

УДК 621.316.174:629.4(075)  
ББК 32.889.01я7+39.217я7  
318

**Рецензенты:**

**Дунаев М. П.** – профессор Иркутского государственного  
технического университета, д-р. техн. наук;  
**Сенько В. В.** – доцент кафедры «Автоматизированные электроэнергетические системы»  
Самарского государственного технического университета, канд. техн. наук

**Закарюкин, В. П.**

318 Электромагнитная совместимость и средства защиты : учебное пособие. /  
В. П. Закарюкин, М. Л. Дмитриева, А. В. Крюков, под ред. В. П. Закарюкина.  
– Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2020. – 247 с.

ISBN 978-5-4499-1579-5

Пособие содержит основные сведения по электромагнитной совместимости различных электротехнических устройств, включая вопросы опасных и мешающих влияний электрифицированных железных дорог на смежные линии. Описаны нормативы и методы расчета наводимых напряжений, а также способы защиты от опасных и мешающих влияний.

Пособие предназначено для студентов дневного и заочного обучения специальностей «Электроснабжение железных дорог», «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте», «Телекоммуникационные системы и сети на железнодорожном транспорте», «Радиотехнические системы на железнодорожном транспорте» при изучении дисциплины «Электромагнитная совместимость и средства защиты». Пособие может быть рекомендовано для специалистов, занимающихся эксплуатацией устройств электроснабжения, сигнализации, связи и телемеханики на железных дорогах.

Книга может быть полезной для научных и инженерно-технических работников, занимающихся вопросами проектирования и эксплуатации систем электроснабжения, а также для аспирантов и студентов электроэнергетических специальностей.

Ил. 108. Табл. 16. Библиогр. 35 назв.

*Текст приводится в авторской редакции.*

УДК 621.316.174:629.4(075)  
ББК 32.889.01я7+39.217я7

ISBN 978-5-4499-1579-5

© Закарюкин В. П., Дмитриева М. Л., Крюков А. В., текст, 2020  
© Издательство «Директ-Медиа», оформление, 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ .....	7
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ .....	9
ВВЕДЕНИЕ .....	10
ЧАСТЬ I. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ .....	14
1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОБЛЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ.....	14
1.1. Термины и определения .....	14
1.2. Электромагнитное поле в проблеме электромагнитной совместимости .....	15
1.3. Последствия влияний электромагнитных полей .....	19
1.4. Характеристики помех .....	21
Резюме .....	23
Контрольные вопросы.....	24
2. ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВЛИЯНИЙ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОМЕХ.....	25
2.1. Классификация источников электромагнитных влияний .....	25
2.2. Источники узкополосных помех.....	26
2.3. Источники техногенных широкополосных помех .....	27
2.4. Статическое электричество .....	28
2.5. Коммутационные помехи .....	29
2.6. Разряд молнии как источник помех .....	30
2.7. Электромагнитный импульс ядерного взрыва .....	32
2.8. Классы электромагнитной обстановки .....	32
Резюме .....	35
Контрольные вопросы.....	35
3. МЕХАНИЗМЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОМЕХ .....	37
3.1. Гальваническая связь между электрическими цепями .....	37
3.2. Емкостная связь .....	40
3.3. Индуктивная связь .....	41
3.4. Электромагнитное излучение.....	42
Резюме .....	43
Контрольные вопросы.....	43
4. МЕТОДЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ПОМЕХ.....	44
4.1. Методы испытаний источников помех .....	44
4.2. Контроль электромагнитных помех.....	45
Резюме .....	47
Контрольные вопросы.....	48
5. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ .....	49
5.1. Общие методы распознавания вида влияния.....	49
5.2. Защита от помех с помощью фильтров .....	49
5.3. Ограничители напряжений.....	51
5.4. Электромагнитное экранирование.....	53
5.5. Электромагнитная совместимость и качество электроэнергии.....	56
5.6. Стандартизация в области электромагнитной совместимости .....	59
Резюме .....	63
Контрольные вопросы.....	63
ЧАСТЬ II. ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ВЛИЯНИЕ ТЯГОВОЙ СЕТИ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ.....	66

6. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВЛИЯНИЙ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ.....	66
6.1. Механизмы влияния тяговой сети на смежные линии.....	66
6.2. Влияющие линии и линии, подверженные влиянию .....	69
6.3. Особенности тяговой сети и принятые допущения.....	70
6.4. Простейшая линия и ее параметры.....	71
6.5. Модель однопроводной линии при сближении с контактной сетью.....	75
Резюме .....	77
Контрольные вопросы.....	77
7. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ КОНТАКТНОЙ СЕТИ НА СМЕЖНЫЕ ЛИНИИ ....	78
7.1. Электрическое влияние при разных режимах заземления смежной линии .....	78
7.2. Определение наводимых напряжений при электрическом влиянии .....	79
Резюме .....	83
Контрольные вопросы.....	83
8. МАГНИТНОЕ ВЛИЯНИЕ КОНТАКТНОЙ СЕТИ НА СМЕЖНЫЕ ЛИНИИ .....	84
8.1. Магнитное влияние при разных режимах заземления смежной линии.....	84
8.2. Взаимная индуктивность между контактной сетью и смежным проводом .....	86
8.3. Механизм экранирования протяженными проводами .....	88
8.4. Экранирующее действие рельсов.....	90
8.5. Экранирующее действие оболочки кабеля.....	91
Резюме .....	93
Контрольные вопросы.....	93
9. ГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ ТЯГОВОЙ СЕТИ.....	94
9.1. Особенности гальванического влияния.....	94
9.2. Качественная картина влияния блуждающих токов на подземные сооружения .....	95
9.3. Гальваническое влияние на опоры контактной сети.....	97
9.4. Мероприятия по защите подземных сооружений от блуждающих токов.....	99
9.5. Суммирование напряжений разных видов влияния.....	101
Резюме .....	103
Контрольные вопросы.....	103
10. РАСЧЕТЫ ВЛИЯЮЩИХ ТОКОВ КОНТАКТНОЙ СЕТИ ПРИ КОРОТКОМ ЗАМЫКАНИИ И ВЫНУЖДЕННОМ РЕЖИМЕ .....	104
10.1. Общие положения.....	104
10.2. Расчет влияющего тока при коротком замыкании в тяговой сети.....	105
10.3. Расчет влияющего тока при вынужденном режиме .....	106
Резюме .....	108
Контрольные вопросы.....	109
11. ВЛИЯНИЕ ТЯГОВОЙ СЕТИ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ НА ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ.....	110
11.1. Общие проблемы влияния на смежные ЛЭП .....	110
11.2. Влияние контактной сети на однофазные линии электропередачи.....	111
11.3. Влияние контактной сети на трехфазные линии автоблокировки и продольного электроснабжения напряжением 6-10 кВ .....	112
11.4. Особенности влияния тяговой сети переменного тока 2×25 кВ .....	116
11.5. Влияние контактной сети на линии ПР и ДПР.....	118
11.6. Резонансные эффекты в отключенных линиях продольного электроснабжения .....	121
11.7. Качество электроэнергии потребителей систем продольного электроснабжения ДПР .....	127
Резюме .....	129
Контрольные вопросы.....	129
12. ВЛИЯНИЕ ТЯГОВОЙ СЕТИ НА РЕЛЬСОВЫЕ ЦЕПИ.....	131

12.1. Рельсовые цепи на электрифицированной железной дороге .....	131
12.2. Влияние тягового тока на работу рельсовых цепей .....	132
13. НОРМЫ ОПАСНЫХ И МЕШАЮЩИХ ВЛИЯНИЙ .....	136
13.1. О нормировании наведенных напряжений и токов .....	136
13.2. Нормы допустимых опасных влияний .....	136
13.3. Нормы допустимых мешающих влияний .....	138
Резюме .....	139
Контрольные вопросы .....	140
14. МЕШАЮЩИЕ ВЛИЯНИЯ НА СМЕЖНЫЕ ЛИНИИ .....	141
14.1. Основные положения и допущения для расчета мешающих влияний .....	141
14.2. Разложение периодических токов и напряжений в ряд Фурье .....	142
14.3. Расчет магнитного мешающего влияния .....	144
14.4. Определение влияющих токов тяговой сети переменного тока .....	146
14.5. Спектральный состав тока выпрямительного электровоза .....	147
14.6. Определение влияющих токов тяговой сети постоянного тока .....	149
14.7. Спектральный состав напряжения на входе сглаживающих фильтров тяговых подстанций постоянного тока .....	149
Резюме .....	153
Контрольные вопросы .....	153
15. СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ ВЛИЯНИЙ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ НА СМЕЖНЫЕ ЛИНИИ .....	154
15.1. Относ смежных линий связи от электрифицированной железной дороги и применение кабельных линий .....	154
15.2. Применение отсасывающих трансформаторов .....	155
15.3. Применение демпфирующих контуров .....	158
15.4. Сглаживающие фильтры тяговых подстанций постоянного тока .....	158
15.5. Защита от влияния грозовых разрядов .....	161
15.6. Низковольтные разрядники для цепей связи .....	161
15.7. Защита от кратковременного индуктивного влияния контактной сети .....	163
15.8. Защита кабельных линий от опасного влияния электрифицированной железной дороги редуцированными трансформаторами .....	164
15.9. Применение разделительных трансформаторов .....	165
Резюме .....	166
Контрольные вопросы .....	166
Часть III. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ СЕМИНАРСКИХ ЗАНЯТИЙ .....	168
16.1. Семинар 1. Понятия и законы, определяющие электромагнитную совместимость .....	168
16.2. Семинар 2. Электрическое поле провода над землей .....	170
16.3. Семинар 3. Электрическое поле трехфазной линии .....	172
16.4. Семинар 4. Магнитное поле и его напряженность .....	176
16.5. Семинар 5. Магнитное поле трехфазной линии электропередачи .....	177
16.6. Семинар 6. Конденсатор, взаимные емкости проводов .....	179
16.7. Семинар 7. Основные принципы расчетов наведенных напряжений программным комплексом Fazonord .....	184
16.8. Семинар 8. Характеристика курсового проекта .....	187
16.9. Семинар 9. Электрическое влияние на смежные линии .....	192
16.10. Семинар 10. Расчеты наведенных напряжений электрического влияния программным комплексом Fazonord .....	194
16.11. Семинар 11. Контур, индуктивности и взаимные индуктивности .....	196
16.12. Семинар 12. Экранирующее действие протяженных проводников .....	199

16.13. Семинар 13. Магнитное влияние на смежные линии.....	205
16.14. Семинар 14. Расчеты токов контактной сети и суммирование напряжений разных видов влияния .....	208
16.15. Семинар 15. Расчеты влияющих токов и наведенных напряжений магнитного влияния программным комплексом Fazonord .....	216
16.16. Семинар 16. Влияние тяговой сети переменного тока на смежные ЛЭП.....	218
16.17. Семинар 17. Гальваническое влияние тяговой сети на смежные устройства .....	225
16.18. Семинар 18. Гармонический состав тока контактной сети. Разложение периодических токов и напряжений в ряд Фурье .....	228
16.19. Семинар 19. Вторичные параметры длинных линий .....	230
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	235
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	239
Основная литература.....	239
Дополнительная литература.....	239
Программное обеспечение и ресурсы Интернет .....	240
Приложение А .....	241
Краткий обзор основных электротехнических величин и законов, важных для понимания проблем ЭМС.....	241