

А. Г. Щепетов

# ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ

УЧЕБНИК И ПРАКТИКУМ ДЛЯ ВУЗОВ

*Рекомендовано Учебно-методическим отделом высшего образования в качестве учебника и практикума для студентов высших учебных заведений, обучающихся по инженерно-техническим направлениям и специальностям*



Курс с практическими заданиями и дополнительными материалами доступен на образовательной платформе «Юрайт», а также в мобильном приложении «Юрайт.Библиотека»

Москва • Юрайт • 2025

# Оглавление

<b>Список принятых сокращений.....</b>	<b>9</b>
<b>Предисловие .....</b>	<b>12</b>
<b>Введение.....</b>	<b>16</b>
<b>Глава 1. Общие сведения о проектировании приборов и систем .....</b>	<b>18</b>
1.1. Место проектирования в жизненном цикле измерительного устройства.....	18
1.2. Виды проектных работ.....	20
1.3. Блочнo-иерархический подход.....	22
1.4. Функциональное проектирование измерительного устройства.....	25
1.5. Конструирование измерительного устройства .....	27
1.6. Методы и средства автоматизации проектирования измерительного устройства .....	29
1.7. Качество приборов и систем .....	32
<i>Контрольные вопросы и задания.....</i>	<i>33</i>
<b>Глава 2. Принципы построения приборов и систем.....</b>	<b>35</b>
2.1. Классификация приборов и систем .....	35
2.2. Условия и режимы работы измерительного устройства .....	44
2.3. Структуры приборов и систем.....	46
2.4. Первичные измерительные преобразователи.....	53
2.5. Схемы включения преобразователей .....	56
2.5.1. Схемы включения с выходным АМ-сигналом .....	56
2.5.2. Схемы включения с выходным ЧМ-сигналом .....	67
2.6. Автоматические измерительные приборы.....	72
2.7. Согласование элементов прибора .....	76
<i>Контрольные вопросы и задания.....</i>	<i>78</i>
<b>Глава 3. Разработка математической модели измерительного устройства .....</b>	<b>79</b>
3.1. Этапы разработки математической модели измерительного устройства.....	79
3.2. Элементы математической модели измерительного устройства.....	81
3.3. Пример разработки математической модели измерительного устройства... 83	
3.3.1. Математическая модель прибора для статического режима измерений.....	84
3.3.2. Математическая модель прибора для динамического режима измерений.....	88
3.3.3. Математическая модель прибора для возмущенного режима измерений.....	95
<i>Контрольные вопросы и задания.....</i>	<i>96</i>

<b>Глава 4. Статические характеристики измерительного устройства .....</b>	<b>97</b>
4.1. Виды статических характеристик измерительного устройства .....	97
4.2. Расчет статической характеристики по структурной схеме измерительного устройства .....	103
4.3. Расчет коэффициента чувствительности измерительного устройства .....	108
4.4. Расчет погрешности от нелинейности статической характеристики измерительного устройства .....	112
4.4.1. Расчет прямой наименьших модулей и максимальной приведенной погрешности от нелинейности статической характеристики измерительного устройства .....	113
4.4.2. Расчет прямой наименьших квадратов и среднеквадратической приведенной погрешности от нелинейности статической характеристики измерительного устройства .....	117
4.4.3. Свойства погрешности от нелинейности статической характеристики измерительного устройства .....	119
4.5. Расчет градуировочной статической характеристики измерительного устройства .....	121
<i>Контрольные вопросы и задания .....</i>	<i>123</i>
<b>Глава 5. Динамические характеристики измерительного устройства .....</b>	<b>124</b>
5.1. Виды динамических характеристик измерительного устройства .....	124
5.2. Полные динамические характеристики измерительного устройства .....	125
5.2.1. Дифференциальное уравнение измерительного устройства .....	125
5.2.2. Передаточная функция измерительного устройства .....	127
5.2.3. Переходная функция измерительного устройства .....	132
5.2.4. Весовая функция измерительного устройства .....	136
5.2.5. Частотные динамические характеристики измерительного устройства .....	138
5.2.6. Взаимосвязь полных динамических характеристик измерительного устройства .....	144
5.3. Частные динамические характеристики измерительного устройства .....	144
5.3.1. Длительность переходного процесса .....	145
5.3.2. Интегральные показатели качества переходного процесса .....	148
5.3.3. Полоса пропускания частот .....	151
5.4. Оптимальные динамические характеристики измерительных устройств .....	156
<i>Контрольные вопросы и задания .....</i>	<i>162</i>
<b>Глава 6. Основы синтеза измерительного устройства .....</b>	<b>163</b>
6.1. Методология синтеза измерительного устройства .....	163
6.2. Синтез измерительного устройства по критериям статической точности .....	166
6.2.1. Синтез параметров расчетной статической характеристики измерительного устройства .....	166
6.2.2. Структурный синтез статической характеристики измерительного устройства .....	174
6.3. Синтез измерительного устройства по критериям динамической точности .....	181
6.3.1. Синтез параметров передаточной функции измерительного устройства .....	181

6.3.2. Структурный синтез передаточной функции измерительного устройства .....	187
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	192
<b>Глава 7. Характеристики измерительных сигналов .....</b>	<b>193</b>
7.1. Виды измерительных сигналов .....	193
7.2. Виды характеристик сигнала .....	198
7.3. Характеристики детерминированных сигналов .....	200
7.3.1. Энергетические характеристики .....	200
7.3.2. Спектральные характеристики .....	201
7.3.3. Ширина спектра и активная длительность сигнала .....	210
7.3.4. Корреляционные характеристики .....	211
7.4. Характеристики случайных измерительных сигналов .....	214
7.4.1. Характеристики случайных сигналов, не изменяющихся во времени .....	214
7.4.2. Характеристики системы случайных сигналов .....	216
7.4.3. Типовые распределения случайных сигналов .....	218
7.4.4. Характеристики случайных сигналов, изменяющихся во времени .....	222
7.5. Информационные характеристики сигналов .....	228
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	232
<b>Глава 8. Преобразование измерительных сигналов .....</b>	<b>233</b>
8.1. Виды измерительных преобразований .....	233
8.2. Преобразование детерминированного сигнала .....	236
8.2.1. Безынерционное преобразование детерминированного сигнала .....	236
8.2.2. Инерционное преобразование детерминированного сигнала .....	240
8.3. Преобразование случайного сигнала .....	246
8.3.1. Безынерционное преобразование случайного сигнала .....	246
8.3.2. Инерционное преобразование случайного сигнала .....	247
8.4. Специальные преобразования сигнала .....	248
8.4.1. Модуляция и детектирование .....	248
8.4.2. Дискретизация, квантование и кодирование .....	254
8.4.3. Фильтрация .....	255
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	257
<b>Глава 9. Анализ точности измерительного устройства .....</b>	<b>259</b>
9.1. Уравнение погрешности измерений .....	259
9.2. Оценка погрешности измерений на стадии проектирования измерительного устройства .....	263
9.2.1. Разработка модели измерительного сигнала .....	264
9.2.2. Разработка модели измерительного устройства для возмущенного режима измерений .....	266
9.2.3. Расчет относительной погрешности коэффициента чувствительности измерительного устройства .....	267
9.2.4. Расчет аддитивных помех .....	268
9.2.5. Расчет суммарной погрешности .....	272
9.2.6. Анализ структуры суммарной погрешности измерительного устройства .....	272

9.3. Методы повышения точности .....	273
9.3.1. Уменьшение систематической погрешности .....	273
9.3.2. Уменьшение случайной погрешности.....	274
9.3.3. Уменьшение погрешности от нелинейности статической характеристики измерительного устройства.....	274
9.3.4. Уменьшение инерционности измерительного устройства .....	275
9.3.5. Уменьшение аддитивных погрешностей.....	275
9.3.6. Уменьшение мультипликативных погрешностей.....	276
9.3.7. Тестовые методы повышения точности.....	279
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	281
<b>Глава 10. Основы надежности измерительных устройств.....</b>	<b>282</b>
10.1. Виды эксплуатационных характеристик измерительных устройств.....	282
10.2. Оценка надежности измерительных устройств на стадии проектирования .....	284
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	294
<b>Глава 11. Организация процесса проектирования .....</b>	<b>295</b>
11.1. Организация научно-исследовательских работ .....	295
11.2. Организация опытно-конструкторских работ .....	302
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	308

## ПРАКТИКУМ

<b>П1. Вычисления в Mathcad.....</b>	<b>313</b>
Задания первого занятия.....	332
Упражнения .....	333
<b>П2. Задачи и решения .....</b>	<b>336</b>
П2.1. Принципы построения приборов и систем .....	336
П2.2. Разработка математической модели измерительного устройства .....	336
П2.3. Статические характеристики измерительного устройства .....	339
П2.4. Динамические характеристики измерительного устройства .....	356
П2.5. Основы синтеза измерительного устройства .....	360
П2.6. Характеристики измерительных сигналов .....	368
П2.7. Преобразование измерительных сигналов.....	369
П2.8. Анализ точности измерительного устройства .....	370
П2.9. Основы надежности измерительного устройства.....	377
<b>П3. Лабораторный практикум .....</b>	<b>382</b>
П3.1. Лабораторная работа «Тензорезистивные датчики» .....	382
П3.2. Лабораторная работа «Исследование индуктивных преобразователей» .....	389
П3.3. Лабораторная работа «Исследование струнных измерительных преобразователей» .....	393
<b>П4. Курсовое проектирование .....</b>	<b>400</b>
П4.1. Цель работы.....	400
П4.2. Структура работы.....	400
П4.3. Описание объектов проектирования.....	401

П4.4. Характеристики объектов проектирования.....	408
П4.5. Расчет элементов прибора.....	413
П4.6. Расчет и анализ надежности.....	419
П4.7. Задание .....	419
П4.8. Развитие результатов.....	421
<b>Список использованной литературы .....</b>	<b>422</b>

## ПРИЛОЖЕНИЯ

<b>Приложение 1. Преобразование Лапласа и его свойства .....</b>	<b>427</b>
<b>Приложение 2. Динамические характеристики простых измерительных устройств .....</b>	<b>433</b>
<b>Приложение 3. Динамические характеристики оптимальных измерительных устройств.....</b>	<b>453</b>
<b>Приложение 4. Надежность элементов измерительных устройств.....</b>	<b>456</b>