



Министерство образования и науки Российской Федерации  
Уральский федеральный университет  
Институт радиоэлектроники и информационных технологий-РТФ

**Э.Г. Миронов**

## **Методы и средства измерений**

Учебное пособие

Издание третье, переработанное и дополненное

Научный редактор – доц., канд. техн. наук В.И.Паутов

Екатеринбург

2017

удк 006.9(075.8)

ББК 30.10я73

М 64

Рецензенты:

кафедра автоматизации производственных процессов Уральского государственного лесотехнического университета (зав. кафедрой – доц., канд. техн. наук С.П. Санников);

С.И. Кумков – старший научный сотрудник ИММ УрО РАН, доцент, кандидат технических наук

**Миронов Э.Г.**

М 64 **Методы и средства измерений:** учеб. пособие. Изд. 3-е, перераб. и доп. / Э.Г. Миронов. Екатеринбург: УрФУ, 2017. 347 с.

ISBN 978-5-321-01484-4

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.

Учебное пособие предназначено для студентов всех форм обучения направлений:

220400 – Управление в технических системах;

230100 - Информатика и вычислительная техника;

280100 - Безопасность жизнедеятельности.

Библиогр.: 52 назв. Рис. 133. Табл. 38. Прил. 7.

УДК 006.9(075.8)

ББК 30.10я73

ISBN 978-5-321-01484-4

© УрФУ, 2017.

© Миронов Э.Г., 2017

## Оглавление

Предисловие.....	3
Основы метрологии.....	5
1.1. Краткий исторический обзор.....	5
1.2. Термины и определения.....	8
1.3. Задачи метрологии.....	12
1.4. Международная система единиц.....	16
1.4.1. Общие положения.....	16
1.4.2. Основные единицы.....	18
1.4.3. Производные единицы.....	20
1.4.4. Внесистемные единицы.....	22
1.4.5. Кратные и дольные единицы.....	26
1.4.6. Единицы количества информации.....	26
1.4.7. Достоинства Международной системы единиц.....	27
2. Основы теории погрешностей.....	29
2.1. Общие положения.....	29
2.2. Нормальный закон распределения.....	31
2.3. Распределение Стьюдента.....	32
2.5. Классификация погрешностей.....	35
3. Характеристики средств измерений.....	40
3.1. Общие положения.....	40
3.2. Статические характеристики.....	41
3.3. Динамические характеристики.....	42
3.4. Универсальные характеристики.....	45
3.5. Характеристики погрешностей.....	46
3.6. Классы точности.....	47
4. Статические погрешности средств измерений.....	52
4.1. Общие положения.....	52
4.2. Выявление промахов.....	54
4.3. Систематические погрешности.....	56
4.5. Суммарные погрешности.....	60

4.6. Правила округления .....	61
5. Доверительные интервалы и погрешности погрешностей .....	64
5.1. Общие положения .....	64
5.2. Погрешность арифметического среднего .....	64
5.3. Погрешность систематической погрешности .....	65
5.4. Погрешность среднего квадратического отклонения .....	67
6. Динамические погрешности средств измерений .....	69
6.1. Общие положения .....	69
6.2. Передаточные функции .....	71
6.3. Частотные характеристики .....	73
7. Погрешности и неопределённости результатов измерений .....	77
7.1. Погрешности прямых многократных измерений .....	77
7.1.1. Порядок оценки .....	77
7.1.2. Пример расчёта .....	81
7.2. Погрешности прямых однократных измерений .....	84
7.3. Погрешности косвенных измерений .....	86
7.4. Неопределённости измерений .....	90
8. Измерения физических величин .....	97
8.1. Общие положения .....	97
8.2. Датчики .....	99
8.3. Измерительные схемы .....	100
8.4. Средства измерения электрических величин .....	101
9. Построение и применение датчиков .....	104
9.1. Классификация датчиков .....	104
9.2. Параметрические датчики .....	104
9.2.1. Реостатные датчики .....	104
9.2.2. Тензорезисторные датчики .....	107
9.2.3. Терморезисторные датчики .....	111
9.2.4. Индуктивные датчики .....	114
9.2.5. Емкостные датчики .....	121

9.3. Генераторные датчики.....	124
9.3.1. Термоэлектрические датчики.....	124
9.3.2. Пьезоэлектрические датчики .....	129
9.3.4. Датчики Холла.....	135
9.4. Тенденции развития датчикоостроения.....	138
10. Динамика термочувствительных датчиков.....	141
10.1. Исходные данные.....	141
10.2. Скачкообразное изменение температуры.....	143
10.3. Линейное изменение температуры.....	148
11. Мостовые измерительные схемы.....	153
11.1. Общие положения .....	153
11.2. Основные соотношения при исследовании чувствительности.....	155
11.3. Основные соотношения при исследовании линейности.....	157
12. Неравновесные потенциальные мостовые схемы.....	158
12.1. Чувствительность потенциальных мостовых схем .....	158
12.1.1. Общие положения .....	158
12.1.2. Основные соотношения .....	159
12.2. Линейность потенциальных мостовых схем.....	161
12.2.1. Общие положения .....	161
12.2.2. Основные соотношения .....	163
12.2.3. Выводы и рекомендации .....	168
13. Равновесные мостовые схемы.....	171
13.1. Общие положения.....	171
13.2. Датчик в первом плече.....	<u>171</u>
13.3. Датчик в четвертом плече .....	174
13.4. Примеры расчета равновесных схем.....	176
14. Мостовые схемы переменного тока .....	180
14.1. Общие положения .....	180
14.2. Измерения параметров катушек индуктивности.....	186
14.3. Измерение параметров конденсаторов .....	190
15. Примеры использования равновесных мостовых измерительных схем .....	195

15.1. Двух – и трёхпроводные схемы включения датчиков .....	195
15.2. Автоматические мостовые схемы .....	197
16. Аналоговые электромеханические приборы .....	199
16.1. Общие положения .....	199
16.2. Магнитоэлектрические приборы.....	200
16.4. Электродинамические приборы .....	206
16.5. Электростатические приборы.....	208
16.6. Индукционные приборы .....	209
16.7. Логометры .....	212
17. Приборы сравнения.....	215
17.1. Общие положения.....	215
17.2. Компенсаторы постоянного тока с ручным управлением.....	215
17.3. Автоматические компенсаторы постоянного тока .....	218
17.4. Полярно-координатные компенсаторы переменного тока.....	221
18. Аналоговые электронные приборы .....	223
18.1. Общие положения.....	223
18.2. Вольтметры средних значений .....	224
18.3. Вольтметры амплитудных значений.....	227
19. Цифровые измерительные приборы .....	235
19.1. Общие положения .....	235
19.2. Электромеханические цифровые приборы.....	237
19.3. Электронные цифровые приборы .....	239
19.3.1. Времяимпульсные вольтметры.....	239
19.3.2. Уравновешивающие вольтметры .....	241
19.3.3. Электронно-счетные частотомеры .....	243
19.3.4. Измерители временных интервалов .....	246
19.4. Мультиметры.....	249
20. Измерительно-компьютерные системы .....	251
21. Измерение электрических токов.....	255
21.1. Общие положения .....	255

21.2. Измерение постоянного тока .....	256
21.3. Измерение переменного тока.....	262
22. Измерение электрических напряжений.....	265
22.1. Общие положения .....	265
22.2. Измерение постоянного напряжения .....	268
22.3. Измерение переменного напряжения .....	271
23. Измерение электрических сопротивлений .....	277
23.1. Общие положения .....	277
23.2. Измерение малых сопротивлений .....	282
23.3. Измерение средних сопротивлений .....	289
23.4. Измерение больших сопротивлений .....	297
24. Измерение температуры .....	302
24.1. Общие положения .....	302
24.2. Термометры .....	307
24.3. Пирометры .....	317
Заключение.....	326
Библиографический список.....	328
Приложение 1 .....	332
Приложение 2.....	333
Приложение 3.....	334
Приложение 4.....	334
Приложение 5.....	335
Приложение 6.....	338
Приложение 7.....	339