электропроводности возникают токи. МП этих токов направлено навстречу возбуждающему полю. Взаимодействие первоначального внешнего поля с противодействующим полем токов в стенках экрана обуславливает внутри последнего результирующие поля меньшей напряженности. Так как экранирование МП осуществляется токами в стенках экрана, необходимо избегать зазоров в нем (рис. 6.14).

При экранировании переменных магнитных полей недостаточно осуществлять выравнивание потенциалов отдельных стенок при помощи нескольких соединений, уравнивающих потенциалы. Зазоры по всей длине должны быть заполнены хорошо проводящими материалами или закорочены. Кроме того, чем выше электропроводность материала экрана, тем больше при одинаковой индуцированной напряженности ЭП токи в экране и тем выше коэффициент затухания.

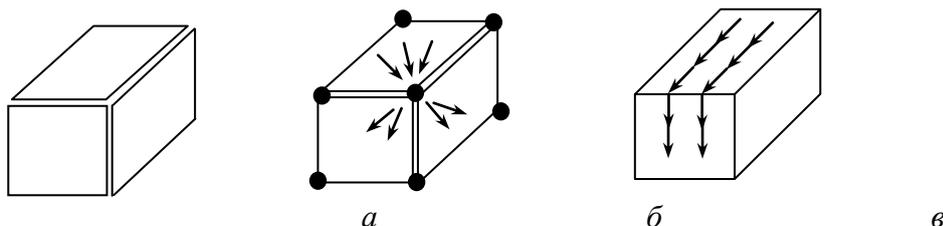


Рис. 6.14. Экранирование переменных магнитных полей: а – почти бездействующий экран; б – минимальные требования для экранов от переменных магнитных полей; в – оптимальный экран

В электротехнических установках для защиты работающих от электромагнитных излучений используют заземленные экраны, кожухи, защитные козырьки, устанавливаемые на пути излучения. Так, например, для защиты от электрических полей сверхвысокого напряжения (промышленной частоты 50 Гц) рекомендуется применение стационарных или временных заземленных экранов, навесов и перегородок из металлической сетки, особенно вблизи коммутационных аппаратов, шкафов управления и контроля. К средствам индивидуальной защиты относят переносные зонты-экраны, комбинезоны и халаты из металлизированной ткани, а также резиновые коврики, выполненные из радиопоглощающих материалов, ферромагнитные пластины и т.д.

Для изготовления экранов применяются материалы, которые имеют высокую проводимость для потоков действующих полей и которые за счет индукции в состоянии создавать противодействующее магнитное поле. Наиболее часто используются экраны из хорошо проводящих металлов и ферромагнитных материалов.

Экраны из нержавеющей стали из-за высокого удельного сопротивления и парамагнитных свойств ( $\mu_r = 1$ ) имеют очень малый коэффициент затухания по сравнению с медными и железными экранами. В некоторых случаях для улучшения экранирования применяют многослойные экраны. Наружный экран, находящийся ближе к источнику помехи, изготавливают из материала с низкой проницаемостью, но с высокой индукцией насыщения, при этом ферромагнитный экран с большим экранирующим влиянием испытывает воздействие уже ослабленного магнитного поля.

При очень низких требованиях к качеству экранирования можно в качестве экранов применять проволочную оплетку, стальную сетку и т.д.

Вследствие того что в последнее время большое значение придается электропроводящим пластмассам или пластмассам с электропроводящим покрытием, осуществляется замена металлических корпусов приборов. Применяемые в настоящее время электропроводящие пластмассы содержат большой процент добавок из металлических порошков и волокон. Пластмассовые корпуса многих приборов имеют изнутри электропроводящий слой, образуемый путем плазменного напыления, покрытия проводящими лаками и др. Даже стекла могут покрываться прозрачным электропроводящим слоем (вакуумное напыление).

## **Раздел 7. Биоэлектромагнитная совместимость**

### **Тема 7.1. 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 мочевого 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.

Проведенные за последние 15 лет исследования свидетельствуют, что ЭМП вызывают нарушения нервной деятельности и биоэлектрической активности мозга. Результаты экспериментов над животными показали, что ЭМП слабых интенсивностей может влиять на формирование памяти у эмбриона, изменять биоэлектрическую активность различных структур головного мозга, влиять на рецепторный аппарат и мембраны клеток, на условно-

рефлекторную деятельность. При оценке опасности воздействия ЭМП на головной мозг человека следует учитывать, что поглощение электромагнитной энергии может быть крайне неравномерным с образованием в тканях мозга так называемых горячих точек с последующими структурными изменениями нервных клеток в очаге поглощения энергии. Таким образом, у лиц, имеющих постоянный контакт со слабыми ЭМП, возможно развитие стрессовых реакций.

Установлено, что весьма чувствительны к ЭМП также эндокринная, иммунная и воспроизводительная системы человека. Периодическое воздействие ЭМП может привести к стойким изменениям гормонального статуса. Имеются указания на отрицательное воздействие ЭМП на генетические структуры. В последние годы было установлено новое явление: развитие процессов аутоиммунитета при воздействии ЭМП слабой интенсивности, когда в облученном организме образуются антитела, обладающие повреждающим действием, в частности, на развитие плода. Опубликованы данные о неадекватных патологических реакциях больных людей на воздействие ЭМП очень малой интенсивности.

На развитие патологических реакций организма существенно влияет:

- объем поглощенной энергии;
- длительность воздействия;
- возраст человека и образ жизни, состояние здоровья;
- факторы внешней среды;
- область излучения (например, в случае с сотовым телефоном это прежде всего головной мозг и периферические рецепторы вестибулярного, зрительного и слухового анализаторов, при этом различные участки мозга и рецепторы, в свою очередь, несут ответственность за функционирование различных систем организма).

В последние годы появились публикации, в которых указывается на наличие резонансных эффектов, ЭМП изменяют клеточный метаболизм.

Особого внимания требует возможность развития у населения отдаленных последствий рака (включая лейкемию), болезней, связанных с деградацией нервных клеток. Подобные последствия воздействия ЭМП подтверждены исследованиями, проведенными в США, Великобритании, Канаде, Исландии, Норвегии, Швеции, Финляндии, Дании, Греции (были обследованы дети и взрослые, проживающие вблизи ЛЭП, а также отдельно профессионалы энергопроизводства). К сожалению, соответствующие эпидемиологические исследования в России ранее не проводились и практически не проводятся до сих пор.

Из представленных в литературе данных видно, что к группе риска относится население, проживающее вблизи ЛЭП или имеющее длительный профессиональный контакт с электрическими или магнитными полями. При этом условия ослабленного геомагнитного поля также отрицательно влияют на здоровье людей, работающих или живущих в экранированных помещениях.

Определенную опасность для здоровья населения приобретают работы с видеодисплейными терминалами (ВДТ). Особое место в оценке опасности в данном случае имеют сочетание ЭМП широкого диапазона частот и статическое электричество. Всемирная организация здравоохранения определила исследование биологического действия низкочастотных электромагнитных полей от дисплеев как приоритетное направление на ближайшие пять лет. Прямые измерения показывают, что пользователь ВДТ постоянно находится в электромагнитном поле широкого диапазона частот: от 50 Гц до 400 кГц. Напряженность переменного электрического поля в этом диапазоне составляет от 1 до 350 В/м. При этом непосредственно на рабочем месте значения могут превышать допустимые уровни. Из 50 обследованных мониторов (разных фирм и года выпуска) только 15 % удовлетворяли общепринятым международным требованиям по электромагнитной безопасности, 54 % мониторов им полностью не соответствовали, 31 % соответствовали частично.

Уже на этапе подключения персональных компьютеров (ПК) нарушаются соответствующие гигиенические рекомендации. Расположение ПК чаще всего осуществляется без учета того, что значительные напряженности могут быть со стороны боковых и задней стенок ВДТ. При установке приэкранных фильтров на конкретный ВДТ ЭМП может претерпевать существенные изменения, например, на расстоянии от оси экрана ВДТ более 1,5 м оно

становится больше, чем при отсутствии экрана. Кроме того, появляются дополнительные «языки» в распределении ЭМП, которые могут быть направлены на людей, располагающихся справа и слева. Вместе с этим до 75 % пользователей не заземляют имеющиеся средства защиты и ПК. Неправильное самостоятельное устройство заземления приводит, наоборот, к появлению дополнительных потенциалов на корпусе ПК и защитном фильтре.

В Германии работа с ВДТ входит в список 40 наиболее опасных и вредных профессий. При длительности работы с ВДТ от двух до десяти часов в сутки могут проявляться функциональные нарушения ЦНС, болезни сердечно-сосудистой системы, верхних дыхательных путей, ЖКТ, мочеполовой системы, опорно-двигательного аппарата.

За последнее время значительно увеличилось количество средств персональной беспроводной коммуникации: ручных радиостанций различного типа, сотовой связи. При использовании сотовых радиотелефонов с избытком переоблучается головной мозг и ряд периферических рецепторов. Полученные данные о биологическом действии ЭМП сотовых телефонов заставляют ужесточать допустимые уровни этого вида излучения. Эксперты США и Швеции предлагают снизить существующие в настоящее время международные нормы в 5000 раз (исследования по этому вопросу в России не ведутся).

Опасность биологического воздействия ЭМП любого источника определяется мощностью данного источника и его удаленностью от человека – зоной риска (табл. 7.1).

Таблица 7.1

#### Зоны риска

Источники ЭМП	Зона риска
Холодильник «СТИНОЛ-110»	1,2 м от дверцы 1,5 м от задней стенки
Холодильник «БИРЮСА»	0,3 м от дверцы 0,9 м от задней стенки
Утюг «Philips 300»	0,23 м от ручки
Телевизор «Sony KV 1400»	1,1 м от экрана 1,2 м от боковой стенки
Электрорадиатор	0,3 м
Аэрогриль «Galopin»	1,4 м
Электробритва «Нева»	0,6 м вокруг
Электроплита (3 комфорки)	0,6 м
Вентилятор средней мощности	0,3 м
Бра двухламповая (лампы по 60 Вт)	0,12 м

Опасность воздействия ЭМП на организм может усугубляться в следующих случаях:

- при использовании сложных режимов генерации ЭМП;
- при воздействии на больной организм, в частности, страдающий аллергическими заболеваниями или имеющий генетическую склонность к развитию опухоли;
- при облучении организма в период эмбриогенеза и в детском возрасте;
- при совместном действии ЭМП и других факторов внешней среды обитания человека.

Ситуация осложняется тем, что органы чувств человека не воспринимают магнитные и электрические поля. Человек не чувствует этот вид излучения и не может сам контролировать его уровень присутствия. Он знает, что ЭМП есть, но не знает, какой интенсивности. В связи с этим он не может оценить степень опасности.

#### Тема 7.2. Защита человека от биологического действия ЭМП

Защита человека от неблагоприятного биологического воздействия ЭМП строится по следующим основным направлениям:

- организационные мероприятия;
- инженерно-технические мероприятия;

– лечебно-профилактические мероприятия.

В обобщенном виде функциональная схема мероприятий по обеспечению безопасности человека от воздействия ЭМП представлена на рис. 7.1.

### 7.2.1. Организационные мероприятия по защите от ЭМП

К организационным мероприятиям относятся: выбор рациональных режимов работы электрооборудования; выделение зон излучения; ограничение места и времени пребывания персонала в зоне действия ЭМП (защита расстоянием и временем); обозначение и ограждение зон с повышенным уровнем ЭМП; организация работы в аварийных ситуациях и т.д.

Для каждой установки, излучающей электромагнитную энергию выше предельно допустимого уровня (ПДУ), должны выделяться отдельные зоны, в которых интенсивность превышает ПДУ.

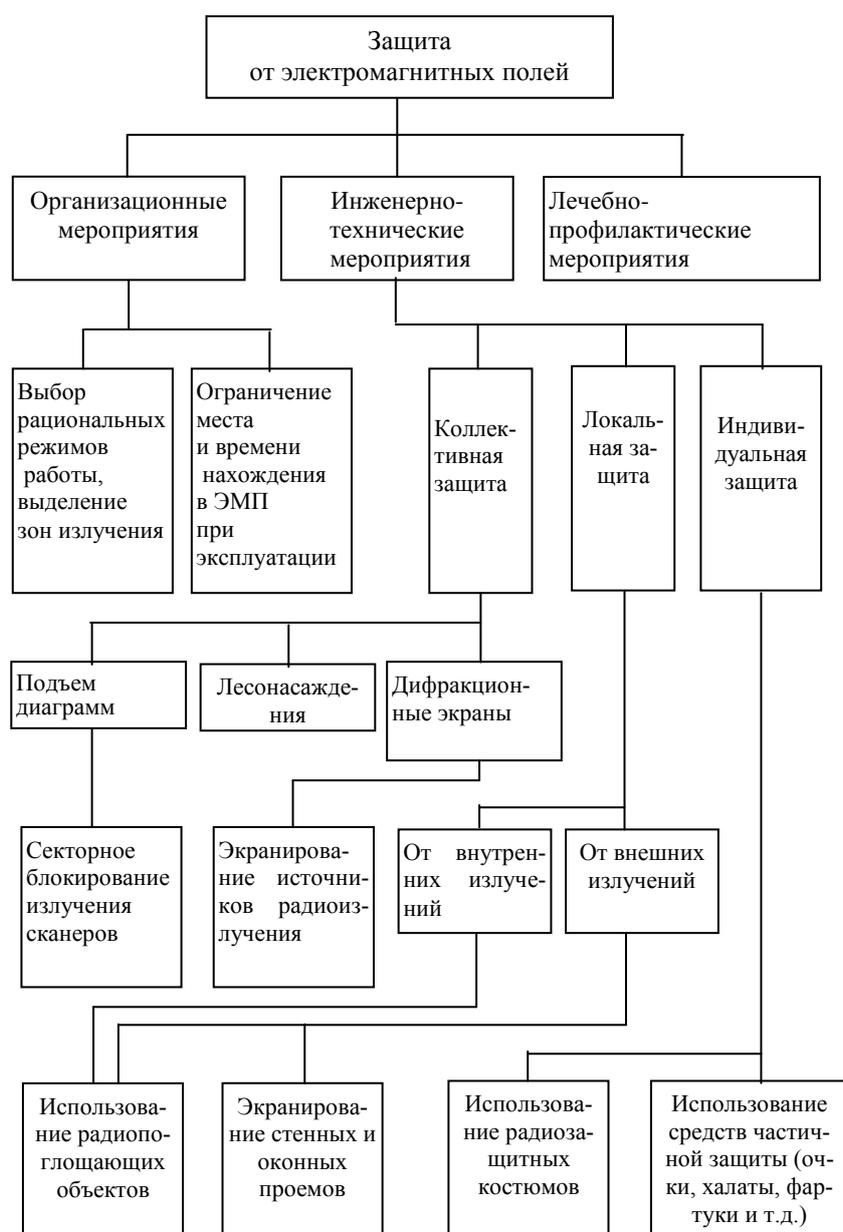


Рис. 7.1. Функциональная схема мероприятий по обеспечению безопасности человека от воздействия ЭМП

Границы зон определяются экспериментально для каждого конкретного случая размещения электроустановок при работе их на максимальную мощность излучения. Зоны стоящих рядом электроустановок не должны перекрываться или они должны работать в разное

время. В соответствии с ГОСТ 12.1.026–80 зоны излучения ограждают либо устанавливают предупреждающие знаки с надписью: «Не входить, опасно!». Такую зону можно дополнительно обозначить по границам широкими красными линиями по полу помещения, по территории, а также применять предупреждающую сигнализацию. На территории с интенсивностью облучения, превышающей ПДУ, кроме защитных зон, должны быть определены и обозначены маршруты движения.

*Защита временем* применяется тогда, когда нет возможности снизить интенсивность излучения в данной точке до предельно допустимого уровня. В действующих ПДУ предусмотрена зависимость между интенсивностью плотности потока энергии и временем облучения.

*Защита расстоянием* основывается на падении интенсивности излучения, которое обратно пропорционально квадрату расстояния, и применяется, если невозможно ослабить ЭМП другими методами, в том числе и защитой временем. Защита расстоянием положена в основу зон нормирования излучений для определения необходимого разрыва между источниками ЭМП и жилыми домами, служебными помещениями и т.д.

Важный элемент организационных мероприятий – соблюдение правил безопасной эксплуатации источников ЭМП. Запрещается работа с источниками ЭМП радиочастот при снятых заводских экранах (за исключением ремонта, настройки, регулировки и т.п.). При проведении ремонтных и наладочных работ персонал, находящийся в одном помещении с ремонтируемой установкой и в смежных помещениях, подвергается опасности облучения; для ее уменьшения рекомендуется работать при минимальной мощности генератора.

### ***7.2.2. Инженерно-технические мероприятия по защите от ЭМП***

Инженерно-технические защитные мероприятия строятся на использовании явления экранирования электромагнитных полей непосредственно в местах пребывания человека либо на мероприятиях по ограничению эмиссионных параметров источника поля. Последнее применяется, как правило, на стадии разработки устройства, служащего источником ЭМП.

Ограничение эмиссионных параметров источника ЭМП достигается формированием диаграммы направленности с заданными параметрами, применением средств компенсации ЭМП, использованием встроенных экранов, применением специальных устройств: поглотителей мощности, эквивалентов антенн, аттенюаторов, направленных ответвителей, делителей мощности, волновых ослабителей т.д.

Для уменьшения влияния на персонал паразитных излучений все установки, которые создают ЭМП радиочастот, должны выпускаться с учетом минимизации расстояния от передатчика до антенны и потерь энергии. При проектировании размещения оборудования следует стремиться к максимальному удалению рабочих мест от генераторов ЭМП, использовать дистанционное управление.

Одним из основных способов защиты от ЭМП является их экранирование в местах пребывания человека. Обычно подразумеваются два типа экранирования: экранирование источников ЭМП от людей и экранирование людей от источников. Для промышленного персонала существуют как индивидуальные, так и коллективные средства защиты от ЭМП, для населения применяются коллективные меры безопасности.

Средства защиты промышленного персонала от ЭП промышленной частоты 50 Гц включают защитные костюмы и экраны. Они должны снижать напряженность электрического поля до уровня, соответствующего допустимому при соблюдении соответствующего времени работы.

Защитные свойства экранов основаны на эффекте ослабления напряженности и искажения ЭП в пространстве вблизи заземленного металлического предмета. Основное требование к защитным свойствам экрана – снижать напряженность ЭП в защищаемом пространстве до 5 кВ/м и ниже. В зависимости от назначения и использования экраны бывают стационарными и переносными.

*Стационарные экраны* являются неотъемлемой частью электроустановок. Их изготавливают из металлических сеток и прутков, стальных канатов, в виде плоских щитов – козырьков, навесов и перегородок. Экраны разделяются на шесть типов: межъячейковые, шинные, навесы у разъединителей, навесы над пешеходными дорожками, навесы у групповых шкафов и козырьки у шкафов. Они имеют постоянное заземление.

*Переносные экраны* применяются при временных работах в открытых распределительных устройствах (ОРУ) – в местах, не защищенных стационарными экранами. Они выполняются в виде переносных съемных щитов и навесов из тех же материалов, что и стационарные экраны. Возможно изготовление их также в виде палаток, зонтов и тому подобных устройств из металлизированной ткани.

Согласно ГОСТ 12.4.154–85 [5] переносные экраны изготавливают двух типов: для работы без подъема на высоту и для люлек подъемных механизмов. Экраны заземляются на время их использования путем присоединения к заземляющему контуру ОРУ или другой заземленной конструкции.

Индивидуальным средством защиты от вредного воздействия ЭП промышленной частоты является экранирующий костюм. Он представляет собой комплект, состоящий из куртки с капюшоном и полукомбинезона, а для дежурного персонала станций – халат с капюшоном. Для ремонтного персонала дополнительно используются: экранирующий головной убор – каска с электропроводящим покрытием; специальная обувь – ботинки с проводящей подошвой, а при большой напряженности – сапоги с электропроводящим верхом; перчатки и рукавицы из токопроводящей ткани. Для экранирования лица при большой напряженности применяется съемный экран из мелкой металлической сетки или электропроводящего органического стекла. Токопроводящие элементы всех деталей экранирующего костюма имеют между собой надежный электрический контакт, согласно ГОСТ 12.4.172–87. Для изготовления элементов одежды используется металлизированная ткань, получаемая из обычной методом электрохимической металлизации. Ткань обладает малой толщиной, достаточной легкостью и гибкостью. Ее поверхностное электрическое сопротивление не превышает 2 Ом. Внутри куртки и полукомбинезона имеется подкладка из хлопчатобумажной ткани, изолирующая тело работающего от электропроводящего материала.

Защита населения от ЭП промышленной частоты, создаваемого системами передачи электроэнергии, осуществляется путем установления санитарно-защитных зон для ЛЭП, а также снижением напряженности поля в жилых зданиях и в местах возможного продолжительного пребывания людей путем применения защитных экранов. Границы санитарно-защитной зоны для ЛЭП определяются по критерию напряженности электрического поля 1 кВ/м:

Напряжение ЛЭП, кВ	330	500	750	1150
Размер санитарно-защитной зоны, м	20	30	40	50

К размещению ВЛ ультравысоких напряжений (750 и 1150 кВ) предъявляются дополнительные требования по защите населения от воздействия ЭМП. Так, ближайшее расстояние от оси проектируемых ВЛ 750 и 1150 кВ до границ населенных пунктов должно быть, как правило, не менее 250 и 300 м соответственно.

В исключительных случаях допускается приближение этих ВЛ к границам сельских населенных пунктов на меньшее расстояние или пересечение линиями указанных границ при следующих условиях:

- соблюдение габаритов, обеспечивающих напряженность электрического поля под проводами ВЛ не более 5 кВ/м;
- удаление жилой застройки за пределы санитарно-защитной зоны;
- заземление металлических изгородей и крыш домов, расположенных в санитарно-защитной зоне. Кроме того, на участке стесненной трассы (ущелья, насыпи и пр.) указанное расстояние разрешается сократить до значения, принятого для санитарно-защитной зоны.

В санитарно-защитной зоне ВЛ запрещается:

- размещать жилые дома и общественные здания и сооружения;
- устраивать площадки для стоянки и остановки всех видов транспорта;
- размещать предприятия по обслуживанию автомобилей и склады нефти и нефтепродуктов;
- производить операции с горючим, выполнять ремонт машин и механизмов.

Территорию санитарно-защитной зоны разрешается использовать как сельскохозяйственные угодья, однако рекомендуется выращивать на них культуры, не требующие ручного труда.

На территории санитарно-защитной зоны ВЛ 750 кВ и выше запрещается проведение сельскохозяйственных и других работ лицам в возрасте до 18 лет.

Машины и механизмы, находящиеся в санитарно-защитной зоне ВЛ, должны быть заземлены с помощью, например, металлической цепи, соединенной с рамой или кузовом и касающейся земли. Благодаря этому обеспечивается стекание в землю зарядов, наводимых на корпусах машин и механизмов, и тем самым исключаются разряды при прикосновении человека к машинам. Кроме того, все машины и механизмы должны иметь экраны для снижения напряженности электрического поля на рабочих местах механизаторов.

В случае, если на каком-либо участке напряженность ЭП за пределами санитарно-защитной зоны окажется выше предельно допустимой 0,5 кВ/м внутри здания и выше 1 кВ/м на территории зоны жилой застройки (в местах возможного пребывания людей), должны быть приняты меры для снижения напряженности. Для этого на крыше здания с неметаллической кровлей размещается металлическая сетка, заземленная не менее чем в двух точках. В зданиях с металлической кровлей достаточно заземлить кровлю не менее чем в двух точках. При этом сопротивление заземления не нормируется.

При экранировании ЭМП в радиочастотном диапазоне применяют разнообразные радиоотражающие и радиопоглощающие материалы. К *отражающим* материалам относят различные металлы, на практике чаще всего используются железо, сталь, медь, латунь, алюминий. Их применяют в виде листов, сетки, решеток либо в виде металлических трубок. Экранирующие свойства листового материала выше, чем у сетки, но сетка удобнее в конструктивном отношении, особенно при экранировании смотровых и вентиляционных отверстий, окон, дверей и т.д. Защитные свойства сетки зависят от размера ячейки и толщины проволоки: чем меньше размер ячейки и толще проволока, тем выше ее защитные свойства. Отрицательными свойствами отражающих материалов является то, что они в некоторых случаях создают отраженные радиоволны, которые могут усилить облучение человека.

Более удобными для экранирования являются поглощающие материалы. Листы их могут быть одно- или многослойными. Многослойные обеспечивают поглощение радиоволн в более широком диапазоне. Для улучшения экранирующего действия у многих типов радиопоглощающих материалов с одной стороны впрессована металлическая сетка или латунная фольга. При создании экранов эта поверхность обращена в сторону, противоположную источнику излучения. Хотя поглощающие материалы во многих отношениях более надежны, чем отражающие, применение их ограничивается высокой стоимостью и узостью спектра поглощения. Последний недостаток устранен в ферритах. Подбирая их состав, можно существенно менять их свойства, главным образом магнитную проницаемость.

В некоторых случаях стены защитных конструкций покрывают специальными красками, в которые добавляют коллоидное серебро, медь, графит, алюминий, порошкообразное золото.

Радиоизлучения могут проникать в помещения, где находятся люди, через оконные и дверные проемы. Для экранирования окон применяют металлизированное стекло, обладающее экранирующими свойствами. Такие свойства придает стеклу тонкая прозрачная пленка из окислов металлов (олово, медь, никель, серебро) и их сочетаний. Пленка обладает достаточной оптической прозрачностью и химической стойкостью. Будучи нанесенной на одну сторону поверхности стекла она ослабляет интенсивность излучения примерно в 1000 раз, а при нанесении на обе стороны – в 10 000 раз.

### 7.2.3. Лечебно-профилактические мероприятия

Санитарно-профилактическое обеспечение включает следующие мероприятия:

- организацию и проведение контроля выполнения гигиенических нормативов и режима работы персонала, обслуживающего источники ЭМП;
- выявление профессиональных заболеваний, обусловленных неблагоприятными факторами среды;
- разработку мер по улучшению условий труда и быта персонала, по повышению устойчивости организма работающих к воздействиям неблагоприятных факторов среды.

Текущий гигиенический контроль проводится в зависимости от параметров и режима работы излучающей установки, но, как правило, не реже одного раза в год. При этом определяются характеристики ЭМП в производственных помещениях, в помещениях жилых и общественных зданий и на открытой территории. Измерения интенсивности ЭМП также проводятся при внесении в условия и режимы работы источников ЭМП изменений, влияющих на уровни излучения (замена генераторных и излучающих элементов, изменение технологического процесса, изменение экранирования и средств защиты, увеличение мощности, изменение расположения излучающих элементов и т.д.).

В целях предупреждения, ранней диагностики и лечения нарушений в состоянии здоровья работники, связанные с воздействием ЭМП, должны проходить предварительные при поступлении на работу и периодические медицинские осмотры в порядке, установленном соответствующим приказом Министерства здравоохранения Российской Федерации.

## Раздел 8. Проблема наведенных напряжений от высоковольтных ЛЭП

Известно, что экстремально сильные поля создаются на подстанциях, в непосредственной близости от мощных электрических устройств: генераторов, двигателей, трансформаторов. К числу источников электромагнитных влияний также относятся: контактная сеть электрифицированных железных дорог; радиостанции, излучающие электромагнитную энергию высокой частоты; высоковольтные воздушные линии электропередач (ВЛ) и т.д.

В данном разделе из многогранной проблемы электромагнитной совместимости выделена проблема влияния действующих высоковольтных ВЛ 35...750 кВ на смежные устройства.

В общем случае все трехфазные ВЛ создают в окружающем пространстве неуравновешенные магнитные и электрические поля (рис. 8.1).

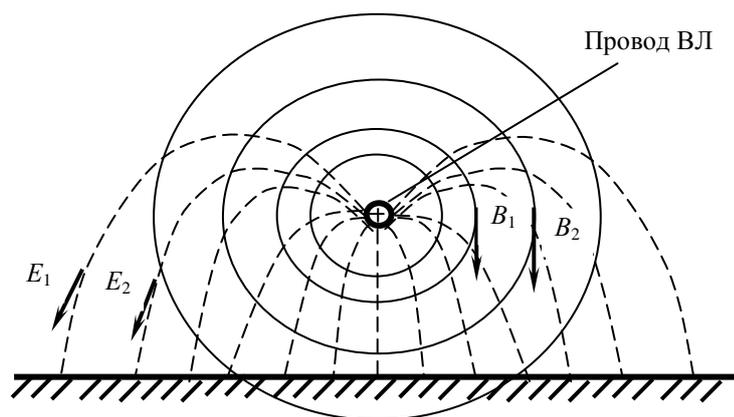


Рис. 8.1. Напряженность электрического поля ( $E$ ) и магнитная индукция магнитного поля ( $B$ ) в пространстве около провода ВЛ

Если вблизи действующей трехфазной ВЛ расположить проводник (рис. 8.2), то под влиянием электрического и магнитного полей в нём возникнут индуцированные напряжение  $U_{и}$  и ток  $I_{и}$ . Линию, в которой действует переменное напряжение и протекает переменный

ток, считают влияющей, а проводник, в котором индуцируются (наводятся) напряжения и ток, считают находящимся в зоне влияния.

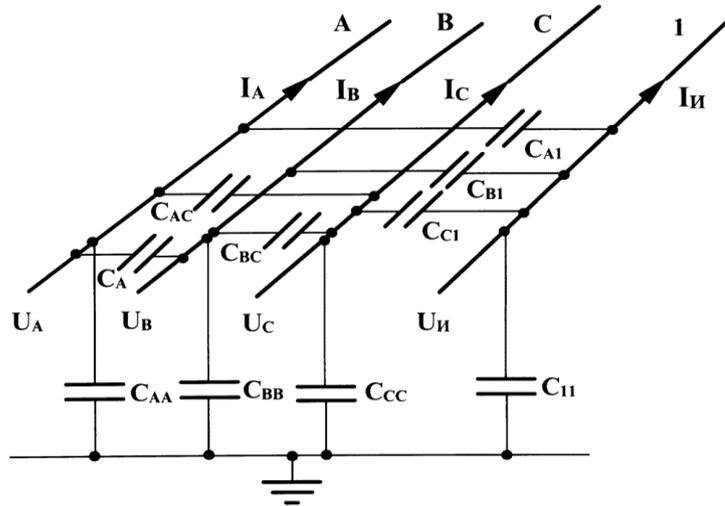


Рис. 8.2. Взаимное расположение влияющей трехфазной ВЛ и проводника, подверженного влиянию

В большинстве известных методик по оценке электромагнитных влияний уровень наведенных напряжений (УНН) представляет собой результат совместного действия электрического и магнитного полей, создаваемых токами и напряжениями действующих ВЛ. В связи с этим величина наведенного напряжения согласно принципу суперпозиции определяется как геометрическая сумма двух составляющих – электромагнитной ( $E_M$ ) и электростатической ( $U_3$ ).

Рассмотрим каждую из них детальнее.

### Тема 8.1. 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

$$E_{jkimn} = \omega n M_{jkimn} I_{jkn} l_c S_{\text{общ.м}}, \quad (8.1)$$

где  $M_{jkimn}$  – коэффициент взаимной индукции между  $m$ -м проводом  $i$ -й действующей ВЛ и  $k$ -м проводником подверженного влиянию  $j$ -го смежного устройства на частоте  $n$ -й гармоники, Гн/км;  $I_{jkn}$  – величина  $n$ -й гармоники тока в фазе  $t$   $i$ -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 (8.1) 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

$$a_3 = \sqrt{a_1 a_2} . \quad (8.2)$$

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

$$E_M = -j\omega I \sum_{i=1}^n M_i l_i . \quad (8.3)$$

Для частоты 50 Гц коэффициент взаимной индукции можно рассчитать по выражению

$$M = \left[ 1 + 2 \ln \frac{10^4}{1,78 a_3 \sqrt{10 \pi \omega \gamma_3}} - j \frac{\pi}{2} \right] 10^{-4} , \quad (8.4)$$

где  $\gamma_3$  – 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  $\gamma_3$ , будет изменяться в зависимости от погодных условий (времени года) и глубины проникания магнитного поля.

## Тема 8.2. Электрические влияния

Электростатическая составляющая наведенного напряжения  $U_3$ , обусловлена электрическими потенциалами проводов (см. рис. 8.2). 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:

$$U_{jkimn} = U_{imn} \frac{\omega n C_{jkim} l_c S_3}{\sqrt{\frac{1}{R_{3аз}^2} + \omega^2 n^2 (C_{jkim} l_c + C_{jk-k} l_j)^2}} , \quad (8.5)$$

где  $U_{imn}$  – напряжение  $n$ -й гармоники в проводе  $m$   $i$ -й действующей ВЛ;  $\omega$  – 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;  $R_{3аз}$  – 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 подвержен-

ного 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  $R_{\text{зaz}}$  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  $R_{\text{зaz}}$  от протекания емкостного тока.

В электрических сетях сопротивления реальных заземлителей  $R_{\text{зaz}}$ , в ряде случаев нормируемые (сопротивление заземляющего контура подстанции, опор ВЛ) или характеризующиеся геометрическими размерами (например, согласно ПТБ «заземлитель длиной не менее 0,5 м»), всегда имеют конкретные значения, отличные от нуля (табл. 8.1).

Таблица 8.1

Значения сопротивлений заземления

Вид заземлителя	Величина $R_{\text{зaz}}$ , Ом
Заземлители подстанции	0,5...10,0
Заземлители опор ВЛ	10...30
Система «трос – опора ВЛ»	2...5
Штырь, забитый в землю на глубину 0,5 м	50...500...1000

Величину сопротивления стержневого заземлителя, который в ряде случаев используется для заземления смежного устройства на месте производства работ, определяют из следующего выражения:

$$R_{\text{зaz}} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}, \quad (8.6)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление грунта, Ом\*м;  $l$  и  $d$  – соответственно длина и диаметр стержня, м.

Как явствует из формулы (8.6), эффективность выбора заземлителя во многом обусловлена значением удельного сопротивления грунта  $\rho$ , которое в большинстве случаев принимают для наиболее характерного в данном регионе типа грунта, предполагая его однородным, с небольшим диапазоном возможных изменений. Так, для территории, обслуживаемой «Иркутскэнерго», в летний период обычно используют  $\rho = 150...250$  Ом\*м.

После определения  $U_{jkimn}$  от всех фаз  $i$ -й ВЛ рассчитываются результирующие значения ЭСН от одноименных фаз всех действующих ВЛ и вычисляют результирующую ЭСН от всех фаз действующих ВЛ на частоте  $n$ -й гармонической составляющей. Рассчитав отдельные составляющие  $U_{jkn}$  от действия всех доминирующих гармоник тока в действующих ВЛ, можно найти окончательную величину ЭСН.

Полученная при этом величина ЭСН в случае влияния коротких линий остается неизменной по всей длине подверженного влиянию провода. При параллельном сближении длинных линий возникает необходимость учитывать изменение напряжения по длине в действующих ВЛ вследствие протекания волновых процессов.

### Тема 8.3. Результирующее значение наведенного напряжения

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

$$U_{\Sigma} = \sqrt{E_{jk}^2 + U_{jk}^2}. \quad (8.7)$$

При этом для коротких линий ЭМН изменяется при перемещении вдоль проводника, а ЭСН остается практически постоянной в любой его точке (рис. 8.3).

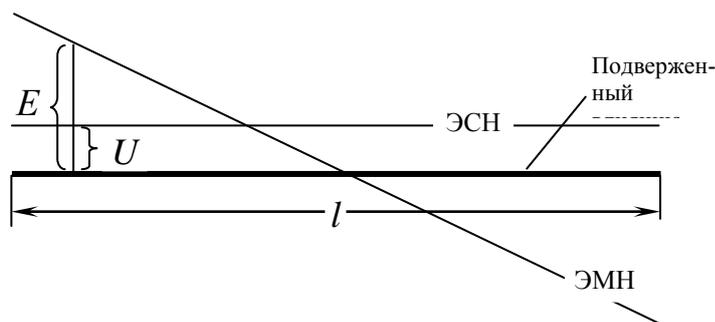


Рис. 8.3. Эюры распределения ЭСН и ЭМН вдоль подверженного влиянию проводника

#### Тема 8.4. 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 элемен-

тах 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.

Таблица 8.2

Удельные значения продольных ЭДС на проводах отключенных (строящихся) ВЛ 220...750 кВ

Диспетчерское наименование ВЛ	Величина $E_{м0}$ , кВ/м	Расчётная длина безопасного участка сближения, км
«Братск – Усть-Илимск» – 220 кВ	50,0	1,2
«Братск – Усть-Илимск» – 500 кВ	190,0	0,2
«Братск – Иркутск» – 500 кВ	42,1	1,0
«ЛГРЭС – Винница» – 330 кВ	17,6	2,4
«Винница – Бар» – 330 кВ	27,1	1,5
«Хмельницкая АЭС – Шепетовка» – 750 кВ	25,8	1,6
«Хмельницкая АЭС – Западно-Украинская» – 750 кВ	22,1	1,9

Многочисленные исследования электромагнитных влияний показали, что наибольших значений наведенных напряжений от электромагнитной составляющей нужно ожидать в следующих случаях:

- 1) на концах смежного устройства при заземлении его в одной точке;
- 2) при заземлении отключенной (строящейся) ВЛ, находящейся под наведенным напряжением, на обоих концах на значительные сопротивления заземления (10 Ом и выше). Особенно неблагоприятным оказывается тот случай, когда отключенная (строящаяся) ВЛ заземлена на контур заземления, рассчитанный не по значению сопротивления, а по напряжению прикосновения, где  $R_{зав}$  не нормируется (может оказаться, что  $R_{зав} \gg R_{внутр.ВЛ}$  и на контуре будет напряжение, составляющее большую часть  $E_m$ );
- 3) при плохом контакте (десятки или сотни Ом) переносного заземлителя между контуром заземления и смежным устройством;
- 4) на участках, где смежное устройство удаляется от влияющей ВЛ (рис. 8.4);
- 5) когда на действующей ВЛ произошло короткое замыкание.

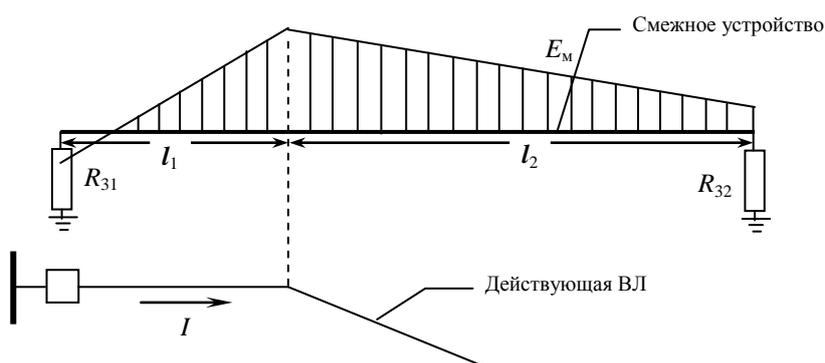


Рис. 8.4. Эюра распределения ЭМН ( $E_m$ ) вдоль смежного устройства

Участки смежных устройств, на которых величина наведенного потенциала в аварийном режиме превышает 15 кВ, считаются «зоной повышенной опасности по условию электромагнитного влияния» (ЗПО<sub>эм</sub>).

Кроме того, отдельно выделяют протяженные металлические конструкции, находящиеся под особо сильным электростатическим воздействием. Это относится к случаям, когда заземление проводника, подверженного влиянию, на инвентарный заземлитель не обеспечивает безопасных условий производства работ, поскольку величина наведенного напряжения

превышает допустимое значение, равное 25 В. Участки таких объектов считаются «зоной повышенной опасности по условию электростатического влияния» (ЗПО<sub>эс</sub>).

В связи со сказанным расчет и анализ наведенных напряжений на протяженных металлических конструкциях, находящихся в зоне электромагнитного влияния действующих ВЛ 35...750 кВ, обязателен при разработке проекта производства работ на таких объектах, а также при выборе исходных электрических схем. При этом решаются вопросы не только обеспечения безопасных условий производства работ при выполнении монтажа проводниковых конструкций, но и определения, например, целесообразности прокладки трассы проектируемых ВЛ параллельно действующим линиям.

### Тема 8.5. Способы снижения УНН

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. 8.5).

Заземление линии на её концах жестко фиксирует потенциальную характеристику, и положение точки нулевого потенциала зависит от значений сопротивлений заземляющих устройств на подстанции I (ПС<sub>I</sub>) и подстанции II (ПС<sub>II</sub>) и определяется по формуле

$$X'_0 = \frac{l_c R_{31}}{R_{31} + R_{32}}. \quad (8.8)$$

При этом точка нулевого потенциала смещается в сторону меньшего из сопротивлений заземляющих устройств (см. рис. 8.5, б).

*Схема № 2:* ВЛ на одном конце разземлена, а на другом конце заземлена на подстанционное заземление (см. рис. 8.5, 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, г):

$$U_a = \frac{E l_1}{l_1 + l_2}; \quad U_x = E - E \frac{l_1}{l_1 + l_2}. \quad (8.9)$$

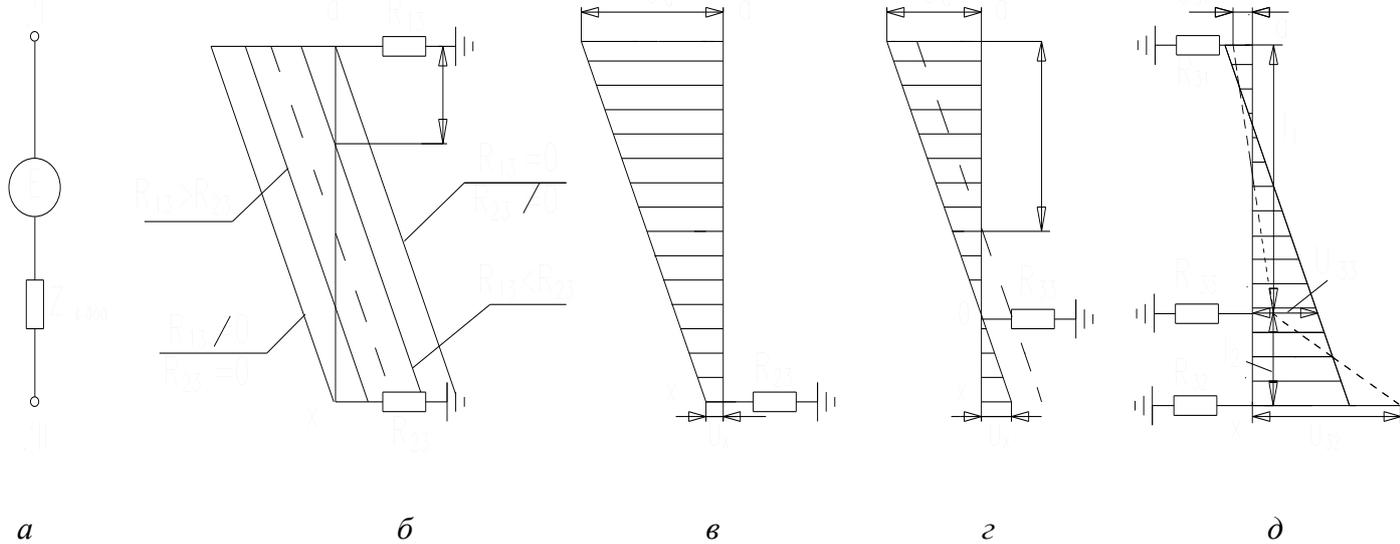


Рис. 8.5. Потенциальные характеристики провода отключенной ВЛ, находящейся в зоне электромагнитного влияния действующей ЛЭП

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. 8.5, 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:

$$U_{31} = \frac{E R_{31}}{\sqrt{(R_0 l + R_{31} + R_{32})^2 + (X_0 l)^2}}; \quad (8.10)$$

$$U_{32} = \frac{E R_{32}}{\sqrt{(R_0 l + R_{31} + R_{32})^2 + (X_0 l)^2}}, \quad (8.11)$$

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

Положение точки нулевого потенциала находят по формуле

$$X_0 = \frac{R_{31} \left( l + l_1 \frac{R_{32}}{R_{33}} \right)}{R_{31} + R_{32} + \frac{R_{31} R_{32}}{R_{33}}}, \quad (8.12)$$

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 (10.1) и (10.5), 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 8.6. Способы и средства оценки УНН

Анализ проблемы электромагнитных влияний показывает, что оценка уровней наведенных напряжений в электрических сетях энергосистем представляет достаточно сложную задачу. Величина УНН зависит от множества различных факторов: от режима работы влияющей ВЛ, взаимного расположения действующей ВЛ и подверженного влиянию устройства, протяженности трасс параллельного следования и т.д. Определить величину УНН можно двумя способами: прямыми измерениями и расчетом.

### 8.6.1. 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. 8.6).

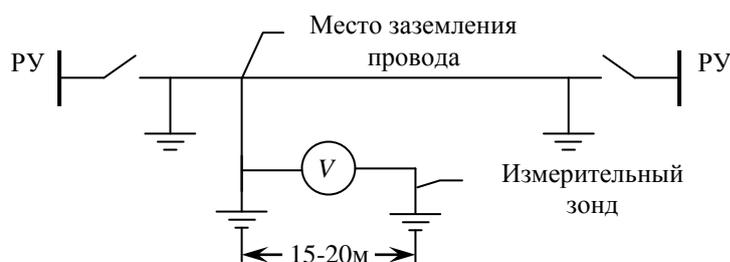


Рис. 8.6. Схема измерения наведенного напряжения на проводе отключенной ВЛ

В качестве измерительного прибора может быть использован вольтметр переменного тока любого типа с входным сопротивлением не менее 1 кОм и верхним пределом измерений не менее 0,5 кВ. Наиболее используемыми в электрических сетях являются следующие приборы для измерений: Ц4342 М1, Ц4352 М1, Ц4324, Ц4316М1, Ц2005, Ц4317М, Ц43104, Ц43109, Ц4505, С-196(С-96).

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  $1 \text{ мм}^2$  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 непревышения 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.

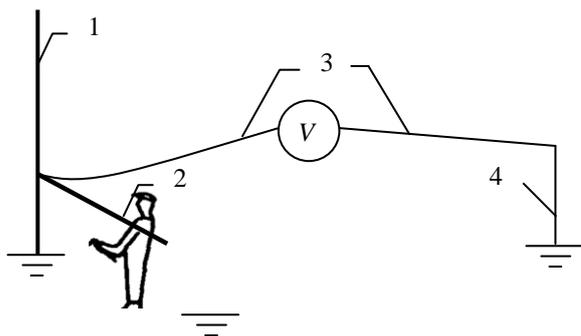


Рис. 8.7. Схема подсоединения измерительного прибора к месту заземления провода ВЛ:

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.

В процессе производства измерений фактический рабочий ток влияющей ВЛ может изменяться по значению; кроме того, он может существенно отличаться от наибольшего рабочего тока, передаваемого по проводам этой линии при максимальной ее загрузке. Значение наибольшего рабочего тока, передаваемого по ВЛ, определяется по данным диспетчерской

службы предприятия электрических сетей (энергосистемы) для конкретной ВЛ из расчета на перспективу не менее чем на один год с учетом фактических генерирующих мощностей, максимального перетока мощности по ВЛ, изменения схемы сети.

Выполняя измерения, необходимо фиксировать время, чтобы установить в диспетчерской службе (по оперативным журналам) фактическую нагрузку влияющей ВЛ в моменты измерений и в конечном итоге произвести пересчет измеренных значений напряжений на максимальную нагрузку влияющей ВЛ (см.ниже).

По окончании измерений значение наведенного напряжения  $U_{\text{рез max}}$  определяют путем пересчета результатов измерений к наибольшему рабочему току влияющей ВЛ:

$$U_{\text{рез max}} = U_{\text{изм}} \frac{I_{\text{нб}}}{I_{\text{факт}}},$$

где  $U_{\text{изм}}$  – измеренное наведенное напряжение, В;  $I_{\text{нб}}$  – наибольший рабочий ток влияющей ВЛ, А;  $I_{\text{факт}}$  – ток нагрузки влияющей ВЛ при измерении, А.

При прохождении отключенной ВЛ в коридоре нескольких влияющих ВЛ пересчет производят с учетом наибольшего рабочего тока линии, ближайшей к отключенной ВЛ, а при прочих равных условиях – линии с максимальным значением тока  $I_{\text{нб}}$ .

При изменении со временем значения наибольшего рабочего тока влияющей ВЛ необходимо произвести пересчет наведенного напряжения по формуле (8.12) на новое значение  $I_{\text{нб}}$ , используя полученные при измерениях значения  $U_{\text{изм}}$  и  $I_{\text{факт}}$ .

На основе произведенных измерений на предприятии электрических сетей должен быть составлен перечень ВЛ (ВЛС), на заземленных проводах и тросах которых остается наведенное напряжение выше 25 В (по отношению к земле) при наибольшем рабочем токе влияющих ВЛ.

### **8.6.2. 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 долевое 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.

При этом в качестве смежного устройства, подверженного электромагнитному влиянию, в новом ПВК можно рассматривать не только ВЛ, но и другие протяженные металлические коммуникации. Кроме того, в случае необходимости можно рассчитать величины наведенных напряжений одновременно на нескольких разнотипных смежных устройствах, находящихся в зоне электромагнитного влияния действующих ВЛ.

Наряду с этим математические модели, заложенные в ПВК «NAVODKA-2002», позволяют учесть в расчетах и экранирующее влияние на величину наведенного напряжения заземленных проводов и тросов, при наличии таковых на исследуемом участке. Следует также отметить, что в ПВК была отработана возможность рассчитывать наведенные напряжения при различных режимах работы действующих ВЛ: как нормальных, так и аварийных.

### **Тема 8.7. Работы на отключенной многоцепной ВЛ, находящейся под наведенным напряжением**

В соответствии с требованиями Правил по охране труда персонал, обслуживающий ВЛ, должен иметь перечень линий, которые после отключения находятся под наведенным напряжением (НН), ознакомлен с этим перечнем и значениями наводимого напряжения. Наличие наведенного напряжения на ВЛ должно быть записано в строке «Отдельные указания» наряда.

В случаях наличия на отключенных ВЛ и ВЛС наведенного напряжения перед соединением или разрывом электрически связанных участков (проводов, тросов) необходимо выровнять их потенциалы. Уравнивание потенциалов осуществляется путем соединения проводником этих участков или установкой заземлений по обе стороны разрыва (предполагаемого разрыва) с присоединением к одному заземлителю (заземляющему устройству).

На ВЛ под наведенным напряжением работы с земли, связанные с прикосновением к проводу, опущенному с опоры вплоть до земли, должны выполняться с использованием электрозащитных средств (диэлектрические перчатки, штанги) или с металлической площадки, соединенной для выравнивания потенциалов проводником с этим проводом.

Работы с земли без применения электрозащитных средств и металлической площадки допускаются при условии заземления провода в непосредственной близости к каждому месту прикосновения.

Применяемые при монтаже проводов на ВЛ под наведенным напряжением стальные тяговые канаты сначала необходимо закреплять на тяговом механизме и для выравнивания потенциалов заземлять на тот же заземлитель, что и провод. Только после этого разрешается прикреплять канат к проводу. Разъединять провод и тяговый канат можно только после выравнивания их потенциалов, т.е. после соединения каждого из них с общим заземлителем.

При монтажных работах на ВЛ под НН (подъем, визирование, натяжка, перекладка проводов из раскаточных роликов в зажимы) провод должен быть заземлен на анкерной опоре, от которой ведется раскатка, на конечной анкерной опоре, через которую проводится натяжка, и на каждой промежуточной опоре, на которую поднимается провод.

По окончании работы на промежуточной опоре заземление с провода на ней может быть снято. В случае возобновления работы, связанной с прикосновением к проводу, последний должен быть вновь заземлен на той же опоре.

На ВЛ под НН перекладку проводов из раскаточных роликов в поддерживающие зажимы следует проводить в направлении, обратном направлению раскатки. До начала перекладки необходимо, оставив заземленными провода на анкерной опоре, в сторону которой будет проводиться перекладка, снять заземление с проводов на анкерной опоре, от которой начинается перекладка.

При монтаже проводов на ВЛ под НН заземления с них можно снимать только после их перекладки в поддерживающие зажимы и окончания работ на данной опоре.

Во время перекладки проводов в зажимы смежный анкерный пролет, в котором перекладка уже закончена, следует рассматривать как находящийся под НН. Выполнять на нем работы, связанные с прикосновением к проводам, разрешается только после заземления их на рабочем месте.

Из числа ВЛ, находящихся под НН, организациям необходимо определить измерениями линии, при отключении и заземлении которых по концам (в РУ) на заземленных проводах остается потенциал наведенного напряжения выше 25В при наибольшем рабочем токе действующей ВЛ.

Все виды работ на этих ВЛ, связанные с прикосновением к проводу без применения основных электрозащитных средств, должны выполняться по технологическим картам, в которых должно быть указано размещение заземлений исходя из требований обеспечения на рабочих местах потенциала наведенного напряжения не выше 25 В.

Если на отключенной ВЛ (цепи), находящейся под НН, не удастся снизить это напряжение до 25 В, необходимо работать с заземлением проводов только на одной опоре или на двух смежных. При этом заземлять ВЛ (цепь) в РУ не допускается. Допускается работа бригады только с опор, на которых установлены заземления, или на проводе в пролете между ними.

При необходимости работы в двух и более пролетах (участках) ВЛ (цепь) должна быть разделена на электрически не связанные участки посредством разъединения петель на анкерных опорах. На каждом из таких участков у мест установки заземлений может работать лишь одна бригада.

На отключенной цепи многоцепной ВЛ с расположением цепей одна над другой можно работать только при условии, что эта цепь подвешена ниже цепей, находящихся под напряжением. Не допускается заменять и регулировать провода отключенной цепи.

При работе на одной отключенной цепи многоцепной ВЛ с горизонтальным расположением цепей на стойках должны быть вывешены красные флажки со стороны тех цепей, которые остались под напряжением. Флажки вывешивает на высоте 2...3 м от земли производитель работ с членом бригады, имеющим группу III.

Подниматься на опору со стороны цепи, находящейся под напряжением, и переходить на участки траверс, поддерживающих эту цепь, не допускается. Если опора имеет степ-болты, подниматься по ним разрешается независимо от того, под какой цепью они расположены. При расположении степ-болтов со стороны цепей, оставшихся под напряжением, подниматься на опору следует под наблюдением находящегося на земле производителя работ или члена бригады, имеющего группу III.

При работе с опор на проводах отключенной цепи многоцепной ВЛ, остальные цепи которой находятся под напряжением, заземление необходимо устанавливать на каждой опоре, на которой ведутся работы.

### 4.3. Лабораторные работы

Учебным планом не предусмотрено.

### 4.4. Практические занятия

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Тема практического занятия</i>	<i>Объем (час.)</i>	<i>Вид занятия в инте- рактивной, ак- тивной, инновационной формах, (час.)</i>
1	5.	Изучение приборов для оценки электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики	4	-
	4., 5., 7.	Оценка уровней излучения от сотовых телефонов	2	
2	8.	Расчет уровней наведенных напряжений от высоковольтных линий электропередач на смежные устройства	6	-
<b>ИТОГО</b>			<b>12</b>	-

### 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>Компетенции</i> <i>№, наименование разделов дисциплины</i>	<i>Кол-во часов</i>	<i>Компетенция</i>			<i>Σ комп.</i>	<i>t<sub>ср</sub> час</i>	<i>Вид учебных занятий</i>	<i>Оценка результатов</i>
		<i>ОПК-2</i>	<i>ПК-7</i>	<i>ПК-10</i>				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Основные понятия и определения	3	+	-	-	1	3	Лк, СР	зачет
2. Источники электромагнитных помех	11	+	-	-	1	11	Лк, СР	зачет
3. Виды связей и способы их ослабления	15	+	+	-	2	7,5	Лк, СР	зачет
4. Нормирование электромагнитных полей	7	-	+	-	1	7	Лк, СР	зачет
5. Методики определения электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики	14	-	+	-	1	14	Лк, ПЗ, СР	зачет
6. Способы и средства снижения помех	13	+	+	-	2	6,5	Лк, СР	зачет
7. Биоэлектромагнитная совместимость	9	-	-	+	1	9	Лк, ПЗ, СР	зачет
8. Проблема наведенных напряжений от высоковольтных ЛЭП	36	-	-	+	1	36	Лк, ПЗ, СР	зачет
<b>Всего часов</b>	<b>108</b>	<b>28</b>	<b>35</b>	<b>45</b>	<b>3</b>	<b>36</b>		

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

1. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: учебное пособие / Т. Н. Яковкина, А. В. Струмеляк. - Братск : БрГУ, 2014. - 152 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
<b>Основная литература</b>				
1.	Яковкина Т. Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: учебное пособие / Т. Н. Яковкина, А. В. Струмеляк. - Братск : БрГУ, 2014. - 152 с..	Лк, ПЗ	47	1
<b>Дополнительная литература</b>				
2.	Яковкина Т. Н. Электромагнитная совместимость в электросилового оборудования систем электроснабжения : учебное пособие / Т. Н. Яковкина, А. В. Струмеляк. - Братск : БрГУ, 2015. - 103 с.	Лк, ПЗ	23	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: <a href="http://ecat.brstu.ru/catalog/Ресурсы%20свободного%20доступа/Артюхов%20И.И.Электромагнитная%20совместимость%20и%20качество%20электроэнергии.Уч.пособие.2015.pdf">http://ecat.brstu.ru/catalog/Ресурсы%20свободного%20доступа/Артюхов%20И.И.Электромагнитная%20совместимость%20и%20качество%20электроэнергии.Уч.пособие.2015.pdf</a>	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=](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--plai/how-to-search/> .

## **9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению практических занятий**

#### **Практическое занятие №1**

#### **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 5.2 раздела 5.

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 №2**

#### **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/см<sup>2</sup> 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 <sub>пду</sub> , В/м	300 МГц-300 ГГц /ППЭ <sub>пду</sub> , мкВт/см <sup>2</sup>
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
0,25	57	800
0,125 (для Е <sub>пду</sub> )/0,2 (для ППЭ <sub>пду</sub> ) и менее	80	1000

Примечание: при продолжительности воздействия менее указанного времени, дальнейшее повышение интенсивности воздействия не допускается.

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;
2. Результаты измерений;
3. Выводы и анализ полученных результатов.

### Задания для самостоятельной работы:

Изучить теоретический материал по теме 4.2 раздела 4, теме 5.2 раздела 5 и теме 7.1 раздела 7.

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 №3**

### **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 ПВК «NAVODKA-2002». Сделать выводы по результатам расчетов.
2. Построить эпюры распределения ЭМН и ЭСН вдоль проводов отключенной ВЛ.
3. 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.
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:

1. Изобразить в масштабе заданные преподавателем опоры отключенной и действующей ВЛ;
2. Определить габаритные размеры трассы параллельного сближения;
3. Рассчитать величины электростатической, электромагнитной составляющих наведенного напряжения и их результирующую величину с помощью ПВК «NAVODKA-2002».
4. Построить эпюры распределения ЭМН и ЭСН вдоль проводов отключенной ВЛ.
5. 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.
6. 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.
7. 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;
5. Выводы по работе.

Задания для самостоятельной работы:

Изучить теоретический материал по темам раздела 8.

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**

- ОС Windows 7 Professional
- Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level
- Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Security.
- OpenOffice
- LibreOffice
- Adobe Reader
- doPDF
- 7-Zip
- Navodka 2002 v.1.00

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

<i>Вид занятия</i>	<i>Наименование аудитории</i>	<i>Перечень основного оборудования</i>	<i>№ ПЗ, №Лк</i>
1	2	3	4
Лк	Техника высоких напряжений	костюмы для экранирования электромагнитного поля	№11,18
		защитные разрядники	№16
ПЗ	Техника высоких напряжений	измерительный комплекс «ПЗ-50В»	№ 1
		измеритель электромагнитного поля Актаком АТТ-2593	№ 1,2
		измерительный комплекс «ВЕ-МЕТР-АТ-002»	№ 1

		комплекс Циклон-05М	№ 1
		ПВК «NAVODKA-2002»	№ 3
СР	ЧЗЗ	оборудование 15-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 применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении экспериментальных задач	1. Основные понятия и определения	1.1. Электромагнитная обстановка на объектах электроэнергетики 1.2. Общая характеристика схем сетей электропитания	Вопросы к зачету 1.1-1.4		
		2. Источники электромагнитных помех	2.1.Классификация источников помех 2.2.Источники узкополосных помех 2.3.Источники широкополосных импульсных помех 2.4.Источники широкополосных переходных помех	Вопросы к зачету 2.1-2.9		
		3. Виды связей и способы их ослабления	3.1.Гальваническая связь 3.2.Емкостная связь 3.3.Индуктивная связь 3.4.Электромагнитная связь длинных линий 3.5.Помехи в кабелях связи, обусловленные электромагнитными воздействиями	Вопросы к зачету 3.1-3.6		
		6.Способы и средства снижения помех	6.1.Пассивные помехозащитные устройства 6.2.Электромагнитные экраны	Вопросы к зачету 6.1-6.6		
		3.Виды связей и способы их ослабления	3.1.Гальваническая связь 3.2.Емкостная связь 3.3.Индуктивная связь 3.4.Электромагнитная связь длинных линий 3.5.Помехи в кабелях связи, обусловленные электромагнитными воздействиями	Вопросы к зачету 3.1-3.6		
		4. Нормирование электромагнитных полей	4.1.Нормирование электромагнитных полей для условий профессионального облучения 4.2.Нормирование электромагнитных полей для населения	Вопросы к зачету 4.1-4.4.		
		5. Методика определения электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики	5.1.Общие положения 5.2.Основные этапы проведения работ по определению электромагнитной обстановки	Вопросы к зачету 5.1-5.10		
		6.Способы и средства снижения помех	6.1.Пассивные помехозащитные устройства 6.2.Электромагнитные экраны	Вопросы к зачету 6.1-6.6		
		ПК-7	готовность обеспечивать требуемые режимы и заданные параметры технологического процесса по заданной методике	3.Виды связей и способы их ослабления	3.1.Гальваническая связь 3.2.Емкостная связь 3.3.Индуктивная связь 3.4.Электромагнитная связь длинных линий 3.5.Помехи в кабелях связи, обусловленные электромагнитными воздействиями	Вопросы к зачету 3.1-3.6
				4. Нормирование электромагнитных полей	4.1.Нормирование электромагнитных полей для условий профессионального облучения 4.2.Нормирование электромагнитных полей для населения	Вопросы к зачету 4.1-4.4.
5. Методика определения электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики	5.1.Общие положения 5.2.Основные этапы проведения работ по определению электромагнитной обстановки			Вопросы к зачету 5.1-5.10		
6.Способы и средства снижения помех	6.1.Пассивные помехозащитные устройства 6.2.Электромагнитные экраны			Вопросы к зачету 6.1-6.6		

ПК-10	способность использовать правила техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда	7. Биоэлектромагнитная совместимость	7.1. Влияние электромагнитных полей на биоорганизмы	Вопросы к зачету 7.1-7.5
			7.2. Защита человека от биологического действия электромагнитных полей	
		8. Проблема наведенных напряжений от высоковольтных ЛЭП	8.1. Магнитные влияния	Вопросы к зачету 8.1-8.7
			8.2. Электрические влияния	
			8.3. Результирующее значение наведенного напряжения	
			8.4. Проблема наведенных напряжений в электрических сетях	
			8.5. Способы снижения наведенных напряжений	
			8.6. Способы и средства оценки наведенных напряжений	
			8.7. Работы на отключенной многоцепной ВЛ, находящейся под наведенным напряжением	

#### 4. Вопросы к зачету

№ п/п	Компетенции		ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ	№ и наименование раздела
	Код	Определение		
1	2	3	4	5
1.	ОПК-2	Способность применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении экспериментальных задач	1.1. Понятие об электромагнитной совместимости	1. Основные понятия и определения
			1.2. Электромагнитная совместимость приемника и передатчика электромагнитной энергии	
			1.3. Проблемы электромагнитной совместимости на предприятиях электроэнергетики	
			1.4. Электромагнитная обстановка на объектах электроэнергетики.	
			2.1. Общие сведения об источниках помех	2. Источники электромагнитных помех
			2.2. Классификация источников помех	
			2.3. Источники узкополосных помех	
			2.4. Источники широкополосных импульсных помех	
			2.5. Источники широкополосных переходных помех	
			2.6. Коммутация тока в индуктивных цепях	
			2.7. Переходные процессы в сетях низкого напряжения	
			2.8. Переходные процессы в сетях высокого напряжения	
			2.9. Электромагнитный импульс молнии	3. Виды связей и способы их ослабления
			3.1. Гальваническая связь через цепи питания	
			3.2. Гальваническая связь через контур заземления	
			3.3. Емкостная связь	
			3.4. Индуктивная связь	
			3.5. Электромагнитная связь длинных линий	6. Способы и средства снижения помех
			3.6. Помехи в кабелях связи, обусловленные электромагнитными воздействиями	
			6.1. Пассивные помехозащитные устройства	
6.2. Фильтры				
6.3. Разрядники для защиты от перенапряжений				
6.4. Гибридные разрядные цепи				
6.5. Оптрона и световодные линии				

			<b>6.6. Электромагнитные экраны</b>	
<b>2.</b>	ПК-7	готовность обеспечивать требуемые режимы и заданные параметры технологического процесса по заданной методике	<b>3.1. Гальваническая связь через цепи питания</b>	<b>3. Виды связей и способы их ослабления</b>
			<b>3.2. Гальваническая связь через контур заземления</b>	
			<b>3.3. Емкостная связь</b>	
			<b>3.4. Индуктивная связь</b>	
			<b>3.5. Электромагнитная связь длинных линий</b>	
			<b>3.7. Помехи в кабелях связи, обусловленные электромагнитными воздействиями</b>	<b>4. Нормирование электромагнитных полей</b>
			<b>4.1. Нормирование электромагнитных полей. ГОСТы, СанПиН</b>	
			<b>4.2. Нормирование электромагнитных полей для условий профессионального облучения</b>	
			<b>4.3. Выполнение работ в условиях воздействия электромагнитных полей радиочастот</b>	
			<b>4.4. Нормирование электромагнитных полей для населения</b>	<b>5. Методика определения электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики</b>
			<b>5.1. Основные этапы проведения работ по определению электромагнитной обстановки</b>	
			<b>5.2. Исходные данные и состав работ по определению ЭМО на объекте</b>	
			<b>5.3. Анализ воздействия на кабели систем релейной защиты и технологического управления токов и напряжений промышленной частоты</b>	
			<b>5.4. Методика определения импульсных помех, обусловленных переходными процессами в цепях высокого напряжения при коммутациях и коротких замыканиях</b>	
			<b>5.5. Оценка импульсных помех при ударах молнии</b>	
			<b>5.6. Методика определения электромагнитных полей радиочастотного диапазона</b>	
			<b>5.7. Оценка разрядов статического электричества</b>	
			<b>5.8. Измерения магнитных полей промышленной частоты</b>	
			<b>5.9. Оценка помех, связанных с возмущениями в цепях питания низкого напряжения</b>	
			<b>5.10. Измерения импульсных магнитных полей</b>	<b>6. Способы и средства снижения помех</b>
<b>6.1. Пассивные помехозащитные устройства</b>				
<b>6.2. Фильтры</b>				
<b>6.3. Разрядники для защиты от перенапряжений</b>				
<b>6.4. Гибридные разрядные цепи</b>				
<b>6.5. Оптрона и световодные линии</b>				
<b>6.6. Электромагнитные экраны</b>	<b>7. Биоэлектромагнитная совместимость</b>			
<b>7.1. Проблемы биоэлектромагнитной совместимости</b>				
<b>7.2. Влияния электромагнитных полей на биоорганизмы</b>				
<b>7.3. Защита человека от биологического действия электромагнитных полей. Организационные мероприятия по защите от электромагнитных полей</b>				
<b>7.4. Защита человека от биологического действия электромагнитных полей. Инженерно-технические мероприятия по защите от электромагнитных полей</b>				
<b>7.5. Защита человека от биологического действия электромагнитных полей. Лечебно-профилактические мероприятия</b>	<b>8. Проблема наведенных напряжений от высоковольтных ЛЭП</b>			
<b>8.1. Проблема наведенных напряжений от высоковольтных ЛЭП</b>				
<b>8.2. Электромагнитная составляющая наведенного напряжения</b>				
<b>8.3. Электростатическая составляющая наведенного напряжения</b>				
<b>8.4. Проблема наведенных напряжений в электрических</b>				
<b>3.</b>	ПК-10	способность использовать правила техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда	<b>7.1. Проблемы биоэлектромагнитной совместимости</b>	<b>7. Биоэлектромагнитная совместимость</b>
			<b>7.2. Влияния электромагнитных полей на биоорганизмы</b>	
			<b>7.3. Защита человека от биологического действия электромагнитных полей. Организационные мероприятия по защите от электромагнитных полей</b>	
			<b>7.4. Защита человека от биологического действия электромагнитных полей. Инженерно-технические мероприятия по защите от электромагнитных полей</b>	
			<b>7.5. Защита человека от биологического действия электромагнитных полей. Лечебно-профилактические мероприятия</b>	
			<b>8.1. Проблема наведенных напряжений от высоковольтных ЛЭП</b>	<b>8. Проблема наведенных напряжений от высоковольтных ЛЭП</b>
			<b>8.2. Электромагнитная составляющая наведенного напряжения</b>	
			<b>8.3. Электростатическая составляющая наведенного напряжения</b>	
			<b>8.4. Проблема наведенных напряжений в электрических</b>	

		сетях	
		8.5. Способы снижения наведенных напряжений	
		8.6. Методы и средства оценки наведенных напряжений	
		8.7. Правила проведения работ на отключенных (строящихся) воздушных линиях, находящихся в зоне наведенного напряжения	

### 3. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p><b>Знать</b> (ОПК-2)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- виды влияния сильноточных цепей на слаботочные цепи;</li> <li>- методы расчёта электрических, магнитных и гальванических влияний;</li> </ul> <p>(ПК-7):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- нормы допустимых опасных и мешающих влияний;</li> <li>- особенности экранирующего действия тросов, оболочек кабелей;</li> <li>- механизм возникновения и воздействия электромагнитного импульса ядерного взрыва;</li> <li>- принципы защиты от электромагнитных импульсов силовых и слаботочных цепей на объектах электроэнергетики;</li> </ul> <p>(ПК-10):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– основные правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок;</li> <li>– технические требования и нормы по охране труда;</li> </ul> <p><b>Уметь</b> (ОПК-2):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- на основании теоретического и экспериментального исследования разрабатывать мероприятия по уменьшению опасных и мешающих влияний;</li> </ul> <p>(ПК-7):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- обеспечить защиту от электромагнитных влияний на объектах электроэнергетики;</li> </ul> <p>(ПК-10):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– формировать законченное представление об организации безопасного проведения работ в зоне электромагнитных влияний;</li> <li>– осуществлять непосредственное руководство работами в электроустановках любого напряжения,</li> <li>– чётко обозначать и излагать требования о мерах безопасности;</li> </ul> <p><b>Владеть</b> (ОПК-2):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками применения физико-математического аппарата для оценки опасного и мешающего магнитного, электрического и гальванического влияний сильноточных цепей на смежные устройства;</li> </ul> <p>(ПК-7):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками расчёта режимов работы технологического оборудования, обеспечивающих электромагнитную совместимость;</li> </ul> <p>(ПК-10):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками безопасного проведения работ в электроустановках, находящихся в зоне электромагнитных влияний;</li> <li>- навыками практического применения электротехнических средств при работе в зоне электромагнитных влияний действующих электроустановок.</li> </ul>	<p><b>зачтено</b></p>	<p>Обучающийся глубоко и прочно усвоил программный материал, <b>знает</b>: виды влияния сильноточных цепей на слаботочные цепи; методы расчёта электрических, магнитных и гальванических влияний; нормы допустимых опасных и мешающих влияний; принципы защиты от электромагнитных импульсов силовых и слаботочных цепей на объектах электроэнергетики; основные правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок; технические требования и нормы по охране труда;</p> <p><b>умеет</b>: разрабатывать мероприятия по уменьшению опасных и мешающих влияний; обеспечить защиту от электромагнитных влияний на объектах электроэнергетики;</p> <p><b>владеет</b>: навыками применения физико-математического аппарата для оценки опасного и мешающего магнитного, электрического и гальванического влияний сильноточных цепей на смежные устройства; безопасного проведения работ в электроустановках, находящихся в зоне электромагнитных влияний; практического применения электротехнических средств при работе в зоне электромагнитных влияний действующих электроустановок</p>
	<p><b>не зачтено</b></p>	<p>Обучающийся допустил существенные ошибки при ответе на вопросы, на дополнительные вопросы давал неправильные ответы; все вышеуказанные разделы не усвоены</p>

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

Дисциплина Электромагнитная совместимость направлена на ознакомление с проблемами электромагнитной совместимости технических устройств, применяемых на объектах электроэнергетики, на изучение механизма влияний силовых цепей на смежные устройства, в том числе на слаботочные цепи, к которым относятся линии связи и автоматики.

Изучение дисциплины Электромагнитная совместимость предусматривает:

- лекции,
- практические занятия,
- зачет.

В ходе освоения раздела 1 «Основные понятия и определения» студенты должны уяснить:

- что такое электромагнитная совместимость;
- какие проблемы могут возникнуть при нарушении электромагнитной совместимости.

В ходе освоения раздела 2 «Источники электромагнитных помех» студенты должны уяснить:

- какие основные источники помех окружают человека в быту и на производстве;
- на какие группы подразделяются источники электромагнитных помех.

В ходе освоения раздела 3 «Виды связей и способы их ослабления» студенты должны уяснить:

- каким образом помехи передаются от источника к приемнику;
- какие механизмы применимы для ослабления передаваемых помех.

В ходе освоения раздела 4 «Нормирование электромагнитных полей» студенты должны уяснить:

- какие нормативные документы применяются в отечественных электрических сетях и за рубежом;
- какие предельно-допустимые уровни установлены для нормирования электромагнитных полей.

В ходе освоения раздела 5 «Методика определения электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики» студенты должны изучить:

- основные этапы проведения работ по определению электромагнитной обстановки;
- исходные данные и состав работ по определению ЭМО на объекте;
- основные методики по исследованию различных видов помех.

В ходе освоения раздела 6 «Способы и средства снижения помех» студенты должны уяснить:

- способы и средства снижения помех, передающихся по проводам;
- способы и средства снижения помех, передающихся посредством электромагнитных полей.

В ходе освоения раздела 7 «Биоэлектромагнитная совместимость» студенты должны изучить:

- механизм влияния электромагнитного поля на биологические организмы;
- основные поражающие факторы;
- основные способы защиты от вредного воздействия электромагнитных полей.

В ходе освоения раздела 8 «Проблема наведенных напряжений от высоковольтных ЛЭП» студенты должны изучить:

- механизм появления наведенных напряжений на проводниках, расположенных в непосредственной близости от высоковольтных ЛЭП;
- методики расчета уровней наведенных напряжений;
- правила проведения прямых измерений уровней наведенных напряжений;
- способы снижения наведенных напряжений до безопасных величин;
- технологию производства работ на объектах, находящихся в зоне действия наведенных напряжений.

Необходимо овладеть навыками и умениями применять физико-математический аппа-

рат для оценки электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики.

В процессе изучения дисциплины рекомендуется на первом этапе обратить внимание на механизмы возникновения и передачи электромагнитных помех.

При подготовке к зачету рекомендуется особое внимание уделить следующим вопросам:

1. Электромагнитная совместимость приемника и передатчика электромагнитной энергии
2. Проблемы электромагнитной совместимости на предприятиях электроэнергетики
3. Электромагнитная обстановка на объектах электроэнергетики.
4. Общие сведения об источниках помех
5. Источники узкополосных помех
6. Источники широкополосных помех
7. Гальваническая связь
8. Емкостная связь
9. Индуктивная связь
10. Электромагнитная связь длинных линий
11. Пассивные помехозащитные устройства
12. Электромагнитные экраны
13. Нормирование электромагнитных полей. ГОСТы, СанПиН
14. Основные этапы проведения работ по определению электромагнитной обстановки
15. Исходные данные и состав работ по определению ЭМО на объекте
16. Анализ воздействия на кабели систем релейной защиты и технологического управления токов и напряжений промышленной частоты
17. Методика определения импульсных помех, обусловленных переходными процессами в цепях высокого напряжения при коммутациях и коротких замыканиях
18. Оценка импульсных помех при ударах молнии
19. Методика определения электромагнитных полей радиочастотного диапазона
20. Оценка разрядов статического электричества
21. Измерения магнитных полей
22. Оценка помех, связанных с возмущениями в цепях питания низкого напряжения
23. Проблемы биоэлектромагнитной совместимости
24. Защита человека от биологического действия электромагнитных полей
25. Проблема наведенных напряжений от высоковольтных ЛЭП
26. Электромагнитная и электростатическая составляющие наведенного напряжения
27. Способы снижения наведенных напряжений
28. Методы и средства оценки наведенных напряжений
29. Правила проведения работ на отключенных (строющихся) воздушных линиях, находящихся в зоне наведенного напряжения

В процессе проведения практических занятий происходит закрепление навыков измерения и анализа электромагнитной обстановки, навыков решения проблем электромагнитной совместимости.

Самостоятельную работу необходимо начинать с изучения теоретического материала.

В процессе консультации с преподавателем необходимо выяснить все непонятные моменты.

Работа с литературой является важнейшим элементом в получении знаний по дисциплине. Прежде всего, необходимо воспользоваться списком рекомендуемой по данной дисциплине литературы.

Предусмотрено проведение аудиторных занятий в интерактивной форме (в виде лекции-дискуссии, лекции-беседы, лекции с разбором конкретных ситуаций, просмотр и обсуждение видеоматериалов) в сочетании с внеаудиторной работой.

## **АННОТАЦИЯ** **рабочей программы дисциплины**

### **Электромагнитная совместимость**

#### **1. Цель и задачи дисциплины**

Целью изучения дисциплины является: формирование знаний об электромагнитной совместимости различных устройств, применяемых на объектах электроэнергетики, влиянии силовых цепей на смежные устройства, в том числе на слаботочные цепи, к которым относятся линии связи и автоматики.

Задачей изучения дисциплины является: освоение методов оценки параметров электромагнитной совместимости технических средств в электрических сетях высокого и сверхвысокого напряжения, методов обеспечения электромагнитной совместимости.

#### **2. Структура дисциплины**

2.1 Распределение трудоемкости по отдельным видам учебных занятий, включая самостоятельную работу: Лк 48 ч; ПЗ 12 ч; СР 48 ч.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 108 часа, 3 зачетных единиц

2.2 Основные разделы дисциплины:

- 1 - Основные понятия и определения;
- 2 - Источники электромагнитных помех;
- 3- Виды связей и способы их ослабления;
- 4 - Нормирование электромагнитных полей;
- 5 - Методика определения электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики;
- 6 - Способы и средства снижения помех;
- 7 - Биоэлектромагнитная совместимость;
- 8 - Проблема наведенных напряжений от высоковольтных ЛЭП.

#### **3. Планируемые результаты обучения (перечень компетенций)**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- ОПК-2 - способность применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении экспериментальных задач
- ПК-7 - готовность обеспечивать требуемые режимы и заданные параметры технологического процесса по заданной методике
- ПК-10 - способность использовать правила техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда

#### **4. Вид промежуточной аттестации: зачет**

*Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе  
на 20\_\_-20\_\_ учебный год*

1. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие дополнения:

---

---

2. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие изменения:

---

---

---

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.,  
(разработчик)

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.)

Программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника от «03» сентября 2015 г. № 955 и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «12» ноября 2015г. №701, заочной формы обучения от «12» ноября 2015г. №701, учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «6» июня 2016г. №429, заочной формы обучения от «6» июня 2016г. №429 для заочной (ускоренной) формы обучения от «6» июня 2016г. №429, учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «6» марта 2017г. №125 , заочной формы обучения от «6» марта 2017г. №125 для заочной (ускоренной) формы обучения от «4» апреля 2017г. №203, учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «12» марта 2018г. №130, заочной формы обучения от «12» марта 2018г. №130

**Программу составил:**

Яковкина Т.Н., доцент, к.т.н. \_\_\_\_\_

Рабочая программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры ЭиЭ

от «\_\_» \_\_декабря\_\_ 2018 г., протокол №\_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой ЭиЭ \_\_\_\_\_ Булатов Ю.Н.

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий выпускающей кафедрой ЭиЭ \_\_\_\_\_ Булатов Ю.Н.

Директор библиотеки \_\_\_\_\_ Сотник Т.Ф.

Рабочая программа одобрена методической комиссией факультета ЭиА

от «\_\_» \_\_декабря\_\_ 2018 г., протокол №\_\_\_\_\_

Председатель методической комиссии факультета \_\_\_\_\_ Ульянов А.Д.

СОГЛАСОВАНО:

Начальник  
учебно-методического управления \_\_\_\_\_ Нежевец Г.П.

Регистрационный № \_\_\_\_\_