

**Министерство Образования и Науки Республики Казахстан  
Казахский национальный университет имени аль-Фараби**

**Б.Р. Кангожин, С.С. Даутов**

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ**

**Учебное пособие**

**Издательство «Қазақ университеті»  
Алматы 2021**

УДК 537.8:621. 316.98: 621.3 (075.8)  
Э 455

**Кангожин Б.Р.**

**Электромагнитная совместимость: Учебное пособие / Б.Р. Кангожин, С.С. Даутов. – Алматы: Изд-во «Қазақ университеті», 2021. – 192 с.**

В соответствии с учебной программой в краткой форме изложены актуальные проблемы электромагнитной совместимости на объектах электроэнергетики. Перечислены источники перенапряжений и помех и каналы их передачи, вызванных молнией, переходными процессами при плановых коммутациях и аварийных режимах на предприятиях электроэнергетики. Описана зонная концепция ограничения перенапряжений и помех, а также защитные устройства, предназначенные для этих целей. Рассматриваются вопросы обеспечения электромагнитной совместимости при проектировании энергообъектов и методике определения электромагнитной обстановки на энергообъектах, а также практические способы снижения помех на электрических станциях и подстанциях.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению «Электроэнергетика», а также преподавателей, аспирантов и инженерно-технических работников, для слушателей курсов подготовки, переподготовки и повышения квалификации.

УДК 537.8:621. 316.98: 621.3 (075.8)

**Рекомендовано к печати Учебно-методическим объединением РУМС  
Казахского национального университета имени аль-Фараби**

**Рецензенты:**

- Ю.В. Архипов – доктор физико-математических наук,  
профессор кафедры физики плазмы, нанотехнологии  
и компьютерной физики, физико-технического  
факультета КазНУ им. аль-Фараби**
- Т.К. Койшиев – доктор технических наук,  
профессор кафедры электроэнергетики, факультета  
Автоматизации и телекоммуникаций КазАТК им. М.  
Тынышпаева**

## Содержание

	Введение.....	5
	Список сокращений.....	6
	<b>ГЛАВА 1. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ОБСТАНОВКА (ЭМО) НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ И ПОДСТАНЦИЯХ (ЭСП).....</b>	<b>7</b>
1	ЭМО НА ОБЪЕКТАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ.....	7
1.1	Классификация ЭМО и степени жесткости испытаний на помехоустойчивость.....	7
1.2	Критерии качества функционирования ТС.....	8
1.3	Нормированные и действительные уровни помех на объектах энергетики.....	9
1.4	ЭМО на ЭСП.....	11
1.5	Схемы цепей оперативного тока и электромагнитная совместимость (ЭМС).....	12
2	ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ.....	15
2.1	Типы и виды помех. Способы описания и основные параметры помех.....	15
2.2	Прямой удар молнии в линию электропередач и на территорию подстанции.....	19
2.3	Коммутационные процессы в цепях ВН.....	21
2.4	Электрические и магнитные поля промышленной частоты, создаваемые силовым оборудованием станций и подстанций.....	23
2.5	Радиочастотные поля.....	23
2.6	Разряды статического электричества.....	23
3	КАНАЛЫ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ И СПОСОБЫ ИХ ОСЛАБЛЕНИЯ.....	26
3.1	Модели передачи ЭМП и стратегии их снижения.....	26
3.2	Связь через общее полное сопротивление.....	27
3.3	Магнитная связь.....	29
3.4	Емкостная связь.....	34
3.5	Связь излучением.....	35
4	ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ОБСТАНОВКА НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ И ПОДСТАНЦИЯХ НАПРЯЖЕНИЯ.....	37
4.1	Особенности ЭМС на подстанциях высокого напряжения.....	37
4.2	Природа возникновения и уровни помех на электростанциях.....	43
4.3	Ограничения коммутационных электромагнитных помех (ЭМП).....	45
5	МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ НА ЭНЕРГООБЪЕКТАХ.....	50
5.1	Основные положения.....	50
5.2	Проведение измерений и расчетов по определению ЭМО.....	50
6	МОЛНИЯ И МОЛНИЕЗАЩИТА.....	63
6.1	Общая характеристика грозовой деятельности.....	63
6.2	Возникновение и развитие молнии.....	63
6.3	Виды молний и параметры тока.....	65
6.4	Защита от прямых ударов молнии.....	68
	<b>ГЛАВА 2. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГООБЪЕКТАМИ.....</b>	<b>74</b>
7	ЗОННАЯ КОНЦЕПЦИЯ ОГРАНИЧЕНИЯ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ И ПОМЕХ.....	74
7.1	Основные положения зонной концепции.....	74
7.2	Уравнивание потенциалов.....	83
8	ПОМЕХИ В КАБЕЛЯХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ.....	89
8.1	Методические основы расчета электромагнитного воздействия.....	89
8.2	Взаимодействие электромагнитной волны с почвой.....	90
8.3	Формулы для линии передачи с распределенным источником.....	92
8.4	Параметры передачи подвешенного кабеля.....	94
8.5	Подземные кабели.....	95

8.6	Влияние электромагнитного поля, проникающего через экраны кабелей.....	96
8.7	Заземление экранов кабелей. Правила заземления экранов кабелей.....	98
9	ЭКРАНЫ.....	102
9.1	Дифференциальные уравнения Максвелла. Эквивалентная глубина проникновения поля...	102
9.2	Экраны во внешнем магнитном поле.....	105
9.2.1	Экран из двух параллельных пластин.....	105
9.2.2	Цилиндрический экран в продольном поле.....	109
9.2.3	Цилиндрический экран в поперечном поле.....	110
9.2.4	Тонкостенный сферический экран.....	113
10	ТИПОВЫЕ СХЕМЫ СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И РАЗМЕЩЕНИЕ В НИХ ЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ.....	115
10.1	Типовые схемы сетей электроснабжения .....	115
10.2	Воздействия импульсных грозовых напряжений.....	118
10.3	Схема защиты от перенапряжений в <i>TN-C</i> -сети.....	118
10.4	Схема защиты от перенапряжений в <i>TT</i> -сети.....	120
10.5	Схема защиты от перенапряжений в <i>IT</i> -сети.....	120
10.6	Заземление разрядников и защищаемого устройства .....	122
10.7	Импульсы испытательных токов и напряжений.....	125
11	УСТРОЙСТВА ОГРАНИЧЕНИЯ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ.....	128
11.1	Устройства ограничения перенапряжений .....	128
11.2	Размещение приборов и координация параметров защитных устройств.....	135
	ГЛАВА 3. ВОПРОСЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ И ПОДСТАНЦИЯХ.....	144
12	ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ НА ОБЪЕКТАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ.....	144
12.1	Нормированная ЭМО в зданиях и сооружениях и ее обеспечение.....	144
12.2	Размещение приборов и координация параметров защитных устройств.....	146
12.3	Особенности использования варисторов для ограничения перенапряжений.....	149
12.4	Обеспечение ЭМС внутри зон.....	151
13	ПРАКТИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ ПОМЕХ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ И ПОДСТАНЦИЯХ. ЗАЗЕМЛЕНИЕ И ПРОКЛАДКА КАБЕЛЕЙ.....	156
13.1	Общие положения.....	156
13.2	Основные принципы выполнения заземления и прокладки кабелей.....	158
13.3	Рекомендации по выполнению заземлений на ЭСП высокого напряжения (ВН).....	160
13.4	Некоторые особенности проектирования заземляющих систем комплектных КРУЭ.....	164
14	ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭНЕРГООБЪЕКТОВ (ЧАСТЬ 1).....	167
14.1	Общие положения.....	167
14.2	Компоновка оборудования, зданий и помещений.....	170
14.3	Заземляющие устройства (ЗУ).....	172
14.4	Кабельная канализация.....	178
15	ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭНЕРГООБЪЕКТОВ (ЧАСТЬ 2).....	182
15.1	Молниезащита.....	182
15.2	Система оперативного постоянного тока.....	185
15.3	Система электропитания переменным током.....	186
15.4	Защита от электромагнитных полей радиочастотного диапазона.....	187
15.5	Защита от магнитных полей промышленной частоты.....	187
15.6	Защита от разрядов статического электричества.....	188
15.7	Авторский надзор за выполнением проекта и приемосдаточные испытания.....	189
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	191

