

МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ И МАССОВЫХ  
КОММУНИКАЦИЙ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и  
информатики»

Кафедра телекоммуникационных систем и вычислительных средств  
(ТС и ВС)

РЕФЕРАТ  
по дисциплине  
*«Моделирование мобильных систем»*

по теме:  
ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ КАНАЛА СВЯЗИ OFDM В MATLAB

Студент:  
*Группа ИА-232*

*А.С. Володин*

Предподаватель:  
*должность, уч. степень, уч. звание*

*Р.В. Ахнашев*

Новосибирск 2025 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРАКТИКА 1. ЗНАКОВОЕ КОДИРОВАНИЕ.....	3
ПРАКТИКА 2. ПОМЕХОУСТОЙЧИВОЕ КОДИРОВАНИЕ.....	4
ПРАКТИКА 3. ПЕРЕМЕЖЕНИЕ.....	5
ПРАКТИКА 4. QPSK МОДУЛЯЦИЯ .....	6
ПРАКТИКА 5. OFDM МОДУЛЯЦИЯ .....	7
ПРАКТИКА 6. МОДЕЛЬ КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ.....	8
ПРАКТИКА 7. ЭКВАЛАЙЗИРОВАНИЕ И OFDM ДЕМОДУЛЯЦИЯ....	9
ПРАКТИКА 8. РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ .....	10
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	11

## ПРАКТИКА 1. ЗНАКОВОЕ КОДИРОВАНИЕ

**Задание:** Реализовать знаковое кодирование и декодирование текстового сообщения.

- Разработан кодер для преобразования текстового сообщения в битовую последовательность
- Каждый символ преобразуется в 8-битную последовательность
- Реализован декодер для обратного преобразования битов в текст
- Проведено тестирование корректности кодирования/декодирования

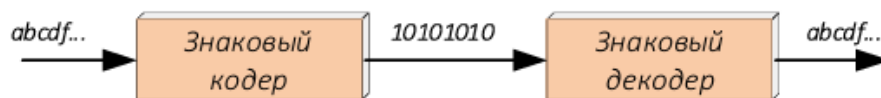


Рисунок 1 — Блоксхема работы знакового кодера и декодера

```
>> main
Введите слово: modulation_20.02!
modulation_20.02!
Columns 1 through 36
0 1 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 0 0 1 0 0 0 1 1 1 0 1 0 1 0 1 1 0
Columns 37 through 72
1 1 0 0 0 1 1 0 0 0 0 1 0 1 1 1 0 1 0 0 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 1 1 1
Columns 73 through 108
0 1 1 0 1 1 1 0 0 1 0 1 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 1 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 0
Columns 109 through 136
1 1 1 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 1
modulation_20.02!
0 0 1 1 0 1 0 1
```

Рисунок 2 — Результат первой практики

## ПРАКТИКА 2. ПОМЕХОУСТОЙЧИВОЕ КОДИРОВАНИЕ

**Задание:** Реализовать операцию свёрточного кодирования и витерби-декодирования битового сообщения.

- Реализован сверточный кодер с параметрами:
  - Порождающие полиномы  $G1=171$ ,  $G2=133$  (восьмеричные)
  - Длина кодового ограничения  $k = 7$
- Разработан декодер Витерби:
  - Реализован алгоритм поиска оптимального пути
  - Вычисление метрик пути
  - Обратное прослеживание для восстановления исходной последовательности

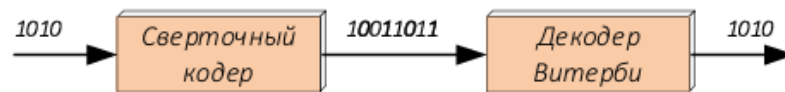


Рисунок 3 — Блоксхема работы свёрточного кодера и декодера Витерби

```
>> main
Изначальные данные: 0  1  1  0
После кодера: 0  0  1  1  0  1  0  1
После декодера: 0  1  1  0
>>
```

Рисунок 4 — Результат второй практики

### ПРАКТИКА 3. ПЕРЕМЕЖЕНИЕ

**Задание:** Реализовать перемежитель для распределения пакетных ошибок.

- Разработаны функции перемежения и деперемежения
- Реализовано сохранение индексов перемежения для корректного восстановления
- Добавлена проверка размерностей входных данных
- Проведено тестирование корректности работы

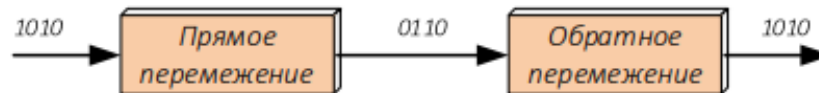


Рисунок 5 — Структура перемежителя и деперемежителя

```
interleavedBits = interleaving(convEncodedBits);
disp(interleavedBits)

Columns 1 through 43
1 1 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 1 0 1 1 1 1 0 0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 1

Columns 44 through 86
0 0 1 0 1 0 1 1 0 0 1 0 1 0 1 1 1 0 0 1 1 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 1

Columns 87 through 129
1 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 1 1 1 0 1 1 0 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 1 1 0 0 1 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0

Columns 130 through 172
0 0 0 0 0 1 1 1 1 0 1 0 1 0 0 0 1 1 0 1 1 1 0 1 0 0 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 0 0 1

Columns 173 through 176
0 0 0 1
```

Рисунок 6 — Результат третьей практики

## ПРАКТИКА 4. QPSK МОДУЛЯЦИЯ

**Задание:** Реализовать QPSK модулятор.

– Реализован QPSK маппер для отображения пар бит в комплексные СИМВОЛЫ:

- $(0,0) \rightarrow 0.707 + 0.707i$
- $(0,1) \rightarrow 0.707 - 0.707i$
- $(1,0) \rightarrow -0.707 + 0.707i$
- $(1,1) \rightarrow -0.707 - 0.707i$

– Проведена проверка корректности модуляции

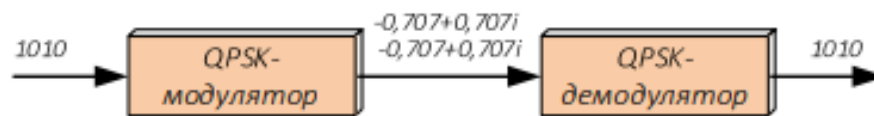


Рисунок 7 — QPSK отображение битовых пар в символы

```
qpskSymbols = QPSK_mapper(interleavedBits);
disp(qpskSymbols);
```

Columns 1 through 9

-0.7070 - 0.7070i 0.7070 + 0.7070i 0.7070 + 0.7070i -0.7070 + 0.7070i -0.7070 + 0.7070i 0.7070 + 0.7070i 0.7070 + 0.7070i 0.7070 - 0.7070i -0.7070 + 0.7070i

Columns 10 through 18

0.7070 + 0.7070i 0.7070 - 0.7070i 0.7070 - 0.7070i -0.7070 - 0.7070i -0.7070 + 0.7070i 0.7070 + 0.7070i -0.7070 - 0.7070i 0.7070 - 0.7070i 0.7070 - 0.7070i

Columns 19 through 27

0.7070 + 0.7070i -0.7070 + 0.7070i 0.7070 + 0.7070i -0.7070 + 0.7070i 0.7070 - 0.7070i 0.7070 - 0.7070i 0.7070 - 0.7070i -0.7070 + 0.7070i 0.7070 - 0.7070i

Columns 28 through 36

0.7070 - 0.7070i 0.7070 - 0.7070i -0.7070 - 0.7070i 0.7070 + 0.7070i -0.7070 - 0.7070i 0.7070 - 0.7070i 0.7070 + 0.7070i 0.7070 - 0.7070i 0.7070 + 0.7070i

Рисунок 8 — Результат четвёртой практики

## ПРАКТИКА 5. OFDM МОДУЛЯЦИЯ

**Задание:** Реализовать OFDM модулятор.

- Разработан OFDM модулятор со следующими компонентами:
  - Вставка пилотных символов
  - Добавление нулевых поднесущих (25%)
  - Применение ОБПФ
  - Добавление циклического префикса
  - Сохранение параметров модуляции для демодулятора

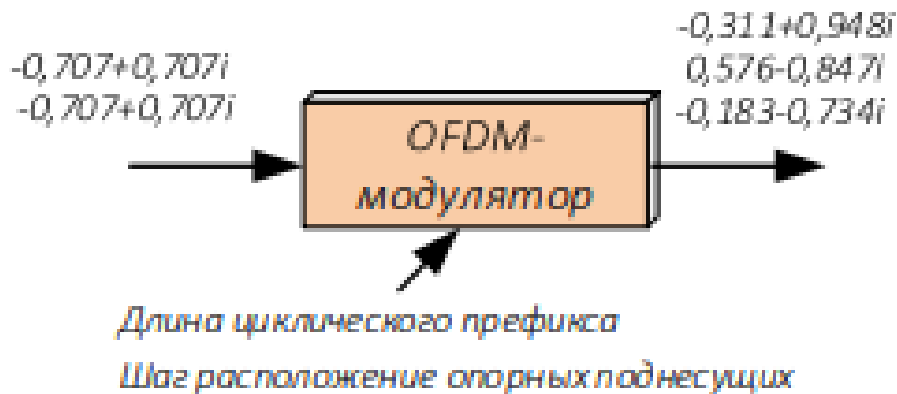


Рисунок 9 — Структура OFDM модулятора

```
ofdmSymbols = ofdm_modulator(qpskSymbols, dRS, T);  
disp(ofdmSymbols);  
  
Columns 1 through 9  
0.0039 + 0.0045i 0.0184 - 0.0309i -0.0505 + 0.0121i 0.0470 + 0.0132i -0.0189 - 0.0329i 0.0075 - 0.0219i 0.0163 + 0.1082i -0.0247 - 0.0610i -0.0219 - 0.0440i  
  
Columns 10 through 18  
0.0390 + 0.0313i -0.0193 + 0.0225i 0.0390 - 0.0251i -0.0429 + 0.0242i 0.0137 - 0.0186i -0.0291 + 0.0098i 0.0476 - 0.0214i -0.0409 - 0.0059i 0.0484 + 0.0493i  
  
Columns 19 through 27  
-0.0141 - 0.0096i -0.0146 - 0.0494i -0.0639 + 0.0420i 0.0713 - 0.0236i 0.0676 + 0.0163i -0.0859 - 0.0032i -0.0331 + 0.0164i 0.0622 - 0.0306i -0.0226 + 0.0165i  
  
Columns 28 through 36  
-0.0068 - 0.0375i 0.0165 + 0.0761i 0.0699 - 0.0295i -0.1445 - 0.0553i 0.0540 + 0.0580i 0.0253 - 0.0127i -0.0048 + 0.0046i 0.0336 - 0.0079i -0.0247 - 0.0119i
```

Рисунок 10 — Результат пятой практики

## ПРАКТИКА 6. МОДЕЛЬ КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ

**Задание:** Реализовать модель канала с замираниями и АБГШ.

– Реализована модель канала со следующими параметрами:

- Несущая частота  $f_0 = 1.7$  Гц
- Полоса  $B = 11$  Гц
- Многолучевое распространение ( $N_b$  лучей)
- Случайные задержки лучей
- Добавление АБГШ с заданной мощностью  $N_0$

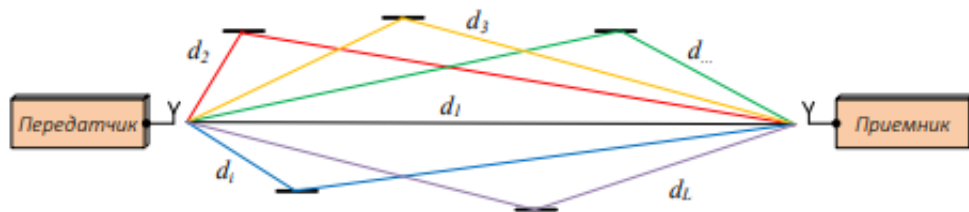


Рисунок 11 — Модель канала с замираниями и шумом

```
%CHANNEL
AWGNbits = channel(ofdmSymbols, Nb, N0);
disp(AWGNbits);

1.0e+05 *

Columns 1 through 9
0.0196 + 0.0224i 0.0921 - 0.1548i -0.2528 + 0.0606i 0.2351 + 0.0663i -0.0949 - 0.1646i 0.0375 - 0.1097i 0.0818 + 0.5417i -0.1239 - 0.3055i -0.1098 - 0.2202i

Columns 10 through 18
0.1951 + 0.1566i -0.0966 + 0.1126i 0.1953 - 0.1257i -0.2150 + 0.1212i 0.0686 - 0.0929i -0.1456 + 0.0492i 0.2383 - 0.1870i -0.2048 - 0.0294i 0.2421 + 0.2468i

Columns 19 through 27
-0.0707 - 0.0482i -0.0732 - 0.2474i -0.3201 + 0.2102i 0.3571 - 0.1182i 0.3386 + 0.0815i -0.4300 - 0.0159i -0.1656 + 0.0819i 0.3117 - 0.1530i -0.1134 + 0.0824i

Columns 28 through 36
-0.0341 - 0.1875i 0.0825 + 0.3809i 0.3498 - 0.1475i -0.7236 - 0.2768i 0.2703 + 0.2902i 0.1265 - 0.0634i -0.0242 + 0.0231i 0.1684 - 0.0396i -0.1237 - 0.0595i
```

Рисунок 12 — Результат шестой практики



## ПРАКТИКА 7. ЭКВАЛАЙЗИРОВАНИЕ И OFDM ДЕМОДУЛЯЦИЯ

**Задание:** Реализовать приёмную часть системы связи.

- Разработан OFDM демодулятор:
  - Удаление циклического префикса
  - БПФ
  - Оценка канала по пилотным символам
  - Эквалайзирование
  - Удаление нулевых поднесущих
- Реализовано восстановление исходных данных

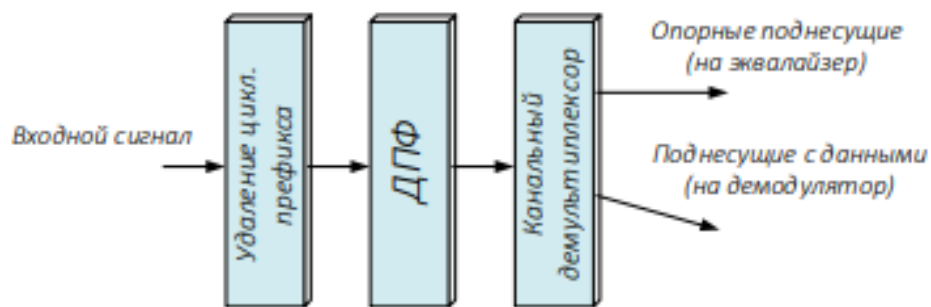


Рисунок 13 — Структура OFDM демодулятора и эквалайзера

```
%Rx
rx_ofdmSymbols = ofdm_demodulator(AWGNbits);
qpskDemodulatedBits = QPSK_demapper(rx_ofdmSymbols);
disp(qpskDemodulatedBits);
```

Columns 1 through 29

1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Columns 30 through 58

0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Columns 59 through 87

1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Columns 88 through 116

0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Columns 117 through 145

0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Columns 146 through 174

1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Columns 175 through 176

0	1
---	---

Рисунок 14 — Результат седьмой практики

## ПРАКТИКА 8. РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ

**Задание:** Провести анализ работы системы связи.

- Проведено моделирование системы при различных параметрах:
  - Различные отношения сигнал/шум
  - Различное число лучей в канале
  - Различные параметры модуляции
- Построены графики зависимостей качества приёма от параметров системы

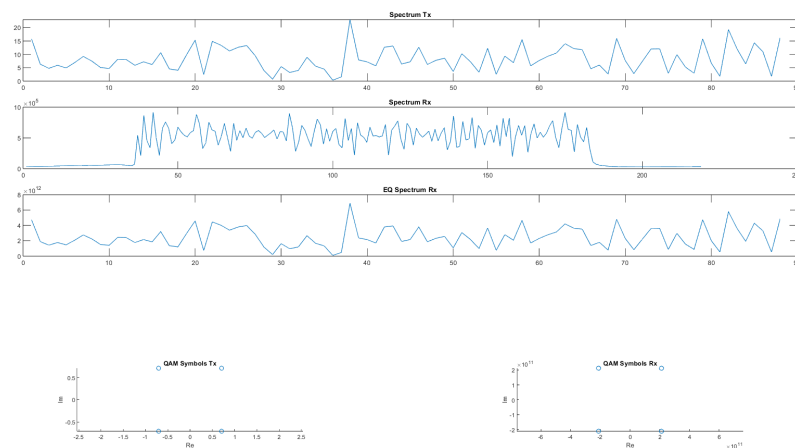


Рисунок 15 — Результат восьмой практики

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения практических работ была реализована полная модель системы цифровой связи, включающая:

- Кодирование источника
- Помехоустойчивое кодирование
- Перемежение
- QPSK модуляцию
- OFDM модуляцию
- Модель канала с замираниями и шумом
- Демодуляцию и декодирование

Система демонстрирует устойчивую работу при наличии помех и многолучевого распространения. Реализованные алгоритмы обработки сигналов обеспечивают надёжную передачу данных в условиях реального канала связи.

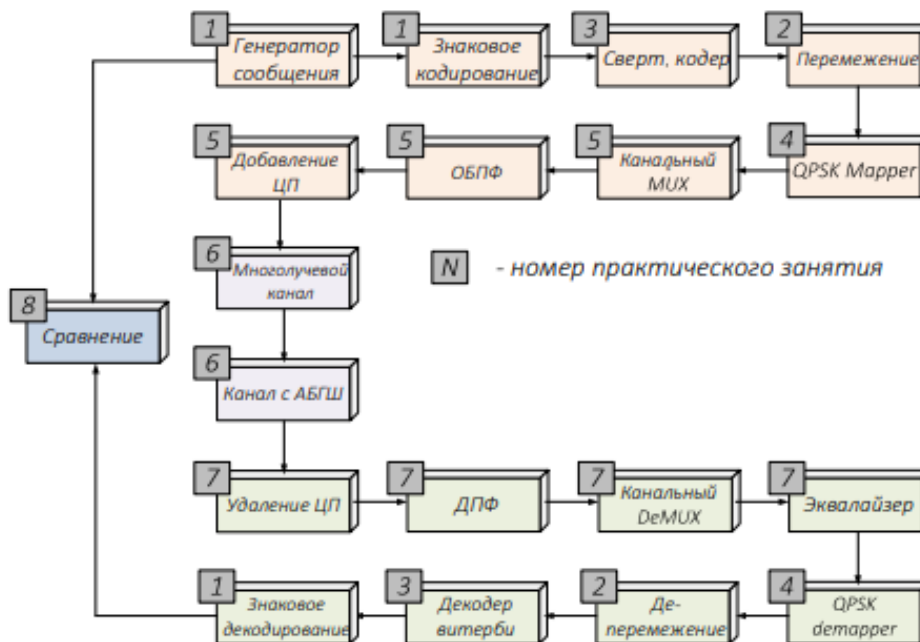


Рисунок 16 — Обобщённая структура реализованной системы связи