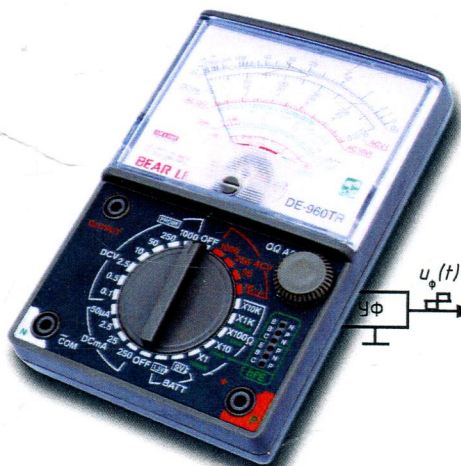


Э.Г. МИРОНОВ, Н.П. БЕССОНОВ

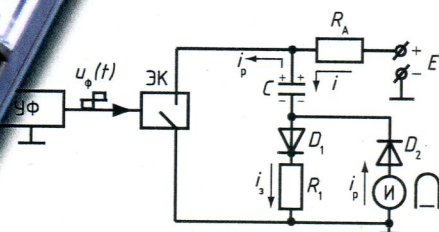
МЕТРОЛОГИЯ

И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

- Основы метрологии
- Основы теории погрешностей
- Характеристики средств измерений
- Статические и динамические погрешности средств измерений
- Доверительные интервалы и погрешности погрешностей
- Погрешности результатов измерений
- Измерения физических величин
- Построение и применение датчиков
- Равновесные и неравновесные мостовые измерительные схемы
- Аналоговые электромеханические приборы
- Приборы сравнения
- Аналоговые электронные приборы
- Цифровые измерительные приборы
- Измерительно-компьютерные системы



УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



Э.Г. МИРОНОВ, Н.П. БЕССОНОВ

МЕТРОЛОГИЯ

И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Допущено УМО вузов
по университетскому политехническому образованию
в качестве **учебного пособия**
для студентов вузов, обучающихся по специальностям
«Вычислительные машины, комплексы, системы и сети»,
«Автоматизированные системы обработки информации и управления»,
«Безопасность жизнедеятельности в техносфере»,
«Защита в чрезвычайных ситуациях»,
«Пожарная безопасность»

КНОРУС • МОСКВА • 2015

KnorusMedia
электронные версии книг

УДК 621.37(075.8)

ББК 32.842я73

М64

Рецензенты:

Ю.Б. Коляда, доц. кафедры «Метрология и взаимозаменяемость» МГТУ им. Н.Э. Баумана, канд. техн. наук, доц.,

С.П. Санников, заведующий кафедрой АПП УГЛТУ, канд. техн. наук, доц.,

С.И. Кумков, ст. науч. сотр. ИММ УрО РАН, канд. техн. наук, доц.

Миронов Э.Г.

М64 Метрология и технические измерения : учебное пособие / Э.Г. Миронов, Н.П. Бессонов. — М. : КНОРУС, 2015. — 422 с. — (Бакалавриат).

ISBN 978-5-406-00912-3

Приводятся основные положения по теории и практике метрологического обеспечения технических измерений. Рассматриваются методы и средства, используемые для измерения физических величин, в том числе датчики, измерительные схемы, электроизмерительные приборы. Дается обширное приложение и детальный перечень литературных источников по рассматриваемым вопросам.

Соответствует действующему Федеральному государственному образовательному стандарту высшего образования нового поколения.

Для студентов всех форм обучения направлений подготовки: информатика и вычислительная техника; информационные системы и технологии; техносферная безопасность.

УДК 621.37(075.8)

ББК 32.842я73

Миронов Эдуард Георгиевич

Бессонов Николай Петрович

МЕТРОЛОГИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Сертификат соответствия № РОСС RU. АЕ51. Н 16604 от 07.07.2014.

Изд. № 8619. Гарнитура «NewtonС». Формат 60×90/16.

Усл. печ. л. 26,5. Уч.-изд. л. 14,7.

ООО «Издательство «КноРус».

117218, г. Москва, ул. Кедрова, д. 14, корп. 2.

Тел.: 8-495-741-46-28.

E-mail: office@knorus.ru <http://www.knorus.ru>

Отпечатано в ООО «Контакт».

107150, г. Москва, проезд Подбельского 4-й, дом 3.

ISBN 978-5-406-00912-3

© Миронов Э.Г., Бессонов Н.П., 2015

© ООО «Издательство «КноРус», 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	9
1. Основы метрологии	11
1.1. Краткий исторический обзор	11
1.2. Термины и определения	14
1.3. Задачи метрологии	17
1.4. Международная система единиц	20
1.4.1. Общие положения	20
1.4.2. Основные единицы	21
1.4.3. Производные единицы	21
1.4.4. Внесистемные единицы	21
1.4.5. Кратные и дольные единицы	29
1.4.6. Единицы количества информации	29
1.4.7. Достоинства Международной системы единиц	29
1.5. Эталоны единиц физических величин	31
2. Основы теории погрешностей	35
2.1. Общие положения	35
2.2. Нормальный закон распределения	37
2.3. Распределение Стьюдента	40
2.4. Распределение χ^2	41
2.5. Классификация погрешностей	42
2.6. Количественные характеристики погрешностей	45
3. Характеристики средств измерений	47
3.1. Общие положения	47
3.2. Статические характеристики	48
3.3. Динамические характеристики	48
3.4. Универсальные характеристики	52
3.5. Характеристики погрешностей	53
3.6. Классы точности	54
4. Статические погрешности средств измерений	58
4.1. Общие положения	58
4.2. Выявление промахов	60
4.3. Систематические погрешности	62
4.4. Случайные погрешности	64
4.5. Суммарные погрешности	66
4.6. Правила округления	68
4.7. Пример расчета	69
5. Доверительные интервалы и погрешности погрешностей	73
5.1. Общие положения	73
5.2. Погрешность арифметического среднего	73

5.3. Погрешность систематической погрешности	75
5.4. Погрешность среднего квадратичного отклонения	76
5.5. Необходимое количество измерений	77
5.6. Пример расчета	81
6. Динамические погрешности средств измерений	84
6.1. Общие положения	84
6.2. Передаточные функции	86
6.3. Частотные характеристики	88
6.4. Пример расчета	91
7. Погрешности результатов измерений	95
7.1. Погрешности прямых многократных измерений	95
7.1.1. Порядок оценки	95
7.1.2. Пример расчета	98
7.2. Погрешности прямых однократных измерений	101
7.2.1. Порядок оценки	101
7.2.2. Примеры расчета	103
7.3. Погрешности косвенных измерений	107
7.3.1. Порядок оценки погрешностей классическим методом	107
7.3.2. Порядок оценки погрешностей по указаниям МИ 2083—90	110
7.3.3. Примеры расчета	113
7.4. Неопределенности измерений	118
8. Измерения физических величин	124
8.1. Общие положения	124
8.2. Датчики	126
8.3. Измерительные схемы	128
8.4. Средства измерения электрических величин	130
9. Построение и применение датчиков	132
9.1. Общие положения	132
9.2. Классификация датчиков	133
9.3. Параметрические датчики	135
9.3.1. Реостатные датчики	135
9.3.2. Датчики контактного сопротивления	138
9.3.3. Тензорезисторные датчики	139
9.3.4. Фоторезисторные датчики	143
9.3.5. Терморезисторные датчики	144
9.3.6. Индуктивные датчики	148
9.3.7. Емкостные датчики	154
9.4. Генераторные датчики	156
9.4.1. Термоэлектрические датчики	156
9.4.2. Пьезоэлектрические датчики	161

9.4.3. Индукционные датчики	165
9.4.4. Датчики Холла	167
9.4.5. Трансформаторные датчики	169
9.4.6. Интегральные датчики	171
9.5. Датчики с обратными преобразователями	173
9.5.1. Структура и основные свойства приборов компенсационного типа с обратными преобразователями	173
9.5.2. Магнитоэлектрические обратные преобразователи	176
9.6. Тенденции развития датчикоостроения	178
10. Динамика термочувствительных датчиков	180
10.1. Исходные данные	180
10.2. Скачкообразное изменение температуры	182
10.3. Линейное изменение температуры	186
11. Мостовые измерительные схемы	190
11.1. Общие положения	190
11.2. Основные соотношения при исследовании чувствительности	192
11.3. Основные соотношения при исследовании линейности	193
12. Неравновесные токовые мостовые измерительные схемы	195
12.1. Чувствительность токовых мостовых схем	195
12.1.1. Общие положения	195
12.1.2. Основные соотношения	197
12.1.3. Выводы и рекомендации	203
12.2. Линейность токовых мостовых схем	204
12.2.1. Общие положения	204
12.2.2. Основные соотношения	207
12.2.3. Выводы и рекомендации	214
13. Неравновесные потенциальные мостовые схемы	216
13.1. Чувствительность потенциальных мостовых схем	216
13.1.1. Общие положения	216
13.1.2. Основные соотношения	217
13.2. Линейность потенциальных мостовых схем	219
13.2.1. Общие положения	219
13.2.2. Основные соотношения	220
13.2.3. Выводы и рекомендации	228
14. Равновесные мостовые схемы	230
14.1. Общие положения	230
14.2. Датчик в первом плече	230
14.3. Датчик во втором плече	233
14.4. Датчик в третьем плече	234

14.5. Датчик в четвертом плече	236
14.6. Примеры расчета равновесных схем	237
15. Мостовые схемы переменного тока	241
15.1. Общие положения	241
15.2. Измерения параметров катушек индуктивности	245
15.3. Измерение параметров конденсаторов	249
15.4. Шестиплечие мостовые схемы	253
15.5. Трансформаторные мостовые схемы	254
15.6. Выводы и рекомендации	256
16. Примеры использования равновесных мостовых измерительных схем	258
16.1. Двух- и трехпроводные схемы включения датчиков	258
16.2. Автоматические мостовые схемы	259
17. Аналоговые электромеханические приборы	262
17.1. Общие положения	262
17.2. Магнитоэлектрические приборы	263
17.3. Электромагнитные приборы	266
17.4. Электродинамические приборы	269
17.5. Электростатические приборы	273
17.6. Индукционные приборы	275
17.7. Логометры	277
18. Приборы сравнения	280
18.1. Общие положения	280
18.2. Компенсаторы постоянного тока с ручным управлением	280
18.3. Автоматические компенсаторы постоянного тока	283
18.4. Полярно-координатные компенсаторы переменного тока	285
18.5. Прямоугольно-координатные компенсаторы переменного тока	286
19. Аналоговые электронные приборы	289
19.1. Общие положения	289
19.2. Вольтметры средних значений	290
19.3. Вольтметры амплитудных значений	293
19.4. Конденсаторные частотомеры	296
19.5. Омметры	299
20. Цифровые измерительные приборы	302
20.1. Общие положения	302
20.2. Электромеханические цифровые приборы	303
20.3. Электронные цифровые приборы	305
20.3.1. Времяимпульсные вольтметры	305
20.3.2. Уравновешивающие вольтметры	307

20.3.3. Электронно-счетные частотомеры	309
20.3.4. Измерители временных интервалов	311
20.3.5. Измерители разности фаз	314
20.4. Мультиметры	316
21. Измерительно-компьютерные системы	318
22. Измерение сил электрических токов	321
22.1. Общие положения	321
22.2. Измерение постоянного тока	322
22.3. Измерение переменного тока	327
23. Измерение электрических напряжений	330
23.1. Общие положения	330
23.2. Измерение постоянного напряжения	332
23.3. Измерение переменного напряжения	335
24. Измерение электрических сопротивлений	341
24.1. Общие положения	341
24.2. Измерение малых сопротивлений	345
24.3. Измерение средних сопротивлений	350
24.4. Измерение больших сопротивлений	356
25. Измерение температуры	360
25.1. Общие положения	360
25.2. Термометры	364
25.3. Пирометры	371
Заключение	378
Список литературы	380
Приложение 1. Статистические таблицы	384
Приложение 2. Критерий согласия по ГОСТ 8.508—84	388
Приложение 3. Характеристики датчиков	391
Приложение 4. Условные обозначения на шкалах и корпусах приборов ...	399
Приложение 5. Характеристики электроизмерительных приборов	402
Приложение 6. Условные графические обозначения в схемах	409
Приложение 7. Обозначение единиц измерения, их кратных и дольных значений	411
Приложение 8. Классификация электронных электроизмерительных приборов и система их обозначения	412
Приложение 9. Технические характеристики стандартных измерительных шунтов	415

Приложение 10. Технические характеристики устройства типа И58М	416
Приложение 11. Технические характеристики добавочного сопротивления типа Р-109	417
Приложение 12. Технические характеристики добавочного сопротивления типа Р-109	418
Приложение 13. Технические характеристики манометрических термометров	419
Приложение 14. Визуальный оптический пирометр «Проминь»	420
Приложение 15. Телескоп пирометра суммарного излучения типа ПИРС-019 с усилителем	421