

УДК 658.51.012.011.56(075)

ББК 32.965я7

К89

*Печатается по решению редакционно-издательского совета
Казанского национального исследовательского технологического университета*

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф. Ю. К. Евдокимов

д-р техн. наук, проф. К. Х. Гильфанов

Кузьмин В. В.

К89 Современные методы и средства формирования измерительных сигналов : учебное пособие / В. В. Кузьмин, Р. К. Нургалиев, А. А. Рыжова; Минобрнауки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. — 2-е изд., доп. и перераб. — Казань : Изд-во КНИТУ, 2020. — 360 с.

ISBN 978-5-7882-2922-5

Во второе издание (первое вышло в 2017 г.) внесен ряд дополнений и исправлений. В частности, дополнены и исправлены разделы и главы, в которых рассматриваются физические принципы преобразования различных технологических параметров в стандартные сигналы связи, технические структуры и области практического применения. Дополнительно представлена информация о способах метрологического обеспечения значительного числа типов современных средств формирования измерительных сигналов различного формата.

Предназначено для бакалавров и магистрантов направлений подготовки 27.03.04 «Управление в технических системах», 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» и 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника».

Подготовлено на кафедре систем автоматизации и управления технологическими процессами.

УДК 658.51.012.011.56(075)

ББК 32.965я7

ISBN 978-5-7882-2922-5

© Кузьмин В. В., Нургалиев Р. К.,
Рыжова А. А., 2020

© Казанский национальный исследовательский
технологический университет, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ВВЕДЕНИЕ	4
1. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДАТЧИКОВ	6
2. ТИПОВЫЕ СХЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ	26
3. УСТРОЙСТВА ПРЯМОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИГНАЛЫ СВЯЗИ	35
3.1. Преобразователи пассивного типа.....	35
3.1.1. Резистивные преобразователи	35
3.1.2. Емкостные преобразователи.....	57
3.1.3. Индуктивные преобразователи	65
3.2. Преобразователи активного типа.....	73
3.2.1. Трансформаторные преобразователи	73
3.2.2. Магнитоупругие преобразователи	78
3.2.3. Индукционные преобразователи.....	81
3.2.4. Термоэлектрические преобразователи	86
3.2.5. Пьезоэлектрические преобразователи	95
4. КОНТАКТНЫЕ И БЕСКОНТАКТНЫЕ СРЕДСТВА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ	105
4.1. Датчики, основанные на эффекте теплового расширения термометрических веществ	107
4.2. Датчики на основе терморезистивных преобразователей.....	109
4.3. Датчики на основе термоэлектрических преобразователей.....	115
4.4. Особенности измерения температуры контактными методами.....	122
4.5. Диодные преобразователи температуры.....	123
4.6. Оптические, радиационные и цветовые пирометры.....	124
4.7. Тепловизоры	129
5. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ	132
5.1. Датчики давления со встроенными унифицированными передающими преобразователями.....	135
5.2. Датчики давления с прямым преобразованием деформации упругих чувствительных элементов в электрические сигналы	140
5.2.1. Потенциометрические (реостатные) датчики	140
5.2.2. Индуктивные датчики.....	141

5.2.3. Емкостные датчики	144
5.2.4. Тензорезистивные (пьезорезистивные) датчики.....	147
5.2.5. Частотно-резонансные датчики	151
5.2.6. Оптоэлектронный датчик	155
5.2.7. Условия правильного выбора и эксплуатации средств измерения давления	157
6. СРЕДСТВА ФОРМИРОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ О РАСХОДЕ ЖИДКИХ И ГАЗООБРАЗНЫХ СРЕД	159
6.1. Средства, основанные на методе переменного перепада давления (РППД)	160
6.1.1. РППД с сужающими устройствами	160
6.1.2. РППД с напорными трубками	170
6.1.3. РППД с центробежными преобразователями	176
6.2. Средства, основанные на использовании критического режима истечения рабочего тела	178
6.3. Массовые кориолисовы расходомеры.....	180
6.4. Вихревые расходомеры.....	183
6.5. Электромагнитные расходомеры.....	191
6.6. Акустические (ультразвуковые) расходомеры.....	200
6.7. Тахометрические (ротационные) расходомеры и счетчики.....	211
7. СРЕДСТВА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ УРОВНЕЙ ЖИДКИХ И СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ	220
7.1. Датчики на основе поплавковых и буйковых преобразователей.....	220
7.2. Датчики, основанные на гидростатическом методе измерения	223
7.3. Датчики на основе емкостных преобразователей	224
7.4. Датчики на основе кондуктометрических преобразователей	230
7.5. Датчики акустического (ультразвукового) типа	231
8. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА И СОСТАВА ЖИДКИХ И ГАЗООБРАЗНЫХ ВЕЩЕСТВ	239
8.1. Средства измерения вязкости.....	239
8.2. Капиллярные вискозиметры.....	240
8.3. Вискозиметры с падающим шариком	244
8.4. Вискозиметры ротационного типа.....	245
8.5. Вибрационные вискозиметры	248

9. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ВЕЩЕСТВ	252
9.1. Весовые (пикнометрические) и поплавковые (ареометрические) плотномеры	253
9.2. Гидростатические плотномеры	256
9.3. Газогазодинамические плотномеры	258
9.4. Датчики плотности вибрационного типа	261
9.5. Ультразвуковые плотномеры	267
10. ХРОМАТОГРАФИЯ	272
11. СРЕДСТВА ОПЕРАТИВНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ЖИДКИХ И ГАЗООБРАЗНЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СРЕД	295
11.1. Дизелькометрические влагомеры	295
11.2. Оптические влагомеры	296
11.3. Микроволновые влагомер	298
11.4. Анализаторы точки росы	302
11.5. Кулонометрические влагомеры	305
11.6. Емкостные анализаторы на основе Al_2O_3 или SiO_2	308
11.7. Влагомеры, построенные на основе пьезокристалла (пъезосорбционные гигрометры)	310
12. МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ, ДАВЛЕНИЯ, РАСХОДА И УРОВНЯ	314
12.1. Метрологическое обеспечение средств измерения температуры	318
12.2. Метрологическое обеспечение датчиков давления	326
12.3. Метрологическое обеспечение средств измерения расхода жидких и газообразных сред	329
12.4 Метрологическое обеспечение средств измерения уровня жидкостей	339
СПИСОК ЦИТИРУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	345
ПРИЛОЖЕНИЕ	351