

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ



О. С. Вадутов

ЭЛЕКТРОНИКА

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

УЧЕБНИК и ПРАКТИКУМ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

 **юрайт**
издательство

Оглавление

Предисловие	3
Глава 1. Общая характеристика сигналов	5
1.1. Основные понятия: информация, сообщение, сигнал	5
1.2. Математическая модель аналогового сигнала.....	7
1.3. Классификация сигналов.....	8
1.4. Энергетические характеристики сигналов	12
1.5. Представление детерминированного сигнала с помощью простейших функций.....	12
1.6. Представление детерминированного сигнала с помощью ортogonalных функций.....	13
1.7. Дискретизация аналоговых сигналов. Дискретные и цифровые последовательности.....	18
1.8. Обработка сигналов	20
Контрольные вопросы и упражнения	22
Глава 2. Гармонический анализ периодических сигналов.....	23
2.1. Базисная система сигналов	23
2.2. Тригонометрический ряд Фурье.....	25
2.3. Комплексный (экспоненциальный) ряд Фурье.....	27
2.4. Историческая справка.....	29
2.5. Спектры простейших периодических сигналов.....	30
2.6. Условия сходимости ряда Фурье. Явление Гиббса	34
2.7. Распределение мощности в спектре периодического сигнала.....	37
2.8. Практическая ширина спектра	38
Контрольные вопросы и упражнения	39
Глава 3. Гармонический анализ непериодических сигналов	41
3.1. Преобразование Фурье.....	41
3.2. Спектральные характеристики простейших непериодических сигналов	44
3.3. Основные свойства преобразования Фурье.....	47
3.4. Распределение энергии в спектре непериодического сигнала. Практическая ширина спектра	51
Контрольные вопросы и упражнения	53
Глава 4. Спектральное разложение сигналов по функциям Лагерра и Уолша	55
4.1. Полиномы и функции Лагерра	55
4.2. Разложение сигналов по функциям Лагерра.....	57
4.3. Функции Уолша и способы их упорядочивания.....	58

4.4. Разложение сигналов по функциям Уолша	62
Контрольные вопросы и упражнения	64
Глава 5. Линейные стационарные системы	65
5.1. Общие понятия.....	65
5.2. Дифференциальное уравнение линейной стационарной системы	67
5.3. Передаточная функция линейной стационарной системы.....	68
5.4. Частотная передаточная функция и частотные характеристики линейной стационарной системы	70
5.5. Импульсная переходная функция линейной стационарной системы.....	71
5.6. Устойчивость линейных стационарных систем.....	72
5.7. Расчет реакции системы при помощи интеграла свертки.....	74
5.8. Спектральный метод определения реакции системы на детерминированные сигналы.....	75
5.9. Операторный метод определения реакции системы на детерминированные сигналы.....	77
5.10. Условия неискаженной передачи сигнала линейной стационарной системой	80
5.11. Интегрирование детерминированных сигналов	81
5.12. Дифференцирование детерминированных сигналов	83
Контрольные вопросы и упражнения	84
Глава 6. Аналоговые фильтры.....	87
6.1. Задача фильтрации. Базисные фильтры и их идеальные частотные характеристики	87
6.2. Задача аппроксимации. Типовые ФНЧ.....	90
6.3. Фильтры Баттерворта.....	92
6.4. Фильтры Чебышева первого рода	95
6.5. Денормирование и трансформация фильтров	97
6.6. Примеры расчета фильтров	100
Контрольные вопросы и упражнения	103
Глава 7. Дискретные модели сигналов.....	105
7.1. Типовые дискретные последовательности	105
7.2. Описание и преобразование дискретных последовательностей.....	107
7.3. Представление дискретной последовательности в виде дискретной функции времени.....	109
7.4. Дискретное преобразование Лапласа. Z-преобразование	110
7.5. Свойства прямого Z-преобразования	113
7.6. Обратное Z-преобразование	115
7.7. Преобразование Фурье дискретного сигнала.....	118
7.8. Дискретное преобразование Фурье (ДПФ).....	120
7.9. Свойства дискретного преобразования Фурье	122

7.10. Восстановление сигнала по его отсчетам	123
Контрольные вопросы и упражнения	126
Глава 8. Линейные дискретные системы	129
8.1. Понятие дискретной системы	129
8.2. Описание дискретной системы разностным уравнением	130
8.3. Передаточная функция дискретной системы	132
8.4. Импульсная характеристика дискретной системы. Уравнение свертки	133
8.5. Частотная передаточная функция дискретной системы	135
8.6. Амплитудная и фазовая частотные характеристики	136
8.7. Структурные схемы дискретной системы	137
8.8. Устойчивость дискретных систем	141
8.9. Дискретное интегрирование	143
8.10. Дискретное дифференцирование	144
Контрольные вопросы и упражнения	145
Глава 9. Принципы построения и классификация	
цифровых фильтров	147
9.1. Функциональная схема цифрового фильтра	147
9.2. Достоинства и недостатки цифровых фильтров	150
9.3. Классификация цифровых фильтров	151
9.4. Реализация цифровых фильтров	153
Контрольные вопросы и упражнения	154
Глава 10. Рекурсивные цифровые фильтры	155
10.1. Рекурсивные цифровые фильтры первого порядка	155
10.2. Рекурсивные цифровые фильтры второго порядка	157
10.3. Реализация рекурсивных цифровых фильтров	160
10.4. Расчет рекурсивных цифровых фильтров по аналоговому прототипу ...	162
10.5. Примеры расчета цифровых фильтров по аналоговому прототипу	167
10.6. Прямые методы расчета рекурсивных цифровых фильтров	171
Контрольные вопросы и упражнения	172
Глава 11. Нерекурсивные цифровые фильтры	173
11.1. Нерекурсивные цифровые фильтры первого порядка	173
11.2. Нерекурсивные цифровые фильтры 2-го порядка	174
11.3. Особенности нерекурсивных цифровых фильтров	175
11.4. Нерекурсивные цифровые фильтры с линейной ФЧХ	177
11.5. Расчет нерекурсивных цифровых фильтров при помощи метода взвешивания	180
11.6. Расчет нерекурсивных цифровых фильтров методом разложения АЧХ в ряд Фурье	184
11.7. Реализация нерекурсивных цифровых фильтров	186
Контрольные вопросы и упражнения	188

Глава 12. Спектральный анализ	189
12.1. Основные понятия спектрального анализа.....	189
12.2. Коррелогограммный метод оценивания спектральной плотности мощности.....	191
12.3. Периодограммный метод оценивания спектральной плотности мощности.....	193
12.4. Вычисление ДПФ и алгоритмы БПФ	195
12.5. Алгоритм БПФ с прореживанием по времени.....	197
12.6. Алгоритмы БПФ с прореживанием по частоте	201
Контрольные вопросы и упражнения	204

Практикум

1. Гармонический анализ периодических сигналов.....	207
1.1. Цель работы	207
1.2. Основные понятия и расчетные формулы.....	207
1.3. Методические указания.....	209
1.4. Программа работы.....	210
1.5. Контрольные вопросы и задания	211
2. Гармонический анализ непериодических сигналов	213
2.1. Цель работы	213
2.2. Основные понятия и расчетные формулы.....	213
2.3. Методические указания.....	216
2.4. Программа работы.....	217
2.5. Контрольные вопросы и задания	218
3. Непрерывное вейвлет-преобразование	219
3.1. Цель работы	219
3.2. Оконное преобразование Фурье	219
3.3. Определение вейвлет-функции.....	220
3.4. Вейвлет-преобразование.....	222
3.5. Методические указания.....	223
3.6. Программа работы.....	223
3.7. Контрольные вопросы и задания	224
4. Разложение сигналов по системе функций Уолша	225
4.1. Цель работы	225
4.2. Основные понятия и расчетные формулы.....	225
4.3. Разложение сигналов по функциям Уолша	227
4.4. Методические указания.....	228
4.5. Программа работы.....	229
4.6. Контрольные вопросы и задания	230

5. Разложение сигналов по системе функций Хаара	231
5.1. Цель работы	231
5.2. Основные понятия и расчетные формулы	231
5.3. Методические указания	234
5.4. Программа работы	235
5.5. Контрольные вопросы и задания	236
6. Исследование аналоговых фильтров нижних и верхних частот	237
6.1. Цель работы	237
6.2. Основные понятия и расчетные формулы	237
6.3. Методические указания	240
6.4. Программа работы	241
6.5. Контрольные вопросы и задания	242
7. Представление сигналов при помощи ряда Котельникова	243
7.1. Цель работы	243
7.2. Основные понятия и расчетные формулы	243
7.3. Методические указания	246
7.4. Программа работы	247
7.5. Контрольные вопросы и задания	248
8. Дискретное интегрирование и дифференцирование	249
8.1. Цель работы	249
8.2. Основные понятия и расчетные формулы	249
8.3. Методические указания	252
8.4. Программа работы	253
8.5. Контрольные вопросы и задания	254
9. Сглаживание дискретных последовательностей	255
9.1. Цель работы	255
9.2. Основные понятия и расчетные формулы	255
9.3. Методические указания	258
9.4. Программа работы	259
9.5. Контрольные вопросы и задания	260
10. Рекурсивные цифровые фильтры нижних и верхних частот	261
10.1. Цель работы	261
10.2. Основные понятия и расчетные формулы	261
10.3. Методические указания	264
10.4. Программа работы	265
10.5. Контрольные вопросы и задания	266
11. Исследование нерекурсивного цифрового фильтра нижних частот	267
11.1. Цель работы	267

11.2. Основные понятия и расчетные формулы	267
11.3. Методические указания	270
11.4. Программа работы.....	271
11.5. Контрольные вопросы и задания	272
12. Оценивание характеристик стационарного случайного процесса	273
12.1. Цель работы.....	273
12.2. Основные понятия и расчетные формулы	273
12.3. Методические указания	276
12.4. Программа работы.....	277
12.5. Контрольные вопросы и задания	278
13. Спектральное оценивание при помощи коррелограммного метода....	279
13.1. Цель работы.....	279
13.2. Основные понятия и расчетные формулы	279
13.3. Методические указания	281
13.4. Программа работы.....	283
13.5. Контрольные вопросы и задания	284
14. Спектральное оценивание при помощи периодограммного метода ...	285
14.1. Цель работы.....	285
14.2. Основные понятия и расчетные формулы	285
14.3. Методические указания	287
14.4. Программа работы.....	289
14.5. Контрольные вопросы и задания	290
Заключение	291
Приложения.....	292
П.1. Варианты исследуемых функций	292
П.2. Передаточные функции нормированных ФНЧ	293
П.3. Характеристики оконных функций	294
П.4. Встроенные операторы MathCAD.....	295
П.5. Встроенные функции MathCAD.....	296
П.6. Примеры программ в системе MathCAD.....	298
Список литературы.....	301