

Оглавление

Глава 1. Основы программно-конфигурируемого радио	3
1.1. Лекция. Основы программно-конфигурируемого радио	4
1.1.1. Понятие программно-конфигурируемого радио	4
1.1.2. Архитектура радиостанции ПКР	5
1.1.3. Современные тенденции применения ПКР	8
1.1.4. Эволюция радиостанций ПКР	11
1.1.5. Анализ структуры радиоприемника RTL-SDR	13
1.1.6. Реализация приемопередатчика ПКР в СПО	17
Глава 2. Интерфейс устройства RTL-SDR в Matlab/Simulink	22
2.1. Лабораторное занятие. Интерфейс устройства RTL-SDR в Matlab	22
2.1.1. Параметры объекта comm.SDRRTLReceiver	22
2.1.2. Анализ спектра устройством RTL-SDR в Matlab	25
2.1.3. Сканирование диапазона частот RTL-SDR	26
2.2. Лабораторное занятие. Интерфейс устройства RTL-SDR в Simulink	30
2.2.1. Параметры блока RTL-SDR Receiver	31
2.2.2. Анализ спектра устройством RTL-SDR в Simulink	31
2.3. Лабораторное занятие. Калибровка частоты устройства RTL-SDR	35
2.3.1. Передатчик USRP для калибровки частоты	35
2.3.2. Калибровка частоты RTL-SDR в Matlab	38
2.3.3. Калибровка частоты RTL-SDR в Simulink	41
Глава 3. Интерфейс устройства USRP в Matlab/Simulink	48
3.1. Лабораторное занятие. Интерфейс устройства USRP в Matlab/Simulink	48
3.1.1. Параметры объекта comm.SDRuReceiver/comm.SDRuTransmitter	48
3.1.2. Параметры блоков SDRu Transmitter и SDRu Receiver в Simulink	52
3.2. Лабораторное занятие. Калибровка частоты устройства USRP в Matlab	54
3.2.1. Передатчик для калибровки частоты USRP	54
3.2.2. Приемник для калибровки частоты USRP	55
3.2.3. Калибровка частоты приемника USRP	56
3.3. Лабораторное занятие. Калибровка частоты устройства USRP в Simulink	58
3.3.1. Передатчик для калибровки частоты USRP	58
3.3.2. Приемник для калибровки частоты USRP	61
3.3.3. Калибровка частоты приемника USRP	64
Глава 4. Комплексные сигналы и спектры	65
4.1. Лекция. Квадратурная модуляция	65
4.1.1. Модуляция с подавленной несущей	65

4.1.2. Демодуляция при фазовом сдвиге.....	66
4.1.3. Квадратурная модуляция и демодуляция в вещественной форме	67
4.1.4. Квадратурная демодуляция при фазовом сдвиге	69
4.1.5. Квадратурная модуляция и демодуляция в комплексной форме	70
4.1.6. Спектры квадратурной модуляции и демодуляции	71
4.1.7. Компенсация частотного сдвига при квадратурной демодуляции	72
4.2. Практическое занятие. Комплексные сигналы и спектры.....	73
4.2.1. Сигналы и спектры в вещественной форме.....	73
4.2.2. Сигналы и спектры в комплексной форме.....	75
4.3. Практическое занятие. Модулированные сигналы и спектры.....	79
4.3.1. Пример четырехтонального сигнала	79
4.3.2. Комплексный демодулированный сигнал	80
4.3.3. Квадратурная модуляция и демодуляция	84
4.3.4. Компенсация фазового и частотного сдвига при демодуляции ..	85
Глава 5. Амплитудная модуляция	100
5.1. Практическое занятие. Амплитудная модуляция	100
5.1.1. Амплитудная модуляция с подавленной несущей (AM-DSB-SC)	100
5.1.2. Амплитудная модуляция (AM-DSB-TC)	103
5.1.3. Однополосная амплитудная модуляция (AM-SSB).....	107
5.2. Практическое занятие. Амплитудная демодуляция	110
5.2.1. Демодуляция AM-DSB-SC	110
5.2.2. Демодуляция AM-DSB-TC.....	111
5.2.3. Некогерентная демодуляция	113
5.3. Лабораторное занятие. Реализация АМ передатчика на USRP ...	121
5.3.1. Реализация АМ передатчика AM-DSB-SC на USRP	122
5.3.2. Реализация АМ передатчика AM-DSB-TC на USRP	126
5.3.3. Реализация АМ передатчика AM-SSB на USRP	126
5.4. Лабораторное занятие. Реализация АМ приемника на RTL-SDR .	136
5.4.1. Реализация детектора огибающей AM-DSB-TC на RTL-SDR в Simulink.....	138
5.4.2. Реализация детектора огибающей AM-DSB-TC на RTL-SDR в Matlab	142
5.4.3. Детектирование огибающей AM-DSB-SC на RTL-SDR в Simulink	144
5.4.4. Демодуляция AM-SSB на RTL-SDR в Simulink.....	145
5.5. Лабораторное занятие. Мультиплексирование АМ сигналов.....	147
5.5.1. Организация частотного мультиплексирования.....	147
5.5.2. Реализация передатчика мультиплекса на USRP	150
5.5.3. Реализация приемника мультиплекса на RTL-SDR.....	154
Глава 6. Фазовая автоподстройка частоты	160
6.1. Практическое занятие. Постановка задачи автоподстройки частоты	160
6.1.1. Происхождение фазовых и частотных сдвигов.....	160
6.1.2. Когерентная и некогерентная демодуляции.....	162
6.2. Лекция. Контур фазовой автоподстройки частоты	167

6.2.1. Структура контура фазовой автоподстройки частоты	167
6.2.2. Фазовый детектор	168
6.2.3. Петлевой фильтр	169
6.2.4. Генератор, управляемый напряжением	170
6.2.5. Статические и астатические ошибки ФАПЧ	173
6.3. Практическое занятие. Модель контура ФАПЧ	175
6.3.1. Модель фазового детектора	175
6.3.2. Модель петлевого фильтра	178
6.3.3. Модель фазового детектора и петлевого фильтра	184
6.3.4. Модель контура ФАПЧ	186
6.4. Практическое занятие. Функционирование контура ФАПЧ	191
6.4.1. Линеаризованная модель контура ФАПЧ	191
6.4.2. Моделирование ошибок контура ФАПЧ в установившемся режиме	195
6.4.3. Моделирование эффекта демпинг-фактора в контуре ФАПЧ ...	196
6.4.4. Параметры функционирования контура ФАПЧ	197
6.5. Лекция. Передаточная характеристика контура ФАПЧ	200
6.5.1. Передаточная характеристика аналоговой ФАПЧ	200
6.5.2. Передаточная характеристика цифровой ФАПЧ	204
6.5.3. Переход от аналогового к цифровому контуру ФАПЧ	205
6.5.4. Оценка коэффициентов контура ФАПЧ	208
6.6. Практическое занятие. Синтез контура ФАПЧ с заданными параметрами	210
6.6.1. Порядок синтеза контура ФАПЧ	210
6.6.2. Синтез контура ФАПЧ	212
6.6.3. Анализ работы контура ФАПЧ	216
6.7. Практическое занятие. Частотная синхронизация приема АМ сигналов	217
6.7.1. Частотная синхронизация сигналов АМ-DSB-TC	218
6.7.2. Частотная синхронизация сигналов АМ-DSB-SC	227
6.8. Лабораторное занятие. АМ приемник на RTL-SDR с контуром ФАПЧ	228
6.8.1. Демодулятор сигналов АМ-DSB-TC с ФАПЧ	228
6.8.2. Демодулятор сигналов АМ-DSB-SC с ФАПЧ	231
Глава 7. Цифровая манипуляция	234
7.1. Практическое занятие. Цифровая манипуляция	234
7.1.1. Векторные диаграммы сигналов ФМ и КАМ	234
7.1.2. Отображение битов в символы ФМ-4	237
7.1.3. Прием сигналов ФМ-4 в условиях шума	242
7.2. Практическое занятие. Формирующие фильтры	247
7.2.1. Постановка задачи использования формирующих фильтров ...	247
7.2.2. Формирующий фильтр Найквиста для устранения ИСИ	249
7.2.3. Формирующий фильтр типа «приподнятый косинус»	250
7.2.4. Согласованный прием сигналов	255

7.2.5. Уровень внеполосных излучений	255
7.2.6. Уровень межсимвольной интерференции	258
7.2.7. Согласованная фильтрация сигналов ФМ-4	261
7.3. Практическое занятие. Цифровое преобразование частоты	263
7.3.1. Постановка задачи цифрового преобразования частоты	263
7.3.2. Повышающее преобразование частоты	266
7.3.3. Понижающее преобразование частоты	274
7.4. Практическое занятие. Частотная синхронизация	278
7.4.1. Постановка задачи частотной синхронизации	278
7.4.2. Частотная синхронизация с переменной частотой демодуляции .	279
7.4.3. Частотная синхронизация с постоянной частотой демодуляции .	282
7.5. Лабораторное занятие. Цифровая манипуляция в радиозфере ...	284
7.5.1. Формирующий фильтр в передатчике USRP	284
7.5.2. Согласованный фильтр в приемнике RTL-SDR	288
7.5.3. Передатчик для оценки частотного сдвига	290
7.5.4. Приемник для оценки частотного сдвига	295
7.5.5. Частотная и символьная синхронизация	298
7.6. Лабораторное занятие. Цифровая манипуляция в эмуляторе ка- нала	299
7.6.1. Стенд эмуляции радиоканала	299
7.6.2. Эмуляция радиоканала связи с АВГШ	300
7.6.3. Эмуляция многолучевого радиоканала	306
Обозначения и сокращения	309
Литература	310