

А.С. Сигов, В.И. Нефедов

Метрология, стандартизация и технические измерения

Под редакцией профессора А.С. Сигова

*Допущено
Министерством образования и науки
Российской Федерации в качестве учебника
для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по специальности
«Проектирование и технология радиозлектронных средств»
направления подготовки
«Проектирование и технология электронных средств»*



Москва «Высшая школа» 2008

УДК 621.37
ББК 32.842
М 54

Рецензенты:

кафедра информационных систем и измерительных технологий Московского государственного открытого университета (зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. *Г.Г. Раннев*); д-р техн. наук, проф. *В.В. Сизых* (Институт криптографии, связи и информатики Академии ФСБ России)

Метрология, стандартизация и технические измерения: Учеб.
М 54 для вузов/А.С. Сигов, В.И. Нефедов; Под ред. А.С. Сигова.—
М.: Высш. шк., 2008.— 624 с.: ил.

ISBN 978-5-06-005932-8

В учебнике рассмотрены основы метрологии, методы и средства технических измерений электрических величин, а также вопросы технического регулирования, стандартизации и подтверждения соответствия. Материал представлен с учетом современных достижений и тенденций развития теории измерений и измерительной техники. Изложение базируется на действующей нормативно-технической документации и рекомендациях международных организаций в области технического регулирования и метрологии.

Для студентов высших технических учебных заведений, обучающихся по специальности «Проектирование и технология радиоэлектронных средств» направления подготовки «Проектирование и технология электронных средств».

УДК 621.37
ББК 32.842

Учебное издание

Сигов Александр Сергеевич, Нефедов Виктор Иванович

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Редактор *О.А. Кузнецова*. Внешнее оформление *К.И. Мандель*.
Технический редактор *Л.А. Маркова*. Корректор *Г.Н. Петрова*

Изд. № РЕНТ-520. Подп. в печать 26.12.07. Формат 60×88^{1/8}. Бум. писчая. Гарнитура «Ньютон».
Печать офсетная. Объем 38,22 усл. печ. л., 38,96 усл. кр.-отг. Тираж 3000 экз. Зак. № 19140 (К-См).

ОАО «Издательство «Высшая школа», 127994, Москва, Неглинная ул., 29/14, стр. 1.

Тел.: (495) 694-04-56. <http://www.vshkola.ru> E-mail: info_vshkola@mail.ru

Отдел реализации: (495) 694-07-69, 694-31-47, факс: (495) 694-34-86
E-mail: sales_vshkola@mail.ru

Отпечатано в ОАО «Смоленский полиграфический комбинат».
214020, г. Смоленск, ул. Смольянинова, 1

ISBN 978-5-06-005932-8

© ОАО «Издательство «Высшая школа», 2008

Оригинал-макет данного издания является собственностью издательства «Высшая школа», и его репродуцирование (воспроизведение) любым способом без согласия издательства запрещается.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	7
ВВЕДЕНИЕ	9
РАЗДЕЛ I. ОСНОВЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕТРОЛОГИИ	12
Глава 1. НАЗНАЧЕНИЕ И СУЩНОСТЬ МЕТРОЛОГИИ	12
1.1. Общие сведения	12
1.2. Физические свойства, величины и измерительные шкалы	14
1.3. Единицы физических величин. Международная система единиц СИ	26
1.4. Измерение физических величин	41
1.5. Средства измерительной техники	55
1.6. Постулаты, принципы и методики измерений	73
1.7. Результаты и условия измерения физических величин	80
1.8. Эталоны, воспроизведение, передача размеров и хранение единиц физических величин	82
1.9. Государственная система обеспечения единства измерений	93
Глава 2. ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ	105
2.1. Общие сведения	105
2.2. Погрешности результата и средств измерений	106
2.3. Систематические погрешности и методы их уменьшения	124
2.4. Случайные погрешности и их вероятностные модели	137
2.5. Нормирование метрологических характеристик средств измерений	157
Глава 3. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ	171
3.1. Общие сведения	171
3.2. Статистическая обработка результатов прямых многократных измерений	172
3.3. Прямые однократные измерения	189
3.4. Обработка результатов косвенных измерений	195
3.5. Совокупные и совместные измерения	203
3.6. Способы выражения и формы представления результатов измерений	209
3.7. Погрешность и неопределенность результата измерений	213
3.8. Информационная теория измерений и погрешностей	223
РАЗДЕЛ II. СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ	228
Глава 4. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИГНАЛЫ. ИМПУЛЬСНАЯ И ЦИФРОВАЯ ТЕХНИКА ИЗМЕРЕНИЙ	228
4.1. Общие сведения	228
4.2. Математическое описание измерительных сигналов	233
4.3. Цифровые элементы средств измерений	243
4.4. Цифровые измерительные приборы и преобразователи	254

Глава 5. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ И СИНТЕЗАТОРЫ ЧАСТОТ	265
5.1. Общие сведения	265
5.2. Генераторы гармонических колебаний	268
5.3. Цифровые измерительные генераторы низких частот	274
5.4. Генераторы качающейся частоты и сигналов специальной формы	277
5.5. Генераторы шумовых сигналов	281
5.6. Генераторы широкополосных сигналов	284
5.7. Стандарты и синтезаторы частоты	291
 Глава 6. ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ И СИЛЫ ТОКА	 295
6.1. Общие сведения	295
6.2. Аналоговые электромеханические и электронные вольтметры	300
6.3. Цифровые вольтметры	320
6.4. Методы измерения напряжений сложной формы	333
6.5. Особенности измерения силы тока	337
 Глава 7. ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМЫ СИГНАЛОВ ОСЦИЛЛОГРАФАМИ	 340
7.1. Общие сведения	340
7.2. Универсальные осциллографы	343
7.3. Запоминающие, скоростные и стробоскопические осциллографы	357
7.4. Техника осциллографирования и измерений сигналов	362
7.5. Цифровые осциллографы	365
 Глава 8. СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ	 370
8.1. Общие сведения	370
8.2. Основные методы анализа спектров сигналов	373
8.3. Цифровые методы анализа спектра сигналов	380
8.4. Измерение нелинейных искажений сигналов	389
 Глава 9. ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ И ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ	 392
9.1. Общие сведения	392
9.2. Аналоговые методы измерения частоты	395
9.3. Цифровой метод измерения частоты	400
9.4. Цифровой метод измерения временных интервалов и периода повторения	404
9.5. Автоматизация измерений частоты и интервалов времени	407
 Глава 10. ИЗМЕРЕНИЕ РАЗНОСТИ ФАЗ СИГНАЛОВ	 410
10.1. Общие сведения	410
10.2. Измерение фазового сдвига аналоговыми методами	413
10.3. Фазометр с преобразованием фазового сдвига во временной интервал	416
10.4. Цифровые фазометры	417
10.5. Измерение фазового сдвига фазовыми детекторами	424

Глава 11 ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ	427
11.1. Общие сведения	427
11.2. Измерение математического ожидания и дисперсии	430
11.3. Измерение функций распределения вероятностей	434
11.4. Измерение значений корреляционных функций	440
11.5. Спектральный анализ случайных процессов	446
Глава 12 . ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ КОЛЕБАНИЙ	449
12.1. Общие сведения	449
12.2. Измерение мощности на низких и высоких частотах	453
12.3. Измерение мощности СВЧ-колебаний	454
12.4. Цифровые ваттметры	464
Глава 13 . ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕПЕЙ С СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ ПОСТОЯННЫМИ	467
13.1. Общие сведения	467
13.2. Измерение активных сопротивлений	468
13.3. Мостовые методы измерений параметров элементов	471
13.4. Резонансные измерители	475
13.5. Цифровые методы измерения параметров элементов	477
Глава 14 . ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЦЕПЕЙ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПОСТОЯННЫМИ	484
14.1. Общие сведения	484
14.2. Параметры СВЧ-трактов, устройств и элементов	485
14.3. Измерительная линия	489
14.4. Панорамные рефлектометры	493
14.5. Цифровые измерители КСВ и ослабления	495
ГЛАВА 15 . ИЗМЕРЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН	500
15.1. Общие сведения	500
15.2. Механические и электронные средства измерения размеров	501
15.3. Оптико-механические средства измерения размеров	506
15.4. Методы и средства измерений углов	507
ГЛАВА 16 . ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ	510
16.1. Общие сведения	510
16.2. Измерительные системы	511
16.3. Виртуальные информационно-измерительные системы	517
16.4. Интеллектуальные измерительные системы	525
16.5. Современные интерфейсы	526

ЧАСТЬ III. ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ	536
Глава 17. СФЕРЫ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ. ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕГЛАМЕНТЫ	536
17.1. Общие сведения	536
17.2. Федеральный закон Российской Федерации «О техническом регулировании»	538
17.3. Технические регламенты	541
17.4. Государственный контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов	548
17.5. Заключительные и переходные положения	551
ГЛАВА 18. СТАНДАРТИЗАЦИЯ	554
18.1. Общие сведения	554
18.2. Сущность, цели и принципы стандартизации	556
18.3. Документы в области стандартизации	559
18.4. Национальная система стандартизации	562
18.5. Международная и межгосударственная стандартизация	573
18.6. Правила применения международных стандартов	577
18.7. Правила и методы стандартизации	578
ГЛАВА 19. ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ	589
19.1. Общие сведения	589
19.2. Цели, принципы и формы подтверждения соответствия	592
19.3. Добровольное подтверждение соответствия и добровольная сертификация. Знак обращения на рынке	596
19.4. Обязательное подтверждение и декларирование соответствия	600
19.5. Обязательная сертификация и знак соответствия	605
19.6. Системы менеджмента качества в международных стандартах ISO серии 9000	609
19.7. Аккредитация органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров)	618
ЛИТЕРАТУРА	623