

С. И. Боридько, Н. В. Дементьев,
Б. Н. Тихонов, И. А. Ходжаев

Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах

2-е издание

*Допущено УМО по образованию в области
информационной безопасности
в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по специальности
«Информационная безопасность
телекоммуникационных систем»*

Москва
Горячая линия – Телеком
2012

УДК 621.372
ББК 32.842
М54

А в т о р ы : С. И. Бори́дько, Н. В. Дементьев, Б. Н. Тихонов, И. А. Ходжаев

Рецензенты: доктор техн. наук, профессор *А. П. Фисун*, кафедра систем информационно-телеметрического и метрологического обеспечения ВА РВСН им. Петра Великого

М54 Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах. Учебное пособие / Под общей редакцией Б. Н. Тихонова. – 2-е изд., стереотип. – М.: Горячая линия–Телеком, 2012. – 360, с.: ил.
ISBN 978-5-9912-0245-9.

Рассмотрены основы метрологии, методы и средства электрорадиоизмерений, вопросы калитметрии, стандартизации и оценивания соответствия. Рассмотрены вопросы автоматизации измерений, а также оценивание и поддержание качества радиоэлектронных изделий в процессе эксплуатации. Материал соответствует требованиям действующих нормативных документов в области метрологии, стандартизации, сертификации и технического регулирования, а также современным тенденциям развития теории измерений и измерительной техники.

Для студентов вузов, обучающихся по специальности «Информационная безопасность телекоммуникационных систем», будет полезно студентами, обучающимися по направлениям «Телекоммуникации» и «Радиотехника» и специалистам.

ББК 32.842

Адрес издательства в Интернет www.techbook.ru

Учебное издание

Бори́дько Сергей Иванович, **Дементьев** Николай Васильевич,
Тихонов Борис Николаевич, **Ходжаев** Ильмир Абдуллаевич,

МЕТРОЛОГИЯ И ЭЛЕКТРОРАДИОИЗМЕРЕНИЯ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Учебное пособие

Редактор Ю. Н. Чернышев
Компьютерная верстка Ю. Н. Чернышова
Обложка художника В. Г. Ситникова

Подписано в печать 26.01.12. Формат 60×90/16. Печать офсетная. Уч.-изд. л. 23,5. Тираж 500 (1-й завод 100 экз.)

ISBN 978-5-9912-0245-9

© С. И. Бори́дько, Н. В. Дементьев,
Б. Н. Тихонов, И. А. Ходжаев, 2007, 2012
© Издательство «Горячая линия–Телеком», 2012

Предисловие

Активное внедрение радиоэлектроники во все сферы человеческой деятельности неизбежно сопровождается расширением потребностей в электрорадиотехнических измерениях. Трудно представить современные сложные радиоэлектронные изделия, которые можно разрабатывать и эксплуатировать без проведения измерений, необходимых для оценивания их качества и технического состояния. Более того, производство и эксплуатация новой современной радиоэлектронной аппаратуры во многих случаях предполагает опережающее развитие новых, более совершенных методов и средств измерений для оценивания технологических и эксплуатационных показателей этой аппаратуры.

Электрорадиотехнические измерения находят широкое применение в телекоммуникационных системах при оценивании технического состояния радиоэлектронных устройств, качества приема, обработки, защиты и передачи информации с использованием технических средств, а также на объектах информатизации при инструментальном оценивании эффективности защиты информации. Для подготовки специалистов по вопросам метрологического обеспечения и радиотехнических измерений в указанных областях и предназначено настоящее учебное пособие.

Структура изложения учебного материала соответствуют задаче системной подготовки специалистов по специальности «Информационная безопасность телекоммуникационных систем» и учебной дисциплине «Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах».

Учебное пособие состоит из трех частей, включающих 17 глав. Материал подготовлен коллективом авторов: С.И. Борицько, Н.В. Дементьевым, Б.Н. Тихоновым, И.А. Ходжаевым. Общее редактирование проведено Б.Н. Тихоновым.

В первой части пособия рассматриваются вопросы общей метрологии. Во второй части излагаются основные методы и средства радиотехнических измерений. Третья часть учебного пособия посвящена основам квалиметрии, технического регулирования, стандартизации и сертификации.

В настоящее время в Российской Федерации по вопросам обеспечения единства измерений, технического регулирования, стандартизации, сертификации внедряются новые нормативные документы. В связи с этим взгляды на указанные вопросы еще не полностью установились и в

ближайшие годы могут уточняться. Понимая это, авторы все-таки старались при изложении учебного материала учесть появившиеся и внедряющиеся в теоретическую и прикладную метрологию новации. Учитывались также рекомендации международных организаций в области метрологии, стандартизации и сертификации. Авторы с глубокой благодарностью примут любые замечания и пожелания и при необходимости учтут их при последующей переработке учебного материала.

Авторы благодарят О.Л. Ходжаеву за помощь при подготовке рукописи к изданию.

Оглавление

Предисловие	3
Часть I. ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ	
1. Физические величины, средства и методы их измерения ..	6
1.1. Физические величины. Единицы величин	6
1.2. Воспроизведение и хранение информации о размерах единиц физических величин	10
1.3. Средства измерений	12
1.4. Виды и методы измерений	14
1.5. Понятия о шкалах	18
Контрольные вопросы и задания	21
2. Погрешности измерений и средств измерений	23
2.1. Общие сведения	23
2.2. Погрешности измерений	24
2.3. Погрешности и метрологические характеристики средств из- мерений	31
Контрольные вопросы и задания	45
3. Обработка результатов измерений	46
3.1. Обнаружение и устранение систематических погрешностей .	46
3.2. Устранение грубых погрешностей	49
3.3. Обработка результатов прямых однократных измерений	50
3.4. Обработка результатов прямых многократных измерений ...	58
3.5. Определение результата и погрешностей косвенных измере- ний	63
3.6. Приближенные вычисления при обработке результатов изме- рений	68
Контрольные вопросы	72
4. Организационно-правовые основы обеспечения единства измерений	73
4.1. Законодательство РФ об обеспечении единства измерений .	73
4.2. Национальная система обеспечения единства измерений ...	76
4.3. Основные виды метрологической деятельности по обеспече- нию единства измерений	82

Контрольные вопросы и задания	88
Часть II. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН	
5. Основные элементы электрорадиоизмерительных приборов	90
5.1. Масштабные измерительные преобразователи	90
5.2. Электромеханические измерительные механизмы	97
5.3. Преобразователи значений величин	103
5.4. Аналого-цифровые преобразователи	111
5.5. Генераторы электрических сигналов	118
5.6. Микропроцессоры	122
5.7. Коды и системы счисления	124
5.8. Цифровые индикаторы	126
Контрольные вопросы и задания	128
6. Измерительные генераторы сигналов	129
6.1. Назначение, классификация и основные характеристики измерительных генераторов	129
6.2. Измерительные генераторы сигналов низкой частоты (ГЗ) ..	132
6.3. Измерительные генераторы высокой и сверхвысокой частоты (Г4)	133
6.4. Измерительные генераторы импульсов	137
6.5. Измерительные генераторы шумовых сигналов (Г2)	138
Контрольные вопросы и задания	139
7. Измерение напряжений и токов	140
7.1. Основные значения измеряемых напряжений и токов	140
7.2. Вычисление различных значений переменного напряжения по показаниям вольтметров	143
7.3. Методы измерения напряжения и тока	146
7.4. Приборы для измерения напряжения и тока	155
Контрольные вопросы и задания	155
8. Исследование формы электрических сигналов	156
8.1. Классификация и характеристики электронно-лучевых осциллографов	156
8.2. Электронно-лучевая трубка и принцип действия электронного осциллографа	160
8.3. Структурная схема осциллографа	162
8.4. Цифровые осциллографы	176
8.5. Измерение параметров сигналов с помощью универсального осциллографа	178
Контрольные вопросы и задания	185
9. Измерения частоты электрических сигналов	186
9.1. Общие сведения	186

9.2. Метод дискретного счета.....	187
9.3. Метод сравнения.....	195
9.4. Резонансный метод.....	197
9.5. Метод перезаряда конденсатора.....	201
Контрольные вопросы и задания.....	202
10. Измерение параметров элементов электрических цепей с сосредоточенными постоянными.....	203
10.1. Общие сведения о параметрах элементов радиотехнических устройств.....	203
10.2. Методы измерения параметров элементов, основанные на измерении токов и напряжений.....	205
10.3. Мостовые методы измерения параметров элементов.....	211
10.4. Цифровые измерители параметров элементов электрических цепей.....	217
10.5. Резонансный метод измерения параметров конденсаторов и катушек индуктивностей.....	219
Контрольные вопросы и задания.....	221
11. Анализаторы спектра сигналов.....	222
11.1. Общие сведения о спектрах сигналов.....	222
11.2. Фильтровые анализаторы спектра.....	224
11.3. Цифровые анализаторы спектра (ЦАС).....	230
11.4. Измерение параметров спектра сигнала.....	233
Контрольные вопросы и задания.....	239
12. Измерение уровней передачи, рабочего затухания и рабочего усиления.....	241
12.1. Уровни передачи и их измерения.....	241
12.2. Рабочее затухание четырехполюсников и его измерение....	244
12.3. Особенности измерения рабочего усиления четырехполюсников.....	250
Контрольные вопросы и задания.....	252
13. Измерение электрической мощности и шумовых параметров радиоэлектронных устройств.....	253
13.1. Общая характеристика методов измерения мощности.....	253
13.2. Методы измерения мощности.....	257
13.3. Измерение шумовых параметров радиоэлектронных устройств.....	270
Контрольные вопросы и задания.....	275
14. Измерение фазового сдвига и фазового дрожания цифрового сигнала.....	276
14.1. Измерение фазового сдвига.....	276
14.2. Измерение группового времени запаздывания.....	283
14.3. Измерение фазового дрожания цифрового сигнала.....	283

Контрольные вопросы и задания	286
15. Автоматизация измерений	287
15.1. Общая характеристика средств и проблемы автоматизации измерений	287
15.2. Принцип построения информационно-измерительных систем и классификация интерфейсов	290
15.3. Стандартные интерфейсы для измерительных систем	295
15.4. Виртуальные приборы и компьютерные измерительные системы	303
Контрольные вопросы и задания	306
Часть III. ОСНОВЫ КВАЛИМЕТРИИ, ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИИ	
16. Оценивание и поддержание качества продукции	308
16.1. Основные понятия, показатели и критерии, используемые при оценивании качества	308
16.2. Методы определения показателей и оценивания уровня качества продукции	313
16.3. Оценивание и поддержание качества продукции на стадии ее эксплуатации	322
Контрольные вопросы и задания	335
17. Техническое регулирование, стандартизация и сертификация	336
17.1. Общие положения, принципы технического регулирования и технические регламенты	336
17.2. Основы стандартизации	339
17.3. Основы сертификации	344
Контрольные вопросы и задания	348
Литература	349
Приложения	352