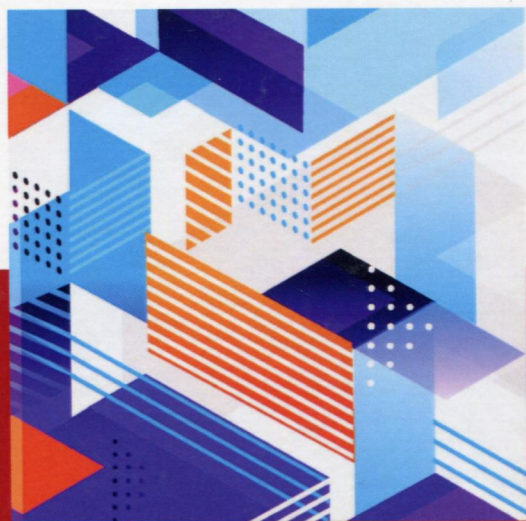


ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ

ТЕОРИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Основы проективной
теории измерений



О. А. Цыбульский



E.LANBOOK.COM

О. А. ЦЫБУЛЬСКИЙ

ТЕОРИЯ ИЗМЕРЕНИЙ. ОСНОВЫ ПРОЕКТИВНОЙ ТЕОРИИ ИЗМЕРЕНИЙ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



ЛАНЬ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ • МОСКВА • КРАСНОДАР

2024

УДК 53.08
ББК 30.10я73

Ц 93 **Цыбульский О. А.** Теория измерений. Основы проективной теории измерений : учебное пособие для вузов / О. А. Цыбульский. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 192 с. : ил. — Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-507-48185-9

Приводится развитие теории измерений в областях, в которых применение линейной модели измерений становится неэффективным. Это параметрические и широкодиапазонные измерения, в которых нелинейность характеристики преобразования уже необходимо учитывать в модели измерения. Эту задачу решает проективная теория измерений. Обобщенное уравнение проективного измерения включает линейное и параметрическое преобразования в качестве частных случаев.

Адресовано студентам вузов и специалистам по измерениям.

УДК 53.08
ББК 30.10я73

Рецензенты:

А. А. МИНАКОВ — кандидат технических наук, заместитель генерального директора АО «Промсервис»;

Ю. Г. ШМИГИРИЛОВ — кандидат технических наук, доцент кафедры общей и медицинской физики Димитровградского инженерно-технологического института Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ».

Обложка

П. И. ПОЛЯКОВА

© Издательство «Лань», 2024
© О. А. Цыбульский, 2024
© Издательство «Лань», художественное оформление, 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

Условные обозначения	3
Введение	4
Глава 1. Нормирование предельной погрешности.....	13
1.1. Нормирование предельной погрешности параметрических преобразователей.....	17
1.2. Проективные свойства параметрического преобразования	20
1.3. Нормирование предельной погрешности с помощью граничных предельных погрешностей	22
1.4. Сравнение способов нормирования предельной погрешности.....	23
1.5. Влияние закона изменения плотности вероятности измеряемой величины на полосу предельной погрешности прибора	27
1.6. Выводы по главе 1.....	30
Вопросы для самоконтроля.....	30
Глава 2. Согласование погрешности квантования прибора с полосой его предельной погрешности.....	31
2.1. Полоса предельной погрешности приборов.....	31
2.2. Метод трансформации шкалы измерительного преобразования.....	35
2.3. Аддитивная полоса предельной погрешности	36
2.4. Аддитивно-мультипликативная (АМ) полоса предельной погрешности.....	37
2.5. Аддитивно-мультипликативно-гиперболическая (АМГ) полоса предельной погрешности.....	38
2.6. Уравнение измерений при применении АЦП с линейной шкалой квантования	41
2.7. Выводы по главе 2.....	42

Вопросы для самоконтроля.....	43
Глава 3. Свойства дробно-линейных АЦП	44
3.1. Классификация методов прямых измерений	44
3.2. Дробно-линейное уравнение измерения со шкалой измерений с «квазипостоянной» относительной погрешностью	51
3.3. Критерий квантования дробно-линейного АЦП	53
3.4. Отношение сигнал/шум квантования (<i>SNR</i>) дробно-линейного АЦП.....	58
3.5. Свойства характеристики дробно-линейного АЦП и примеры применения	60
3.6. Получение требуемой шкалы квантования дробно-линейного АЦП.....	60
3.7. Получение требуемой характеристики АЦ-преобразования.....	61
3.8. Сжатие и расширение динамического диапазона измерений	62
3.9. Построение аналого-цифрового преобразования с заданной нелинейностью характеристики.....	64
3.10. Линеаризация параметрических преобразователей	65
3.11. Выводы по главе 3.....	68
Вопросы для самоконтроля.....	69
Глава 4. Критерий для обобщенной оценки приборов по точности и диапазону	70
4.1. Критерий количества эффективных квантов измерительной шкалы.....	71
4.2. Средние по диапазону погрешности измерения	75
4.3. Сравнение многодиапазонных приборов	77
4.4. Оценка методов нормирования погрешности.....	82
4.5. Выводы по главе 4.....	84
Вопросы для самоконтроля.....	85

Глава 5. Проективная модель измерений	86
5.1. Связь измерительной техники и проективной геометрии	86
5.2. Проективная модель линейных измерений	91
5.3. Проективная модель дробно-линейных измерений	93
5.4. Обобщенная модель проективного измерительного преобразования	95
5.5. Выводы по главе 5	107
Вопросы для самоконтроля	107
Глава 6. Свойства проективного измерительного преобразования ...	109
6.1. Свойства отношений параметров проективного измерения	110
6.2. Свойства разностей и произведений параметров проективного измерения	111
6.3. Закономерность преобразования погрешности квантования при проективном измерении	112
6.4. Переход формул к ненормированным переменным	113
6.5. Выводы по главе 6	115
Вопросы для самоконтроля	116
Глава 7. Применение проективного инварианта сложного отношения четырех точек шкалы для снижения погрешности измерения	117
7.1. Автоматическая коррекция погрешности измерения	119
7.2. Выводы по главе 7	127
Вопросы для самоконтроля	128
Глава 8. Инвариант проективного измерительного преобразователя	129
8.1. Определение значения инварианта преобразователя S	131
8.2. Уравнение проективного измерения, выраженное через S	134

8.3. Коэффициент нелинейности S функции проективного преобразования	134
8.4. Проведение коррекции систематической погрешности на основе двух тестовых сигналов	137
8.5. Проведение коррекции систематической погрешности на основе одного тестового сигнала.....	138
8.6. Преимущества применения МСО при проективном измерении	141
8.7. Выводы по главе 8.....	143
Вопросы для самоконтроля.....	143
Глава 9. Анализ и синтез в проективных измерениях	145
9.1. Характеристики проективного измерения	146
9.2. Расширение диапазона изменений выходного кода K	154
9.3. Алгоритмы синтеза уравнения проективного измерения.....	157
9.4. Коррекция погрешности проективного измерения	159
9.5. Проведение коррекции систематической погрешности на основе одного тестового сигнала.....	166
9.6. Выводы по главе 9.....	169
Вопросы для самоконтроля.....	170
Заключение.....	172
Приложение	178
Библиографический список	180