

УДК 621.31(075)
ББК 31.26-028я73
К90

Допущено
Министерством образования и науки Российской Федерации
в качестве учебника для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению подготовки «Электроэнергетика»

Рецензенты:

Старшинов В. А. — докт. техн. наук, проф.,
зав. кафедрой «Электротехнические комплексы и системы»
Национального исследовательского университета МЭИ;
Пантелеев В. И., — докт. техн. наук, проф.,
зав. кафедрой «Электротехнические комплексы и системы»
Сибирского федерального университета

Куликова, Л. В.

К90 Основы электромагнитной совместимости : учебник для вузов, / Л. В. Куликова, О. К. Никольский, А. А. Сошников. — Изд. 4-е, стер. — Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2020. — 404 с.

ISBN 978-5-4499-1175-9

В учебнике рассмотрены физические и инженерные основы обеспечения электромагнитной совместимости в техногенной и природной сфере.

Для студентов электроэнергетических и электротехнических специальностей, аспирантов и преподавателей вузов, а также инженерно-технических работников органов Ростехнадзора и Госпотребнадзора.

УДК 621.31(075)
ББК 31.26-028я73

ISBN 978-5-4499-1175-9

© Куликова Л. В., Никольский О. К., Сошников А. А., текст, 2020
© Издательство «Директ-Медиа», макет, оформление, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	7
Введение	11
Глава 1. Основные сведения об электромагнитной совместимости	15
1.1. Основные понятия. Термины и определения	15
1.3. Природные источники электромагнитного излучения	26
1.4. Антропогенные источники электромагнитного излучения	30
1.4.1. Источники электромагнитного поля диапазона до 3 кГц	31
1.4.2. Источники электромагнитного поля диапазона 3 кГц – 300 ГГц	42
1.5. Поражающее действие электроустановок как проблема электромагнитной совместимости	48
1.5.1. Термины и определения	48
1.5.2. Поражающее действие электроустановок	48
Глава 2. Влияние электромагнитного излучения на человека	54
2.1. Общие сведения. Биофизика взаимодействий	54
2.2. Электромагнитные излучения промышленной частоты	61
2.3. Разряды статического электричества. Электростатическое поле	66
2.4. Электромагнитные излучения высоких и сверхвысоких частот	67
Глава 3. Опасное действие электрического тока на людей и животных	75
3.1. Электротравма и ее виды	75
3.2. Статистика электротравматизма	76
3.3. Электрические параметры тела человека	81
3.4. Действие электрического тока на кожу человека	85
3.5. Первичные критерии электробезопасности	86
3.6. Действие электрического тока на животных	89
3.7. Предельно допустимые значения токов и напряжений прикосновения для людей и животных	90
Глава 4. Техногенные электромагнитные помехи	92
4.1. Классификация электромагнитных помех	92
4.2. Индуктивные (излучаемые) электромагнитные помехи	99
4.3. Кондуктивные электромагнитные помехи	100
4.4. Электромагнитные помехи электрифицированного железнодорожного транспорта	104
4.4.1. Источники электромагнитных помех	104
4.4.2. Расчетные модели и схемы замещения	107
4.4.3. Индуцируемые помехи контактной сети	110
4.4.4. Магнитное влияние контактной сети	114
4.4.5. Гальваническое влияние тяговой сети	121
4.4.6. Помехи, возникающие при коротком замыкании в тяговой сети	124

4.4.7. Влияние тяговой сети на линии электропередачи	127
4.4.8. Влияние тяговой сети на линии «провод — рельс» и «два провода — рельс»	132
4.4.9. Влияние тяговой сети на линии связи	135
4.5. Влияние электромагнитных помех на аппаратуру	142
4.6. Влияние разрядов статического электричества на аппаратуру	146
4.7. Влияния электромагнитных полей радиочастотного диапазона	147
4.8. Влияние магнитных и электрических полей промышленной частоты	149
Глава 5. Молния как природный источник электромагнитных влияний	161
5.1. Термины и определения	161
5.2. Основные сведения о разрядах молнии. Характеристики молнии	162
5.3. Механизмы и опасность поражения молнией	167
5.3.1. Прямой удар молнии и его последствия	167
5.3.2. Поражение человека молнией	168
5.3.3. Тепловое воздействие	169
5.3.4. Электродинамические воздействия	169
5.3.5. Индуцированные перенапряжения	171
5.3.5.1. Электростатическая индукция	172
5.3.5.2. Электромагнитная индукция. Индуктивное влияние грозовых разрядов на воздушные линии	173
5.3.6. Занос высокого потенциала по металлическим коммуникациям	176
5.3.7. Прорыв тока молнии по искровому каналу, скользящему вдоль поверхности грунта	179
5.3.8. Вероятность поражения объекта молнией	179
Глава 6. Электромагнитная обстановка на энергетических и промышленных объектах	182
6.1. Классификация электромагнитной обстановки окружающей среды	182
6.2. Состав и степень жесткости испытаний оборудования	183
6.3. Оборудование для испытания технических средств на помехоустойчивость и помехоэмиссию	193
6.4. Мероприятия по обеспечению электромагнитной совместимости в соответствии с классом жесткости электромагнитной обстановки	196
6.5. Контроль электромагнитной обстановки	199
6.6. Особенности электромагнитной обстановки на энергетических и промышленных объектах	200
6.7. Мероприятия по улучшению электромагнитной обстановки	210
Глава 7. Защита от влияния электромагнитных излучений и помех	214
7.1. Нормирование электромагнитных излучений	214
7.1.1. Электромагнитные излучения промышленной частоты	216
7.1.2. Электромагнитные излучения высоких и сверхвысоких частот	220
7.2. Защита от электромагнитных излучений	225
7.2.1. Организационные мероприятия по защите от электромагнитных излучений	226

7.2.2. Инженерно-технические мероприятия по защите населения от электромагнитных излучений.....	227
7.2.3. Лечебно-профилактические мероприятия.....	231
7.3 Аппаратура для измерения электромагнитных излучений.....	231
Глава 8. Соответствие молниезащитной системы условиям электромагнитной совместимости	246
8.1. Концепция молниезащиты	246
8.2. Классификация объектов по устройству молниезащиты.....	247
8.3. Способы и средства молниезащиты	250
8.4. Основные требования и рекомендации при устройстве молниезащиты объектов	254
8.5. Молниеотводы	258
8.6. Заземляющие устройства зданий и сооружений.....	262
8.6.1. Общие положения	262
8.6.2. Физический процесс стекания тока молнии с заземлителей	264
8.6.3. Расчетное удельное сопротивление земли.....	265
8.6.4. Типы и конструкции заземляющих устройств.....	267
8.6.5. Расчет заземляющих устройств	269
8.7. Примеры выполнения молниезащиты объектов.....	276
Глава 9. Соответствие систем безопасности электроустановок условиям электромагнитной совместимости.....	286
9.1. Термины и определения	286
9.2. Принципы построения систем безопасности электроустановок	288
9.3. Общая характеристика защитных мероприятий.....	289
9.3.1. Защитное заземление	289
9.3.1.1. Назначение. Принцип действия.....	289
9.3.1.2. Требования к электрическим характеристикам и конструкции заземляющих устройств электроустановок.....	290
9.3.2. Зануление	296
9.3.3. Уравнивание потенциалов	297
9.3.4. Выравнивание потенциалов	299
9.3.5. Защитное электрическое разделение сетей	300
9.3.6. Сверхнизкое (малое) напряжение	301
9.3.7. Изолирование рабочего места, двойная изоляция, контроль изоляции	302
9.4. Устройства защитного отключения как эффективная электрозащитная мера	302
9.4.1. Историческая справка	302
9.4.2. Назначение и принцип действия УЗО	304
9.4.3. Классификация УЗО	306
9.4.4. Основные технические параметры УЗО	308
9.4.5. Особенности применения УЗО в различных системах электроснабжения	309
9.4.6. Основные принципы проектирования установки УЗО	311
9.5. Проблемы пожарной безопасности электроустановок зданий	313
9.6. Построение оптимальных систем безопасности электроустановок зданий.....	315

9.6.1. Задача оптимизации систем безопасности электроустановок.....	315
9.6.2. Вероятностное моделирование пожаров от электроустановок.....	315
9.6.3. Вероятностное моделирование электробезопасности	320
9.6.4. Формирование вариантов технической реализации систем безопасности электроустановок	325
9.6.5. Оптимизация ПА-систем электрической защиты	329
9.6.6. Особенности оптимизации ПАУ-систем электрической защиты	338
Глава 10. ЭМС и качество электрической энергии	340
10.1. Основные сведения	340
10.2. Основные термины и определения	342
10.3. Общая характеристика показателей качества электрической энергии.....	345
10.4. Показатели и нормы качества электрической энергии	346
10.5. Вероятные причины нарушения показателей и способы повышения уровня качества электрической энергии	355
Глава 11. Социально-экономическая оценка ущерба от опасного влияния источников электромагнитного поля	367
11.1. Техногенные риски и основные принципы обеспечения безопасности жизнедеятельности человека.....	367
11.1.1. Понятия риска и безопасности.....	367
11.1.2. Приемлемый риск и его оценка	369
11.1.3. Структура техногенного риска.....	371
11.1.4. Математическая модель риска	374
11.2. Виды ущербов и их интегральная оценка	376
11.3. Экономический анализ техногенной безопасности	379
11.4. Концепция стоимости статистической жизни человека.....	384
11.5. Применение теории игр для оценки и прогнозирования электромагнитной обстановки	387
Послесловие.....	392
Библиографический список	393